

Izvangradska kružna raskrižja

Malčić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:882339>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

Sveučilište u Rijeci
Građevinski fakultet

Preddiplomski sveučilišni studij
Ceste

Josip Malčić
0114029674

Izvangradska kružna raskrižja
Završni rad

Rijeka, Lipanj 2020.

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Prometnice

Tema završnog rada

**IZVANGRAĐSKA KRUŽNA RASKRIŽJA
DESIGN OF RURAL ROUNDABOUTS**

Kandidat: **JOSIP MALČIĆ**

Kolegij: **CESTE**

Završni rad broj: **20-P-32**

Zadatak:

U završnom radu je potrebno prikazati osnove projektiranja izvanurbanih kružnih raskrižja te osnovne postavke procjene lokacije za kružno raskrižje. Na primjeru projekata kružnih raskrižja (u blizini Pule) potrebno je analizirati njihovu usklađenost sa postojećom tehničkom regulativom te provjeriti osnovne elemente iz aspekta preglednosti i brzine prolaza kroz raskrižje.

Rad treba sadržavati:

1. Pregled tipova izvanurbanih kružnih raskrižja i osnova projektiranja
2. Geometrijski elemenata izvanurbanih kružnih raskrižja
3. Analizu dva odabrana kružna raskrižja na obilaznici Pule

Tema rada je uručena: 24. veljače 2020.

Mentorica:

prof. dr. sc. Aleksandra Deluka-Tibljaš,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Josip Malčić

Ime Prezime

U Rijeci, 30.06.2020.

SAŽETAK

U radu se ukratko opisuje povijest, glavne osobine i geometrijske elemente kružnih raskrižja koji su sve više u upotrebi u cijelom svijetu. Rad se u najvećoj mjeri temelji na *Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama* koje su službeni dokument za projektiranje u Republici Hrvatskoj. Rad je fokusiran na projektiranje izvangradskih kružnih raskrižja te su izvučeni najbitniji elementi iz smjernica koji se odnose na ovakav tip kružnih raskrižja. Također u radu su analizirana dva postojeća izvangradska kružna raskrižja koja se nalaze u Istri u blizini Pule te su na njima provedene analize brzine prolaska kroz kružno raskrižje i preglednosti jer ta dva elementa bitno utječu na sigurnost izvangradskih kružnih raskrižja.

Ključne riječi: Izvangradsko kružno raskrižje, Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama, raskrižje Šikići, raskrižje Jadreški, preglednost kružnog raskrižja, brzina prolaska kroz kružno raskrižje

ABSTRACT

This work briefly describes the history, main features, and geometric elements of roundabouts which are being used more and more throughout the world. The work is largely based on the Guidelines for the design of roundabouts on state roads, which is the official design document in the Republic of Croatia. The work focuses on the design of suburban roundabouts and the most important elements of the guidelines related to this type of roundabouts. The work also analyzes two existing suburban roundabouts located in Istria near Pula and analyzes the speeds through the roundabout and sight distance because these two elements significantly affect the safety and the capacity of suburban roundabouts.

Key words: suburban roundabouts, Guidelines for the design of roundabouts on state roads, roundabout Šikići, roundabout Jadreški, roundabout sight distance, speeds through the roundabout

SADRŽAJ:

1	Uvod.....	1
2	Kružna raskrižja	2
2.1	Definicija i povijest kružnih raskrižja.....	2
2.2	Osnovni elementi kružnog raskrižja	3
2.3	Prednosti i nedostaci kružnih raskrižja	4
2.4	Podjela kružnih raskrižja	6
2.4.1	Podjela po lokaciji i veličini	6
2.4.2	Podjela po broju privoza i prometnih trakova.....	8
2.4.3	Podjela s obzirom na namjenu	9
3	Izvangradska kružna raskrižja	10
3.1	Smjernice za projektiranje izvangradskih kružnih raskrižja.....	10
3.2	Kriteriji za utvrđivanje pogodnosti određene lokacije za primjenu kružnog raskrižja	14
3.3	Propusna moć kružnog raskrižja.....	15
3.4	Projektno-tehnički elementi izvangradskih kružnih raskrižja	18
3.4.1	Vanjski polumjer (R_v) i unutarnji polumjer (R_u)	19
3.4.2	Širina kružnog kolnika (u) i povoznog dijela središnjeg otoka (u')	19
3.4.3	Razdjelni otoci i površina za razdvajanje prometa na privozima	23
3.4.4	Ulaz u kružno raskrižje.....	24
3.4.5	Izlaz iz kružnog raskrižja.....	26
3.4.6	Središnji otok.....	28
3.4.7	Horizontalno i visinsko vođenje kružnih raskrižja.....	28
3.4.8	Uzdužno vođenje kružnog raskrižja.....	31
3.4.9	Poprečni nagib i vitoperenje kolnika	31
3.4.10	Preglednost kružnih raskrižja.....	32
4	Provjera brzine vožnje i preglednosti na postojećim izvangradskim kružnim raskrižjima.....	35
4.1	Provjera brzine vožnje kroz kružno raskrižje.....	37
4.1.1	Kružno raskrižje „Jadreški“	39
4.1.2	Kružno raskrižje „Šikići“	44
4.2	Provjera preglednosti.....	46
5	Zaključak.....	54

Popis slika:

Slika 1: Kružno raskrižje Columbus circle u New Yorku (Internet)

Slika 2: Osnovni dijelovi kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 3: Konfliktne točke kod standardnog raskrižja i kružnog raskrižja (Crash Analysis of Roundabouts at High-Speed Rural Intersections)

Slika 4: Mini kružno raskrižje (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 5: Srednje veliko kružno raskrižje (Internet)

Slika 6: Kružno raskrižje sa spiralnim tokom (Internet)

Slika 7: Veliko izvangradsko kružno raskrižje (Internet)

Slika 8: Trokrako kružno raskrižje (Internet)

Slika 9: Četverokrako kružno raskrižje (Internet)

Slika 10: Kružno raskrižje s pet krakova (Internet)

Slika 11: Osnovni elementi izvangradskog kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 12: Tangencijalno i okomito vođenje privoza kružnom raskrižju (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 13: Primjer lošeg vođenja privoza, kružno raskrižje na otoku Krku (Internet)

Slika 14: Zakrivljenost putanje vozila (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 15: Konfliktna točka x, mjerodavna za određivanje propusne moći kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 16: Kružno raskrižje s odvojenim trakama za desno skretanje (Internet)

Slika 17: Širina kružnog kolnika za mjerodavno dvoosovinsko vozilo (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 18: Širina povoznog djela središnjeg otoka za mjerodavno dugo vozilo (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 19: Mogući oblici razdjelnih otoka: a) izduženi, b) trokutasti, c) ljevkasti (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 20: Oblikovanje vanjskog ruba kolnika, bez i s proširenjem voznog traka (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 21: Prosječna efektivna duljina proširenja (Kružna raskrižja)

Slika 22: Konstrukcija ulaznog kuta „ Φ ” (Kružna raskrižja)

Slika 23: Oblikovanje izlaza srednje velikog izvangradskog kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 24: Primjer uređenja središnjeg otoka (Internet)

Slika 25: Područja kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 26: Položaj osi ceste na širem području prilaza kružnom raskrižju (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 27: Položaj osi privoza u užem područja kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 28: Povoljan i nepovoljan odnos privoza kružnog raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 29: Poprečni nagib ulaza, izlaza i kružnog kolnika (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 30: Prilazna preglednost privoza raskrižju (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 31: Preglednost na ulazu u kružno raskrižje (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 32: Preglednost ulijevo sa privoza (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 33: Preglednost u kružnom kolniku (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 34: Orto foto prikaz kružnog raskrižja Jadreški (Internet)

Slika 35: Orto foto prikaz kružnog raskrižja Šikići (Internet)

Slika 36: Prikaz geometrijskih elemenata kružnog raskrižja Jadreški

Slika 37: Prikaz geometrijskih elemenata kružnog raskrižja Šikići

Slika 38: Putanja vozila i elementi za određivanje polumjera vozne linije za nizozemski model (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Slika 39: Konstrukcija putanje najbržeg mogućeg prolaska kroz kružno raskrižje prema američkom modelu (Crash Analysis of Roundabouts at High-Speed Rural Intersections)

Slika 40: Vrijednosti L i U za proračun polumjera vozne krivulje

Slika 41: Putanja kretanja vozila za najbrži moguću prolazak kroz kružno raskrižje i njeni radijusi

Slika 42: Vrijednosti L i u za proračun polumjera vozne krivulje

Slika 43: Putanja kretanja vozila za najbrži moguću prolazak kroz kružno raskrižje i njeni radijusi

Slika 44: Prilazna preglednost raskrižja Jadreški

Slika 45: Preglednost na ulazu raskrižja Jadreški za privoze 1-3

Slika 46: Preglednost na ulazu raskrižja Jadreški za privoze 2-4

Slika 47: Preglednost ulijevo na raskrižju Jadreški za privoze 1-3

Slika 48: Preglednost ulijevo na raskrižju Jadreški za privoze 2-4

Slika 49: Preglednost na kružnom kolniku na raskrižju Jadreški

Slika 50: Prilazna preglednost raskrižja Šikići

Slika 51: Preglednost na ulazu raskrižja Šikići za privoze 1-3

Slika 52: Preglednost na ulazu raskrižja Šikići za privoze 2-4

Slika 53: Preglednost ulijevo na raskrižju Šikići za privoze 1-3

Slika 54: Preglednost ulijevo na raskrižju Šikići za privoze 2-4

Slika 55: Preglednost na kružnom kolniku na raskrižju Šikići

Popis Tablica:

Tablica 1: : Prosječno trajanje zaustavljanja na raskrižju (Utjecaj primjene prometnih rješenja s kružnim raskrižjem)

Tablica 2: Empirijski podaci o propusnoj moći različitih tipova izvangradskih kružnih raskrižja (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Tablica 3: Širine provoznosti za mjerodavna vozila (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Tablica 4: Širine provoznosti za mjerodavno vozilo duljine 16.50 metara (Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama)

Tablica 5: Preporučeni geometrijski elementi za srednje veliko kružno raskrižje prema (Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika-rotora)

Tablica 6: Širine kružnog voznog traka (Granični kutovi presijecanja privoza na izvangradskim kružnim raskrižjima)

Tablica 7: Duljine zaustavne preglednosti (Granični kutovi presijecanja privoza na izvangradskim kružnim raskrižjima)

Tablica 8: Proračunate brzine u ovisnosti o faktoru trenja

1 UVOD

U današnje vrijeme kružna raskrižja su u cijelom svijetu postala neizostavni dio gradnje prometnica i raskrižja. Kao i u ostatku svijeta, tako je i u Hrvatskoj došlo vrijeme kada se kružna raskrižja sve češće upotrebljavaju kao rješenja pri projektiranju raskrižja. Projektanti su se u početcima izgradnje kružnih raskrižja u Hrvatskoj morali koristiti stranim smjernicama i vlastitom prosudbom pri projektiranju i odabiru elemenata kružnog raskrižja zbog nedostatka smjernica u Republici Hrvatskoj.

Prve smjernice za projektiranje kružnih raskrižja u Hrvatskoj napisane su 2002. godine. Ovaj rad se u najvećoj mjeri temelji na *Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama* koje su napisane 2014. godine te su napisane pomoću gore navedenih prvih hrvatskih smjernica te još nekoliko stranih smjernica za projektiranje kružnih raskrižja (slovenskih, američkih). U smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama prikazani su tipovi i svojstva jednotračnih gradskih i izvangradskih kružnih raskrižja, analizirane su njihove sigurnosti te su dane preporuke za njihovo projektiranje. Ovim radom je obrađena problematika projektiranja izvangradskih kružnih raskrižja, te su iz smjernica izvučeni najbitniji elementi koji se odnose na projektiranje takvog tipa kružnog raskrižja.

U radu su isto tako obrađena dva postojeća kružna raskrižja koja se nalaze u Istri a to su raskrižje „Jadreški“ te raskrižje „Šikići“ koja su jednotračna izvangradska kružna raskrižja. Za gore navedena kružna raskrižja analizirana je brzina prolaska kroz raskrižje nizozemskim i američkim modelom te sve potrebne vrste preglednosti koje moraju biti ostvarene. Ova dva svojstva koja su analizirana su odabrana jer možda imaju i najveći značaj za sigurnost na izvangradskim kružnim raskrižjima zbog većih brzina kretanja nego u gradovima i samim time mogućih gorih posljedica ukoliko dođe do nesreće.

2 KRUŽNA RASKRIŽJA

2.1 DEFINICIJA I POVIJEST KRUŽNIH RASKRIŽJA

Kružno raskrižje je vrsta raskrižja kružnog oblika u kojem se vozila kreću oko središnjeg kružnog otoka. Vozila se kreću kružnim kolnikom te privozima s razdjelnim otocima. Središnji otok može biti neprovozan, djelomično provošan ili u potpunosti provošan. Kružni cestovni čvorovi su postojali prije kružnih raskrižja, a prva praktična uporaba kružnog raskrižja dogodila se 1905. godine u New Yorku izgradnjom kružnog raskrižja Columbus Circle. Kružna raskrižja nisu se značajno upotrebljavala u cestogradnji sve do pedesetih godina dvadesetoga stoljeća kada se u Velikoj Britaniji uvodi pravilo da vozila koja se kreću unutar kružnog raskrižja imaju prednost pred nadolazećim vozilima. Uvođenjem ovoga pravila povećao se kapacitet kružnih raskrižja te su ona danas vrlo česta pojava na prometnicama.

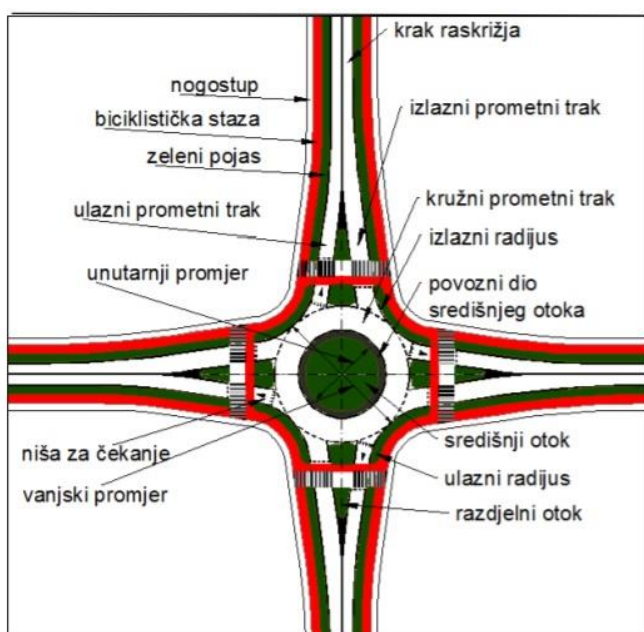


Slika br.1: Kružno raskrižje Columbus circle u New Yorku [1]

2.2 OSNOVNI ELEMENTI KRUŽNOG RASKRIŽJA

Prilaskom kružnom raskrižju vozila se kreću privozom kojih može biti tri ili više. Ulaz i izlaz kružnog raskrižja određeni su ulaznim i izlaznim polumjerom koji usmjeruje vozila prema kružnom kolniku i iz njega. Pri samom ulazu u kružno raskrižje nalaze se razdjelni otoci koji služe za kanaliziranje prometnih tokova i kao pomoć pri prijelazu pješaka ukoliko se pješački prijelaz nalazi prije ulaska u kružno raskrižje. Pri vanjskom rubu kružnog kolnika također se nalazi i prostor za čekanje gdje vozila prije ulaska u kružno raskrižje čekaju trenutak da bi se sigurno mogli uključiti u njega. Kružno raskrižje je definirano vanjskim promjerom (promjer od vanjskog ruba do ruba kružnog kolnika) koje je ujedno i mjera i oznaka veličine raskrižja te unutarnjim promjerom koje predstavlja promjer od unutarnjeg do unutarnjeg ruba kolničkog traka. U središtu se nalazi središnji otok koji sprečava vožnju preko raskrižja, koji može imati provozni dio kako bi dugačka vozila mogla proći kroz raskrižje. Oko središnjeg otoka nalazi se kružni kolnik kojim se vozila kreću u raskrižju.

Dijelovi kružnog raskrižja su: kružni kolnički trak, središnji otok, provozni dio središnjeg otoka, vanjski polumjer raskrižja (R_v), unutarnji polumjer raskrižja (R_u), krak raskrižja, prostor za čekanje (niša), ulazni (R_{ul}) i izlazni (R_{iz}) polumjer, razdjelni otok (otok za pješake) što je vidljivo iz slike br.2.



Slika br.2: Osnovni dijelovi kružnog raskrižja [2]

2.3 PREDNOSTI I NEDOSTATCI KRUŽNIH RASKRIŽJA

U nastavku su navedeni neki od glavnih oblika prednosti i nedostataka kružnih raskrižja nad ostalim oblicima raskrižja.

Prednosti pred ostalim oblicima raskrižja: [2]

- Puno veća sigurnost prometa zbog smanjenog broja konfliktnih točaka i manje brzine kretanja u kružnom toku, što se vidi iz istraživanja koje je provedeno u SAD-u na 17 izvangradskih raskrižja koja su rekonstruirana u kružna te su zabilježeni sljedeći rezultati: smanjenje ukupnog broja prometnih nesreća za 39%, smanjenje teških tjelesnih ozljeda za 76%, smanjenje smrtnih slučajeva za 90% [3]
- Kraće čekanje na privozima

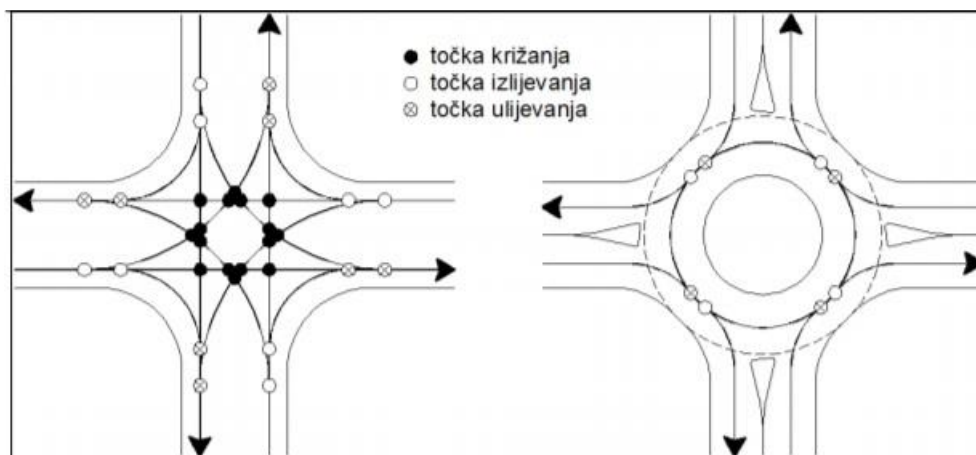
	Prosječno trajanje zaustavljanja vozila na raskrižju (u sekundama)	
	10% udio lijevih skretača	30% udio lijevih skretača
Kružno raskrižje	2	7,5
Semaforizirano raskrižje	14	19

Tablica br.1: Prosječno trajanje zaustavljanja na raskrižju [4]

- Manji troškovi održavanja
- Niža razina buke i emisije ispušnih plinova, što se vidi iz studije koju je 2003. godine provelo sveučilište Kansas State University u SAD-u na tri klasična raskrižja koja su preuređena u kružna. Ustanovljeno je smanjenje sljedećih ispušnih plinova: ugljikov monoksid (CO) za 32%, dušikov oksid (N_2O) za 34%, ugljikov dioksid (CO_2) za 37% i ugljikovodik (CH) za 42%, [5]
- Veća propusna moć raskrižja
- Dobro rješenje ukoliko imamo veći broj privoza
- Dobro uklapanje u okolni prostor

Nedostatci kružnih raskrižja:

- Lošije rješenje ukoliko imamo velik broj lijevih skretanja (zbog produljenog putovanja tj. vozač mora raditi gotovo cijeli krug kroz kružno raskrižje u odnosu na klasično gdje bi direktno skrenuo lijevo)
- kružna raskrižja većeg polumjera, nisu najprikladnije rješenje pred institucijama za slijepe i slabovidne osobe, pred domovima za starije osobe, bolnicama i zdravstvenim domovima i na svim onim mjestima gdje nemotorizirani sudionici u prometu zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih oštećenja ne mogu sigurno prelaziti raskrižja bez svjetlosnih signalizacijskih uređaja
- Putanje pješaka i vozila su produljene u odnosu na klasična raskrižja
- Nepovoljno pri većem biciklističkom i pješačkom prometu, koji presijecaju jedan ili više privoza prema raskrižju zato što vozila moraju propustiti pješake/bicikliste pa može doći do zastoja prometa pred raskrižjem [2]



Slika br.3:Konfliktne točke kod standardnog raskrižja i kružnog raskrižja [2]

2.4 PODJELA KRUŽNIH RASKRIŽJA

Kružna raskrižja se mogu podijeliti prema nekoliko kriterija. Najčešće podjele su prema lokaciji na kojoj se nalaze i njihovoj veličini, a još ih možemo podijeliti prema broju privoza, prometnih trakova te njihovoj namjeni.

2.4.1 Podjela po lokaciji i veličini

Prema podjeli preuzetoj iz Smjernica za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama Republike Hrvatske, kružna raskrižja se po lokaciji dijele na kružna raskrižja u naselju i na kružna raskrižja izvan naselja. Kružnim raskrižjima u naselju predviđen je promet motornih vozila, pješaka i biciklista dok je na kružnim raskrižjima izvan naselja predviđen promet motornih vozila te eventualno biciklista.

a) Kružna raskrižja u naselju dijele se na:

- Mini kružna raskrižja- vanjski polumjer im je između 7,0-12,5 m, primjenjuju se u gušće izgrađenim gradovima s svrhom smirivanja prometa, imaju provozni središnji otok kako bi dugačka vozila mogla proći, mogu biti montažni, u principu imaju veću propusnu moć i sigurnost prometa od klasičnog raskrižja te manje troškove održavanja, kapacitet im je oko 10 000 vozila na dan.



Slika br.4: Mini kružno raskrižje [2]

- Mala kružna raskrižja- vanjski polumjer im je između 11,0-17,5 m, izvode se u urbanim naseljima, najčešće se grade na ulazu u naselje, brzina kretanja u kružnom toku je < 30 km/h, kapacitet im je oko 15 000 vozila na dan.

- Srednje velika kružna raskrižja- vanjski polimjer im je između 15,0-20,0 m, grade se na mjestima u gradovima s jače opterećenim čvornim točkama, brzine kretanja u raskrižju su ≤ 40 km/h.



Slika br.5:Srednje veliko kružno raskrižje [6]

- Kružna raskrižja sa spiralnim tokom- posebna vrsta najčešće dvotračnog kružnog raskrižja u kojem su vozni trakovi međusobno odvojeni fizičkim barijerama što doprinosi sigurnosti i protočnosti kružnog raskrižja [2]



Slika br.6: Kružno raskrižje sa spiralnim tokom [7]

b) Kružna raskrižja izvan naselja dijele se na:

- Srednje velika kružna raskrižja – vanjski polumjer im je između 17,5-22,5 m, grade se na mjestima gdje se ne očekuje veći pješački i biciklistički promet, omogućuju propusnost oko 22 000 vozila na dan
- Velika kružna raskrižja- vanjski polumjer im je veći od 25 metara, grade se na cestama velikog učinka (križanje autoceste i brze ceste) , biciklistički i pješački promet nije sastavni dio kružnog raskrižja, proračun i dimenzioniranje se vrši posebnim postupcima [2]



Slika br.7: Veliko izvangradsko kružno raskrižje [8]

2.4.2 Podjela po broju privoza i prometnih trakova

Podjela po broju privoza:

- S tri privoza
- S četiri privoza
- S pet ili više privoza



Slika br.8: Trokrako kružno raskrižje [9]



Slika br.9: Četverokrako kružno raskrižje[6]



Slika br.10: Kružno raskrižje s pet krakova[10]

Podjela po broju prometnih trakova:

- Jednotračna
- Dvotračna [11]

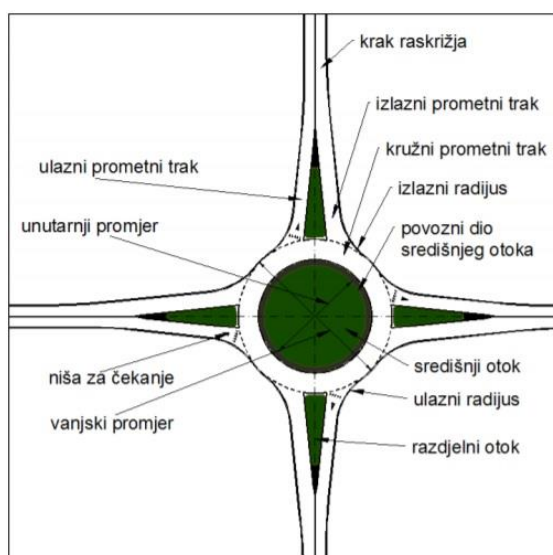
2.4.3 Podjela s obzirom na namjenu

Prema namjeni kružna raskrižja dijele se na:

- Raskrižja za smirivanje prometa
- Raskrižja za ograničavanje prometa
- Raskrižja za povećanje propusne moći [11]

3 IZVANGRADSKA KRUŽNA RASKRIŽJA

Glavno obilježje izvangradskih kružnih raskrižja je da se na njima ne očekuje pješački promet te eventualno malo biciklističkog prometa. Prema veličini mogu biti srednje velika i velika kružna raskrižja. Razlika između izvangradskih kružnih raskrižja i urbanih je u tome što imaju veći promjer te veći kapacitet. Ovakva kružna raskrižja se izvode na križanjima javnih cesta izvan urbanih područja gdje se promet odvija većim brzinama te je smanjena sigurnost prometa, ili na križanjima dviju autocesta. Osnovni dijelovi raskrižja su isti kao kod urbanih osim što kod izvangradskih nemamo pješački prijelaz te rijetko kada imamo prijelaz za bicikliste.



Slika br.11: Osnovni elementi izvangradskog kružnog raskrižja [2]

3.1 SMJERNICE ZA PROJEKTIRANJE IZVANGRADSKIH KRUŽNIH RASKRIŽJA

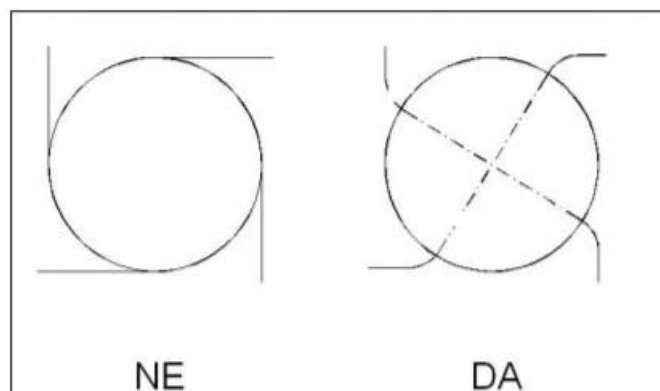
U najnovije vrijeme broj kružnih raskrižja u Republici Hrvatskoj znatno se povećao. U počecima izgradnje kružnih raskrižja u Hrvatskoj projektanti nisu imali na raspolaganju Hrvatske smjernice pa su se morali oslanjati na vlastitu prosudbu i korištenje stranih smjernica za koje oni misle da najviše odgovaraju njegovim potrebama. Povećanje u broju kružnih raskrižja dovelo je do toga da se napišu vlastite smjernice za projektiranje u Republici Hrvatskoj. Prve smjernice napisane su 2002. godine i zovu se Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika – rotora te su smjernice iz 2014. godine po kojima je napisan ovaj rad temelje na njima.

Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama su smjernice u kojima su prikazani postupci koji se moraju primjenjivati kod projektiranja jednostranih gradskih i izvangradskih kružnih raskrižja na svim državnim cestama u Republici Hrvatskoj. Smjericama su definirani vrste i svojstva kružnih raskrižja, analizirana je sigurnost motoriziranog i nemotoriziranog prometa koji se kreće raskrižjem te su dane preporuke za geometrijsko oblikovanje svih najvažnijih segmenata kružnog raskrižja kako bi se osigurala adekvatna sigurnost i kapacitet kružnog raskrižja.

U nastavku su navedeni najznačajniji geometrijsko – oblikovni elementi o kojima treba voditi računa pri projektiranju.

Opća pravila za projektiranje kružnih raskrižja:

- 1. Način vođenja privoza/krakova na kružnom raskrižju** u pravilu mora biti izveden na način da os privoza bude okomita na tangentu osi kružnog traka u točki u kojoj se ove osi sijeku. Takvo vođenje privoza smanjuje brzinu vozila koja se uključuju u kružno raskrižje te osigurava preglednost. Drugi element koji doprinosi kvalitetnom rješavanju ulaza u kružna raskrižja jest veličina ulaznog polumjera koja je direktno povezana sa brzinom vozila na ulazu u kružno raskrižje. Preveliki polumjeri omogućavaju neprimjereno velike brzine na ulazima, a premali mogućnost nalijetanja vozila na središnji otok. [2]



Slika br.12: Tangencijalno i okomito vođenje privoza kružnom raskrižju [2]



Slika br.13: Primjer lošeg vođenja privoza, kružno raskrižje na otoku Krku [12]

2. **Širina ulaza u kružno raskrižje i duljina proširenja** je jako važna zato jer ulazak u kružno raskrižje predstavlja najopasniju radnju u samom kružnom raskrižju. Oblik tog prostora ima veliko značenje za prometnu sigurnost i za propusnu moć kružnog raskrižja. [2]
3. **Zakrivljenost putanje vozila** kroz kružno raskrižje ima veliki utjecaj na sigurnost u ovom tipu raskrižja. Krivulja kretanja mora imati oblik dvostruke „S“ krivine. Veća zakrivljenost krivulje znači manju brzinu pri ulasku u raskrižje te veću sigurnost. Na zakrivljenost krivulje možemo utjecati mijenjanjem veličine središnjeg otoka ili mijenjanjem njegova oblika.[2]



Slika br.14: Zakrivljenost putanje vozila [2]

4. **Veličina ulazne i izlazne krivine-** veličina ulaznih i izlaznih polumjera ovise o veličini kružnog raskrižja i obliku razdjelnog otoka. Veličine izlaznih polumjera bi trebale uvijek biti veće od veličina ulaznih polumjera kako bi se osigurali što sigurniji uvjeti na ulazu u raskrižje te primjerena protočnost na izlazu iz kružnog raskrižja. Iznimno, veličina polumjera krivine na ulazu i izlazu iz kružnog raskrižja mogu biti jednake. [2]
5. **Biciklisti na izvangradskim kružnim raskrižjima-** ako se očekuje manji broj biciklista i ako nema pješačkog prometa biciklistička staza se predviđa na udaljenosti od otprilike 10,0 m od ruba kružne kolničke trake te se biciklistički prijelaz izvodi okomito na os privoza. Na ovaj način se ukazuje na prednost prolaska motornog vozila i na obavezno zaustavljanje biciklista. [2]
6. **Razdjelni otoci** moraju biti oblikovani tako da osiguraju odvajanje prometa na ulazu i izlazu iz kružnog raskrižja. Moraju biti prilagođeni veličini i predviđenoj brzini kružnoga raskrižja. Preporučuje se da se koriste razdjelni otoci trokutastog oblika.
7. **Odvodnja na kružnom raskrižju** – najčešći način visinskog vođenja kružnog kolnika je poprečni nagib kolnika koji je prema van. Takvim načinom se najlakše postiže odgovarajuća odvodnja. Nagib prema van je nepovoljniji za preuzimanje centrifugalne sile koja djeluje na vozilo u kružnom toku. Posljedica je da kod velikih kružnih raskrižja u kojima je moguće razvijanje veće brzine unutar kružnog toka treba provjeriti stabilnost vozila u opisanim uvjetima, a takvo je rješenje potrebno provjeriti i u područjima sa izraženim zimskim uvjetima. [2]

- 8. Provozni dio središnjeg otoka u kružnom raskrižju** mora biti izveden tako da odvrća vozače od kretanja po njemu (materijal različit od onoga na kolniku) dok istovremeno mora omogućiti dugačkim vozilima (autobusi, kamioni) kretanje po njemu. U pravilu se izvodi kod malih i srednje velikih kružnih raskrižja dok izvangradska kružna raskrižja imaju odgovarajuću veličinu da bi se dugačka vozila mogla neometano kretati njima. [2]
- 9. Prometna signalizacija kružnog raskrižja** postavlja se na način da bude jasna i dosljedna te da ne zbunjuje vozače pri prolasku kroz kružno raskrižje. Rješenje prometne signalizacije mora biti usklađeno sa važećim *Pravilnikom o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama*. [2]
- 10. Rasvjeta kružnog raskrižja** – raskrižja moraju biti odgovarajuće osvijetljena noću zbog sigurnosti. Kod kružnog raskrižja osvijetljeni moraju biti ulazi u raskrižje i središnji otok. Svaki prilaz, odnosno izlaz iz raskrižja treba biti osvijetljen na odgovarajućoj udaljenosti od ulaska u raskrižje. Visina postavljanja određuje se prema uvjetima okolnog prostora. [2]
- 11. Uređenje središnjeg otoka** (hortikulturno uređenje, spomenici, fontane i drugi objekti u središnjem otoku) ima veliki utjecaj na prometnu sigurnost. Nepravilnim uređenjem središnjeg otoka smanjuje se sigurnost odvijanja prometa a pravilnim uređenjem se čak može i povećati. [2]

3.2 KRITERIJI ZA UTVRĐIVANJE POGODNOSTI ODREĐENE LOKACIJE ZA PRIMJENU KRUŽNOG RASKRIŽJA

Prije početka projektiranja i izgradnje kružnog raskrižja potrebno je izvršiti analizu lokacije na kojoj planiramo izgraditi takvo raskrižje da bi utvrdili da li je kružno raskrižje primjereno rješenje. Izgradnja kružnog raskrižja mora biti utemeljena na stručnoj procjeni te treba zadovoljiti nekoliko kriterija koji su navedeni u nastavku.

Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja u Republici Hrvatskoj dani su ovi kriteriji:

1. Funkcionalni kriterij
2. Prostorno-urbanistički kriterij

3. Prometni kriterij (kriterij prometnog toka)
4. Projektno-tehnički kriterij
5. Kriterij prometne sigurnosti
6. Kriterij propusne moći
7. Okolišni kriterij
8. Ekonomski kriterij [2]

Kod izvangradskih kružnih raskrižja gdje su brzine kretanja vozila veće i zbog toga je vjerojatnost za nastanak nesreće sa smrtnim posljedicama veća, vrlo je bitan kriterij prometne sigurnosti.

3.3 PROPUSNA MOĆ KRUŽNOG RASKRIŽJA

Propusna moć (kapacitet) kružnog raskrižja (C) pokazuje nam koliko vozila može proći kroz kružno raskrižje u jedinici vremena bez obzira na duljinu čekanja. Dva su glavna faktora koja utječu na propusnu moć kružnog raskrižja a to su promet na svakom pojedinom ulazu u kružno raskrižje i promet u samom kružnom raskrižju [2]. Na propusnu moć kružnog raskrižja utječu još i pješački te biciklistički promet ali kod vangradskih kružnih raskrižja ne očekujemo pješake a bicikliste u manjoj mjeri pa nemaju veliki utjecaj.

Propusna moć računa se prema izrazu [1] preuzetom iz [2] :

$$C = \sum_1^n Q_{Ei} \text{ [voz/sat], n- broj prilaza}$$

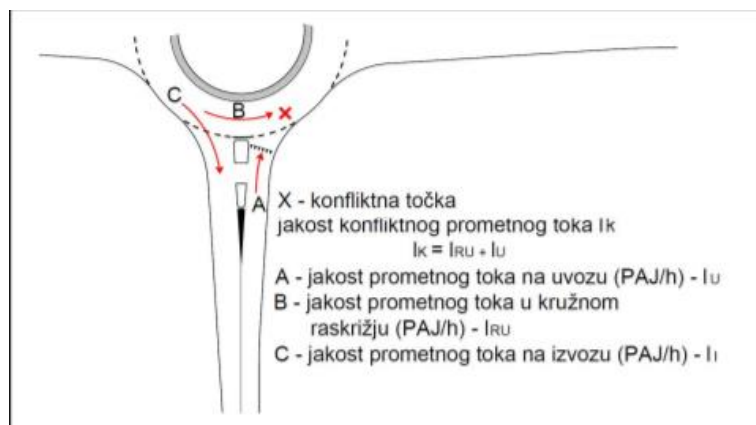
Propusnost ulaza Q_E određuje koliko vozila ulazi u kružno raskrižje na jednom ulazu u jedinici vremena i određuje se iz izraza [2] koji je preuzet iz [2] :

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

Gdje je:

Q_c – kružni prometni tok

Radi se o teoretskoj vrijednosti koja mora biti jednaka ili veća od zbroja jakosti prometa u kružnom raskrižju i jakosti prometa na ulazu u kružni tok koji se spajaju u konfliktnoj točki na ulazu u kružni tok. [2]



Slika br.15: Konfliktna točka x, mjerodavna za određivanje propusne moći kružnog raskrižja [2]

Proračun propusne moći kružnih raskrižja može se provesti empirijskim i iterativnim metodama. Osnova su podatci o jakosti prometa koje dobijemo brojanjem prometa u vršnim satima na određenoj lokaciji. Empirijske metode nam daju samo okvirni podatak o propusnoj moći kružnog raskrižja a za precizniju provjera potrebno je koristiti neku od analitičkih metoda.

Tablica br.2: Empirijski podaci o propusnoj moći različitih tipova izvangradskih kružnih raskrižja [2]

Tip kružnog raskrižja	Okvirni kapacitet (voz/dan)	Konfliktna jakost prometa (PAJ/sat)
Srednje veliko izvangradsko	20.000-27.000*	1500*
Dvotračno kružno raskrižje s jednotračnim ulazima i izlazima	22.000-36.000*	1500-1800*
Dvotračno kružno raskrižje s dvotračnim ulazima i izlazima	35.000-40.000*	2100-2400*

* Prema Nizozemskim smjernicama (CROW). Pretpostavlja se da na kružnom raskrižju nema pješaka i/ili biciklista, a ukoliko se očekuju potrebno je uzeti u obzir manju vrijednost od definiranih okvirnih vrijednosti.

Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja u Hrvatskoj preporučuju dvije analitičke metode za točnije podatke o propusnosti a to su Austrijska i Australaska metoda. Za izvangradska kružna raskrižja bolje je korištenje Australске ne linearne metode jer se ona koristi za velika kružna raskrižja. Kod izvangradskih kružnih raskrižja se problem s pre malenim kapacitetom vrlo rijetko javlja. Ukoliko se pojavi takav problem, kapacitet možemo povećati izvedbom takozvanog „bypass-a“ što se često radi na izvangradskim kružnim raskrižjima zbog raspoloživog prostora za izgradnju. Bypass je odvojena traka za desne skretače te se tako oni ne moraju uključivati u kružno raskrižje. [13]



Slika br.16: Kružno raskrižje s odvojenim trakama za desno skretanje [14]

Kapacitet kružnog raskrižja ovisit će i o veličini njegova vanjskog radijusa pa možemo zaključiti da se na izvangradskim kružnim raskrižjima u većini slučajeva neće javljati problem sa kapacitetom zbog veličina takvih raskrižja. Do ovog zaključka može se doći ako pogledamo izraz [3] za izračun kapaciteta austrijskom metodom koji je preuzet iz [15]:

$$Q_E = 1500 - \left[\frac{8}{9} * (b * M_K + a * M_A) \right]$$

Gdje je :

Q_E - ulazni kapacitet

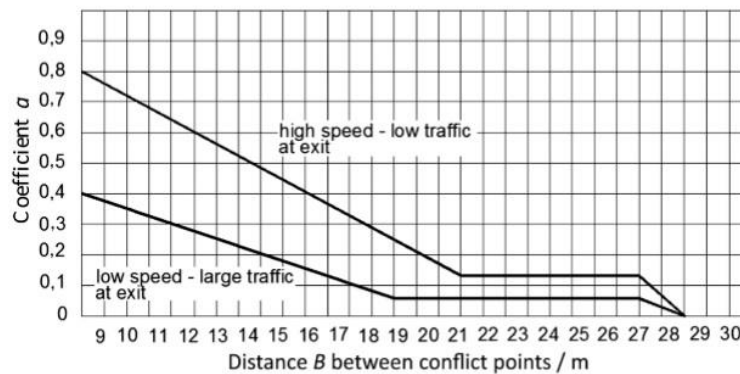
M_K -prometno opterećenje unutar kružnog raskrižja

M_A -prometno opterećenje na izlazu

a-koeficijent geometrije

b-koeficijent broja traka u raskrižju

U nastavku vidimo dijagram koji je preuzet iz [15] gdje se vidi da je jedan od parametara koji utječu na koeficijent geometrije a udaljenost između konfliktnih točaka B koja će biti veća što je vanjski radijus kružnog raskrižja veći.



3.4 PROJEKTNO-TEHNIČKI ELEMENTI IZVANGRADSKIH KRUŽNIH RASKRIŽJA

Nakon što se analiziraju svi kriteriji opravdanosti izgradnje kružnog raskrižja, slijedeći korak je odabir i projektiranje geometrijskih elemenata kružnog raskrižja. Tehnički elementi javnih cesta određeni su Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa [NN 110/01] (dalje u tekstu Pravilnik). U području naselja tehnički elementi javnih cesta mogu, ali ne moraju biti u skladu s ovim Pravilnikom. Projektno-tehnički elementi navedeni u ovim smjernicama prikazani su u preporučenim granicama koje proizlaze iz prometno-tehničkih ili sigurnosnih uvjeta. Usvojeni projektno tehnički elementi predstavljeni su kroz tlocrtne i visinske odnose pojedinih segmenata kružnog raskrižja i čine jedinstvenu cjelinu oblikovnih karakteristika raskrižja, za koje je neophodno provesti odgovarajuće kontrole propusne moći, sigurnosti, provoznosti i preglednosti. [2]

U nastavku su analizirani najznačajniji projektno-tehnički elementi za izvangradska kružna raskrižja.

3.4.1 Vanjski polumjer (R_v) i unutarnji polumjer (R_u)

Veličina kružnog raskrižja određena je njegovim vanjskim polumjerom. U većini slučajeva vanjski polumjer ovisit će o raspoloživom prostoru, što kod izvangradskih kružnih raskrižja u većini slučajeva ne predstavlja problem s obzirom da se grade izvan naseljenih područja. Vanjski polumjer se kreće između 17,5-22,5 metara za srednje velika te >25 metara za velika izvangradska kružna raskrižja. Veličinu vanjskog polumjera ćemo odabrati s obzirom na lokaciju kružnog raskrižja (urbano ili izvan urbano), njegovu namjenu (umirenje prometa, propusnost) te broj privoza. Kod izvangradskih kružnih raskrižja (gradske obilaznice, brze ceste) biramo velike polumjere da bi se vozila mogla kretati dovoljnom brzinom i da bi zadovoljili kapacitet raskrižja.

Unutarnji polumjer kružnog kolnika rezultat je izbora vanjskog polumjera R_v i usvojene širine kružnog kolnika. [2]

3.4.2 Širina kružnog kolnika (u) i povoznog dijela središnjeg otoka (u')

Kružni kolnik je prostor opisan polumjerima vanjskog (R_v) i unutarnjeg (R_u) ruba kolnika. Širina kružnog kolnika ne smije biti pre velika da ne bi dolazilo do pretjecanja vozila unutar kružnog raskrižja, a ne smije biti niti pre malena jer onda mjerodavno vozilo ne bi moglo proći kružnim raskrižjem. Kod velikih izvangradskih kružnih raskrižja ($R_v > 25m$) provoznost dugih vozila omogućena je uobičajenim veličinama kolnika pa nije potreban povozni dio, dok je kod srednje velikih postoji mogućnosti njegova izvođenja. Vanjski polumjer i širina kružnog kolnika „ u “ su međusobno vezane veličine izborom mjerodavnog vozila. [2]

Kružni kolnik mora biti takve veličine da omogući provoznost mjerodavnom vozilu. Mjerodavno vozilo ćemo odabrati s obzirom na lokaciju i namjenu kružnog raskrižja. Minimalna širina kružnog kolnika određuje se prema trajektoriji kretanja mjerodavnog dvoosovinskog vozila pri vožnji u punom krugu. [2]



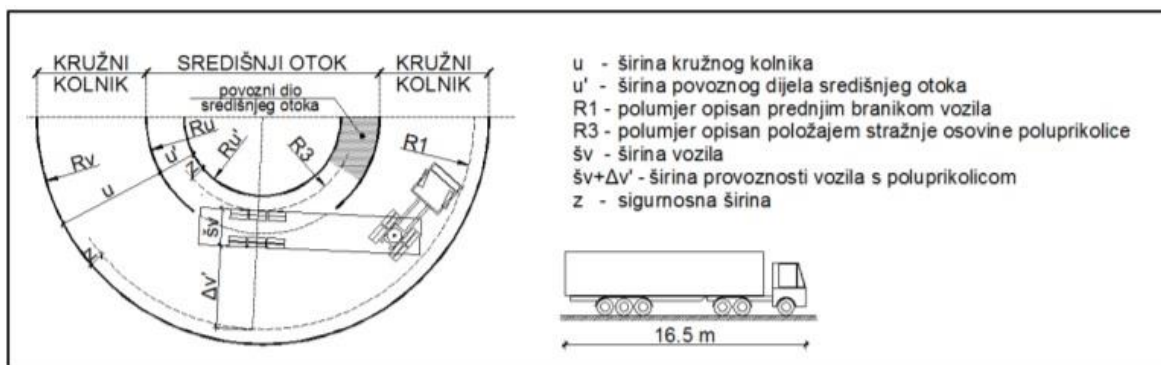
Slika br. 17: Širina kružnog kolnika za mjerodavno dvoosovinsko vozilo [2]

		R1-polumjer kruga u kojem se kreće dvoosovinsko vozilo					
a[m]	8,0	9,0	11,0	12,5	15,0	18,0	21,5
3,00	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	1,9
4,00	3,1	2,9	2,8	2,7	2,5	2,5	2,4
5,00	4,0	3,7	3,4	3,2	3,1	2,9	2,8
6,00	5,2	4,8	4,3	4,0	3,8	3,5	3,4
7,00	6,6	5,8	5,0	4,6	4,2	3,9	3,7
8,00	-	7,4	6,0	5,4	4,8	4,4	4,0
9,00	-	-	7,2	6,3	5,5	4,9	4,5
9,70	-	-	8,3	7,1	6,1	5,3	4,8

Tablica br.3: Širine provoznosti za mjerodavna vozila [2]

Provoznost za duga vozila osigurava se izvedbom povoznog dijela središnjeg otoka odgovarajuće širine prema trajektoriji kretanja mjerodavnog dugog vozila pri vožnji u punom krugu. Povožni dio središnjeg otoka je dio namijenjen dugim vozilima (autobusi, teretna vozila) kako bi mogli nesmetano proći kružnim raskrižjem. Uzdignut je za 2-3 centimetra od kružnog kolnika je te napravljen od drugog materijala kako bi odvratio vozače

ostalnih vozila od vožnje po njemu. Na državnim cestama mjerodavno dugo vozilo je tegljač s poluprikolicom duljine do 16.50 m.



Slika br.18: Širina povoznog dijela središnjeg otoka za mjerodavno dugo vozilo [2]

R1	12,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
šv+Δv	10,8	9,7	7,4	6,4	5,8	5,4	5,0
R3	1,2	2,8	7,6	11,1	14,2	17,1	20,0

Tablica br.4: Širine provoznosti za mjerodavno vozilo duljine 16.50 metara [2]

Širina povoznog dijela središnjeg otoka je određena usvojenom širinom kružnog kolnika „u“ na način da ukupna širina prometne površine (u+u') osigurava provoznost za mjerodavno vozilo. Na državnim cestama izvedba povoznog dijela središnjeg otoka je obavezna na malim i srednje velikim kružnim raskrižjima, a u pravilu nije obavezna na izvangradskim kružnim raskrižjima. Minimalna širina povoznog dijela središnjeg otoka je 1.0 m. [2]

Slijedeća tablica prikazuje glavne oblikovne elemente za srednje veliko kružno raskrižje koja se mogu primijeniti i na izvangradsko kružno raskrižje.

Vanjski radijus Rv	Širina kružnog kolnika e				
		Širina ulaza	Širina izlaza	Ulazni radijus	Izlazni radijus
18.5-22.5m	5.75-6.50m	3.50-4.0 m	3.50-4.25 m	12.0-14.0m	14.0-16.0m

Tablica br.5: Preporučeni geometrijski elementi za srednje veliko kružno raskrižje prema:

„Smjernice za projektiranje i opremanje raskrižja kružnog oblika-rotora [15]

U slijedećoj tablici su prikazane širine kružnog kolnika (u) i povoznog djela središnjeg otoka (u') zajedno sa zaštitnim širinama (z) i (z_u) te širinom vozila ($\check{s}v$) dobivene po hrvatskim smjernicama. Također prikazana je širina kružnog kolnika dobivena po njemačkim smjernicama (B_K). Može se vidjeti kako i za hrvatske tako i za njemačke smjernice širina kružnog kolnika se smanjuje povećanjem vanjskog polumjera kružnog raskrižja.

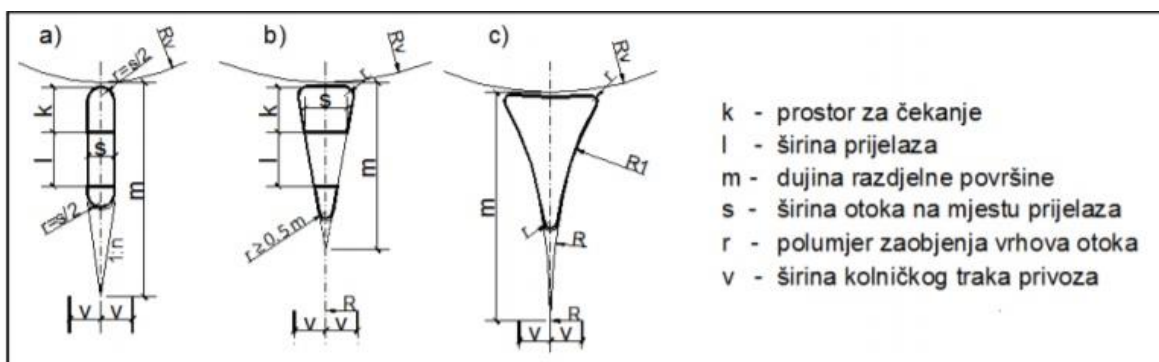
Vanjski polumjer ($R_v=D/2$ [m])		15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
Hrvatske smjernice	R_1 [m]	14,0	16,5	19,0	21,5	24,0
	$(\check{s}v+\Delta v^{\wedge})$ [m]	6,60	5,70	5,20	4,80	4,60
	$(\check{s}v+\Delta v^{\wedge}+z+z_u)$ [m]	8,10	7,20	6,70	6,30	6,10
	$(u+u')$ [m]	8,25	7,25	6,75	6,50	6,25
Njemačke smjernice	B_K [m]	8,0	7,0	6,50	6,50	6,50

Tablica br.6: Širine kružnog voznog traka [16]

3.4.3 Razdjelni otoci i površina za razdvajanje prometa na privozima

Površina za razdvajanje prometa na privozu je obvezni dio kružnog raskrižja kojim se vrši razdvajanje kolničkih traka suprotnog smjera vožnje. Kod izvangradskih kružnih raskrižja glavna uloga im je vođenje prometa u raskrižje, kontroliranje brzina ulaska u raskrižje (Razdjelni otoci utječu na brzinu ulaza u kružno raskrižje) i fizičko odvajanje ulaza i izlaza u kružno raskrižje. Dimenzije će biti prilagođene veličini kružnog raskrižja i željenoj brzini u kružnom raskrižju. Rubovi površine koriste se u pravilu kao linije vodilje kolnog prometa. Konstruktivni početak otvaranja površine za usmjeravanje prometa na izvangradskim kružnim raskrižjima nalazi se na udaljenosti većoj ili jednakoj 25 m od vanjskog ruba kružnog kolnika. [2]

Na izvangradskim kružnim raskrižjima se preporučuje korištenje razdjelnih otoka oblika lijevka jer su oni primjereniji većim brzinama ulaska i izlaska iz kružnog raskrižja, ali se koriste i trokutasti oblici.



Slika br.19: Mogući oblici razdjelnih otoka: a) izduženi, b) trokutasti, c) ljevkašti [2]

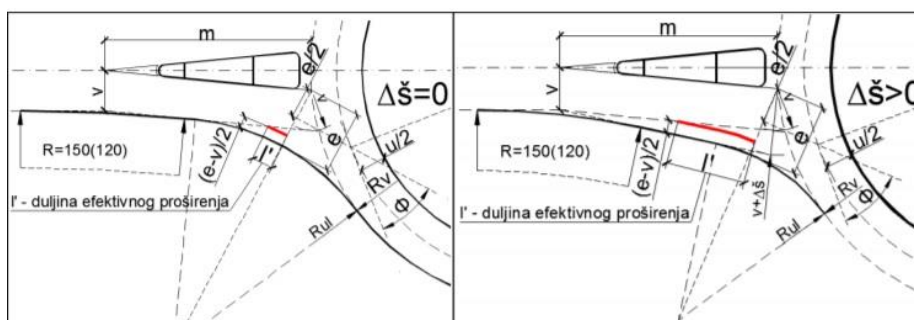
Na izvangradskim kružnim raskrižjima gdje se ne očekuje pješački promet razdjelni otok se po potrebi može izvesti u cijelosti ili dijelom kao povozna površina, ako to zahtijevaju uvjeti provoznosti. U većini slučajeva razdjelni otoci izvangradskih kružnih raskrižja će biti u vidu ozelenjenih površina obrubljena rubnjakom visine do 15 centimetara. Minimalne dimenzije razdjelnog otoka podređene su očekivanom broju i načinu vođenja pješaka/biciklista, točnije biciklista ukoliko je predviđen biciklistički prijelaz jer na izvangradskim kružnim

raskrižjima ne očekujemo pješački promet, te potrebama postavljanja vertikalne prometne signalizacije.

3.4.4 Ulaz u kružno raskrižje

Prvi element kružnog raskrižja s kojim se vozač susreće pri dolasku prema kružnom raskrižju su prilaz i ulaz u kružno raskrižje. Prilaz kružnom raskrižju i ulazak u njega su vrlo opasne radnje i potrebno ih je na pravilan način oblikovati da bi vozilo smanjilo brzinu kretanja te da bi se na siguran način moglo uključiti u kružno raskrižje.

Uvjeti za dobro uključivanje vozila u raskrižje ostvaruju se pravilnim izborom ulaznog polumjera R_{ul} i oblikovanjem vanjskog ruba kolnika.[2]



Slika br.20: Oblikovanje vanjskog ruba kolnika, bez i s proširenjem voznog traka [2]

Širina ulaza „e“, efektivno proširenje ulaza „l'“, oštrina proširenja „S“ i ulazni kut Φ rezultat su oblikovanja razdjelnog otoka, te usvojenog ulaznog polumjera R_{ul} i proširenja Δs . Ujedno su i elementi čije vrijednosti bitno utječu na propusnu moć privoza i sigurnost ulaska u kružno raskrižje. [2]

Širina kolničkog traka privoza kružnom raskrižju

Širina kolničkog traka je širina jednog ili više prometnih trakova prilazne ceste koja se nalazi prije početka kružnog raskrižja. [17] Ova širina bitno utječe na propusnost ulaza kružnog raskrižja. Širina ne bi trebala biti manja od širine voznog traka prilazne ceste, a minimalna vrijednost na državnim cestama je 3.0 metra.

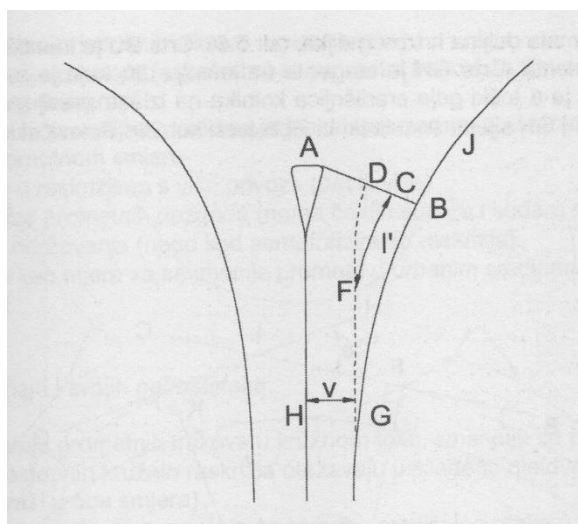
Ukoliko cesta koja prilazi kružnom raskrižju ima dva ili više vozna traka a kružno raskrižje ima samo jedan vozni trak, potrebno je prometne tokove svesti u jedan na adekvatnoj udaljenosti od ulaza u kružno raskrižje. [2]

Širina ulaza, efektivno proširenje ulaza i oštrina proširenja

Širina ulaza (e) je širina ulaznog kolnika te se mjeri pravokutno - od presjecišta lijevog ruba ulaznog traka i luka vanjskog polumjera (R_v) okomito do ulaznog polumjera (R_{ul}). Može biti unaprijed određena konstruktivno ili je dobivena kao rezultat usvojenog ulaznog polumjera i proširenja kolnika. Proširenje ulaznog kolničkog traka u pravilu se izvodi u području površine za usmjeravanje prometa (Slika br.19) u duljini „ m “. Efektivno proširenje je vrlo bitno za izvangradska kružna raskrižja gdje možemo očekivati veliki broj dugih vozila te im efektivno proširenje olakšava ulazak u kružno raskrižje.

Vanjski rub kolnika u području proširenja se za potrebe dugih vozila može oblikovati i složenim (košarastim) krivinama. Na slici br.20 BA predstavlja duljinu e , duljina BD je $e-v$ a duljina BC je $(e-v)/2$. Prosječno efektivno proširenje je CF je duljine l' i udaljeno je za $(e-v)/2$ od desnog ruba kolnika.[17] Kapacitet ulaza može se povećati većom duljinom proširenja u kombinaciji s odgovarajućom širinom ulaza. Na izvangradskim kružnim raskrižjima duljina proširenja treba biti najmanje jednaka konstruktivnoj duljini razdjelne površine (m). Efektivne duljine proširenja veće od 25 m imaju vrlo mali utjecaj na promjenu kapaciteta ulaza. [2]

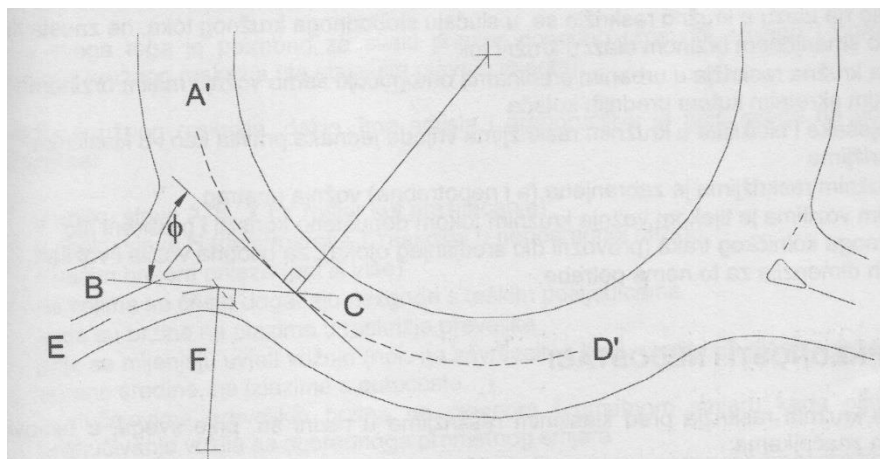
Oštrina proširenja je određena izrazom $S=1,6(e-v)/l'$ te je ona mjerilo za način širenja prometnog traka od širine v prilaza kružnom raskrižju do širine e na samom ulazu u kružno raskrižje. [17]



Slika br.21: Prosječna efektivna duljina proširenja [17]

Ulazni polumjer (Rul) i ulazni kut (Φ)

Ovi elementi nemaju velik utjecaj na propusnost, ali imaju na brzinu ulaska u kružno raskrižje te su važni za osiguravanje sigurnosti prometa na ulazu i unutar kružnog raskrižja. Izbor većeg ulaznog polumjera (u pravilu donosi i manji ulazni kut Φ) omogućava uključivanje u kružni tok većim brzinama i primjereniji je manje opterećenim izvangradskim kružnim raskrižjima. Ulazni kut (Φ) je tangenti kut između putanja vozila u području ulaza u kružno raskrižje. Točnije putanje se uzimaju kao središnje linije kružnog traka i središnja linija ulaznog traka. Na slici br.21 možemo vidjeti kako se određuju tangente i ulazni kut (Φ) kada je duljina kružnog djela velika te to možemo primijeniti na izvangradska kružna raskrižja koja su velikih promjera. Prema inozemnim iskustvima optimalna vrijednost kuta je 30° . Manji ulazni kutovi ne odgovaraju vidnom polju vozača na ulazu, a veći kutovi smanjuju kapacitet ulaska te su nepovoljni kod većih prilaznih brzina (izvangradska kružna raskrižja).

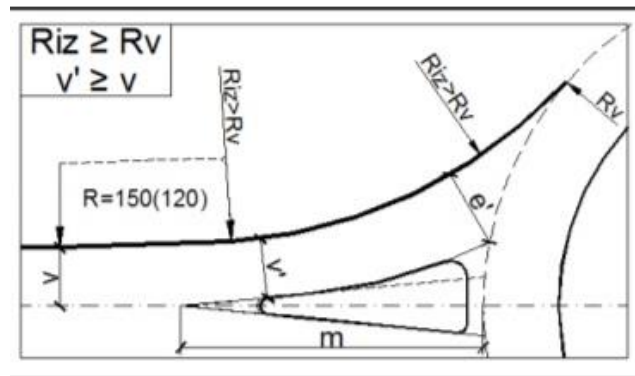


Slika br.22: Konstrukcija ulaznog kuta „ Φ ” [17]

3.4.5 Izlaz iz kružnog raskrižja

Da bi promet iz kružnog raskrižja neometano „tekao“ vrlo je važno da izlaz bude projektiran na odgovarajući način. Izlaz iz kružnog raskrižja mora imati odgovarajuću širinu i primjereno zakrivljenje.

Na izvangradskim raskrižjima (bez biciklista i pješaka) brzina izlaska iz kružnog raskrižja je veća čemu treba prilagoditi oblikovanje rubova kolnika. Očekivane brzine kretanja vozila trebaju biti rezultat konstrukcije idealnih putanja vozila. [2]



Slika br.23: Oblikovanje izlaza srednje velikog izvangradskog kružnog raskrižja [2]

Izlazni polumjer R_{iz} osigurava propusnost i sigurnost pri izlaznoj brzini te treba biti veći ili jednak ulaznom R_{ul} , a u pravilu ne manji od ulaznog polumjera ($R_{iz} \geq R_{ul}$). Širinu izlaza „e“ treba dimenzionirati po mjerodavnom vozilu. Širina izlaza veća od 6.0 m omogućava obilaženje vozila što je potrebno spriječiti oblikovanjem površine za razdvajanje prometa odnosno razdjelnog otoka. Tada je razdjelni otok nesimetričan u odnosu na os privoza i takva rješenja su primjerenija za izvangradska kružna raskrižja. Širina izlaznog traka „v“ određena je kao i širina ulaznog traka privoza. Širina kolnika u području površine za razdvajanje prometa treba biti veća ili jednaka širini kolničkog traka prilaza. [2]

Preporučene vrijednosti izlaznih polumjera za neke od mogućih tipova izvangradskih kružnih raskrižja prema [17]:

- srednje velika kružna raskrižja ($14,5 \text{ m} \leq R_u \leq 21 \text{ m}$) s razdjelnim otocima oblika trokuta preporučuje se izlazni zavoj polumjera 12 metara odnosno 15 metara
- velika jednotračna kružna raskrižja ($21 \text{ m} \leq R_u \leq 31 \text{ m}$) s razdjelnim otocima oblika lijevka preporučuju se zavoji polumjera od 15 metara do 18 metara
- velika jednotračna kružna raskrižja ($21 \text{ m} \leq R_u \leq 31 \text{ m}$) s razdjelnim otocima oblika trokuta preporučuje se izlazni zavoj polumjera 15 metara

3.4.6 Središnji otok

Središnji otok je u pravilu kružnog oblika s mogućim vanjskim povoznim pojasom konstantne širine (kod izvangradskih kružnih raskrižja rijetko kada zbog velikih dimenzija vanjskog polumjera koji omogućava provoznost dugih vozila). Kod hortikulturnog ili skulpturnog uređenja središnjeg otoka potrebno je obratiti pažnju da se izvede pravilno da ne bi došlo do narušavanja preglednosti, odvlačenja pažnje vozačima te samim time i smanjenja sigurnosti kružnog raskrižja.

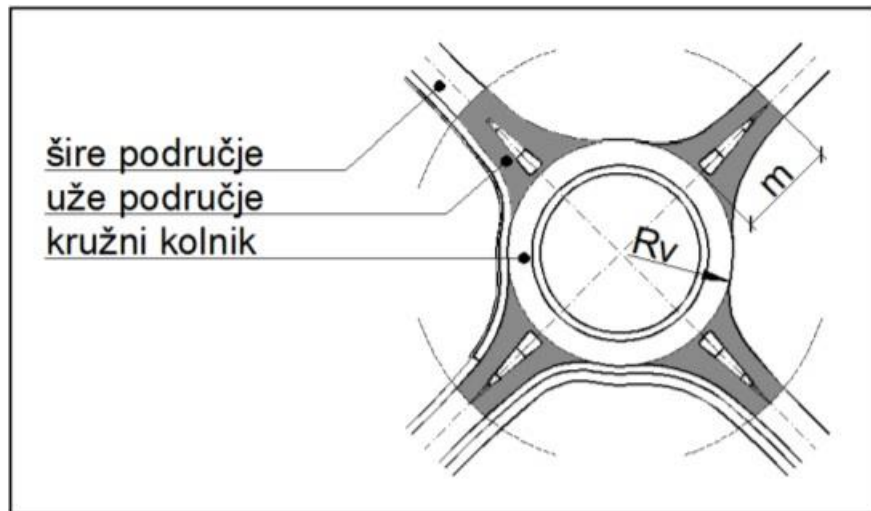
Središnji otok se izvodi sa kupolastim uzdignućem njegova središta da bi poboljšali uočljivost samog središnjeg otoka i zaklonili vozaču pogled prema nasuprotnom izlazu iz kružnog raskrižja te tako povećali sigurnost. [2]



Slika br.24: Primjer uređenja središnjeg otoka [18]

3.4.7 Horizontalno i visinsko vođenje kružnih raskrižja

Razlikujemo tri područja kružnog raskrižja a to su njegovo šire područje , uže područje te kružni kolnik kao što je prikazano na slici br.24. Ova područja su određena položajem svoje osi, horizontalnim vođenjem , visinskim položajem te nagibom.



Slika br.25: Područja kružnog raskrižja[2]

Kružni kolnik je prostor po kojem se kreću vozila opisan vanjskim polumjerom (R_v) kružnog raskrižja. Uže područje raskrižja određeno je duljinom površine za usmjeravanje prometa (m) i sadrži sve elemente poprečnog presjeka prilazne ceste. Šire područje raskrižja obuhvaća dio prilazne ceste na kojem su izmijenjeni elementi prilazne ceste (tlocrtno i visinsko oblikovanje i uklapanje) ili su uvedena ograničenja u odvijanju prometa (prometna signalizacija,) u funkciji kružnog raskrižja. [2]

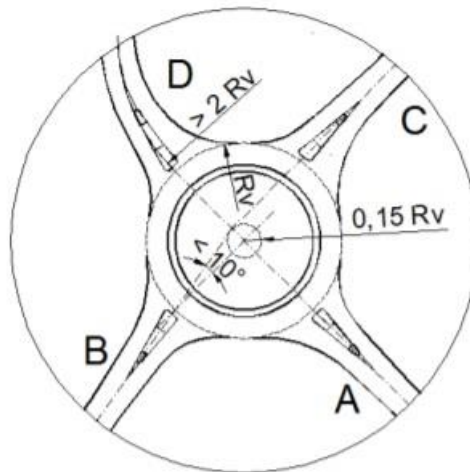
Položaj osi ceste u širem području raskrižja

Na izvangradskim kružnim raskrižjima smanjenje brzine pred ulazom u raskrižje je iznimno važno zbog većih brzina kretanja nego u gradu. To se može postići postupnim smanjivanjem polumjera kružnih lukova zavoja u slijedu ispred kružnog raskrižja (slika br.25). Pravac, kao element trasiranja u širem području nije zabranjen, te će on u većini slučajeva biti primijenjen jedino ukoliko prethodna izgrađenost u tom području ne dopušta izvođenje kružnih lukova.



Slika br.26: Položaj osi ceste na širem području prilaza kružnom raskrižju [2]

Položaj osi ceste u užem području raskrižja

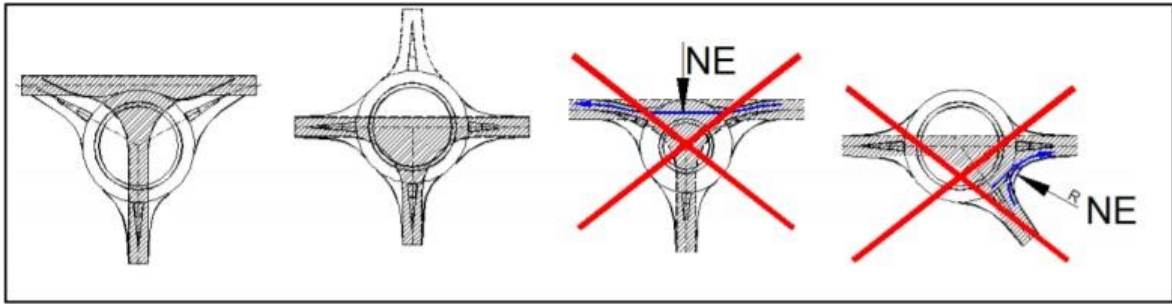


Slika br.27: Položaj osi privoza u užem području kružnog raskrižja [2]

Posljednji dio prilazne ceste prije samog kružnog raskrižja te prvi dio ceste nakon samog izlaza iz kružnog raskrižja bi trebao biti pravac jer se tako postiže okomitost na kružni kolnik. Na slici br.26 su prikazani neki od mogućih položaja osi privoza, te se vidi da je slučaj A najbolji jer je okomit na kružni kolnik te se preporuča takvo vođenje osi privoza s odmacima od +/- 10°. Odmak osi u lijevo omogućava veće brzine na izlazu iz kružnog raskrižja a odmak osi u desno omogućava veće ulazne brzine što nije preporučljivo prema smjernicama ali na izvangradskim kružnim raskrižjima se može izvesti na taj način (zbog većih dopuštenih brzina) ali u granicama sigurnosti. Slučaj D na slici br.26 prikazuje os privoza u kružnom luku koju isto u pravilu treba izbjegavati. [2]

Odnos privoza u raskrižju

Kod novo projektiranih kružnih raskrižja privozi se najčešće postavljaju simetrično, a kod preoblikovanja postojećih „T“ i višekrakah raskrižja u kružna, pažnju treba posvetiti položaju kružnog kolnika u odnosu na postojeće privoze uzimajući u obzir postojeću izgrađenost, prometno opterećenje i uvjete preglednosti. Također treba izbjegavati rješenja koja omogućuju prebrzi prolazak kroz raskrižje. [2]



Slika br.28: Povoljan i nepovoljan odnos privoza kružnog raskrižja [2]

3.4.8 Uzdužno vođenje kružnog raskrižja

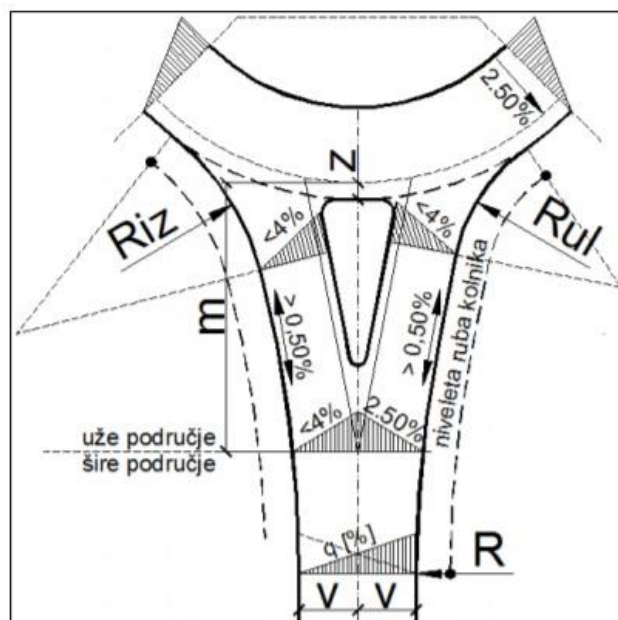
Kod projektiranja izvangradskih kružnih raskrižja možemo očekivati veću raznolikost reljefa terena nego kod urbanih kružnih raskrižja pa je potrebno pažnju posvetiti visinskom i uzdužnom vođenju kružnog raskrižja i njegovih privoza. Neke od mogućih situacija su da se kružno raskrižje nalazi na sredini konkavnog ili konveksnog zaobljenja te je onda potrebno posvetiti nešto više pažnje odvodnji privoza kružnog raskrižja. Također neka od iskustava iz Engleske i drugih zemalja nam govore da je jedina neprimjerena lokacija za izvedbu kružnog raskrižja na završetku duge i strme dionice. [17] Ukoliko se kružno raskrižje nalazi u tjemenu konkavnog ili konveksnog zaobljenja, potrebno je pred ulazom vertikalno zaobljenje zamijeniti tangentom, te tako na ulazu i izlazu iz raskrižja nastaje ravna, nešto nagnuta ploha. [17]

3.4.9 Poprečni nagib i vitoperenje kolnika

Poprečni nagib kružnog kolnika ima zadaću odvodnje vode te da osigura stabilnost vozila koje se kreće njime. Kada se prometno – tehnički gleda, pravilan poprečni nagib kružnog kolnika bi bio prema unutra ali se takav nagib rijetko primjenjuje jer se on prilagođava odvodnji vode pa se izvodi prema van. Prema iskustvima iz cijelog svijeta preporučeni nagib kružnog kolnika je 2,5% te je tako preporučeno i u hrvatskim smjernicama.

Kod izvangradskih kružnih raskrižja gdje su brzine vožnje veće može doći do problema prevelike brzine ulaska u kombinaciji velikog ulaznog polumjera i poprečnog nagiba prema van pa o tome treba također voditi računa. [17]

Osim poprečnog nagiba prema vani i prema unutra postoji i treća mogućnost u vidu dvostrešnog nagiba. Ovakav način izvedbe poprečnog nagiba se može koristiti kod velikih višetračnih kružnih raskrižja. [17]



Slika br.29: Poprečni nagib ulaza, izlaza i kružnog kolnika [2]

3.4.10 Preglednost kružnih raskrižja

Osigurati odgovarajuću preglednost na izvangradskim kružnim raskrižjima je neophodno da bi se vozila bez prednosti prolaska mogla sigurno uključiti u raskrižje. Kod kružnih raskrižja moramo osigurati više vrsta preglednosti nego kod klasičnih raskrižja. Vozač pri ulasku u kružno raskrižje mora pogled usmjeriti prema lijevom dijelu kružnog raskrižja kako bi se sigurno mogao uključiti u raskrižje a tijekom kretanja kružnim raskrižjem mora imati osiguranu vidljivost kružnog kolnika ispred sebe.

Na izvangradskim kružnim raskrižjima na državnim cestama neophodno je osigurati slijedeće preglednosti: [2]

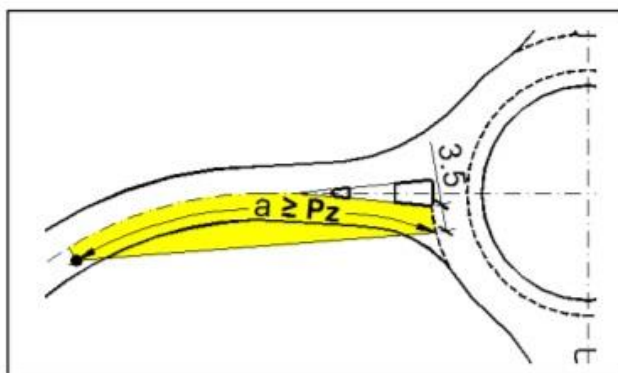
- Prilazna preglednost privoza raskrižju (slika br.29)
- Preglednost na ulazu (slika br.30)
- Preglednost ulijevo (slika br.31)

- Preglednost u kružnom kolniku (slika br.32)
- Preglednost biciklističkog prijelaza na ulazu i iz kružnog kolnika ukoliko je predviđen na raskrižju

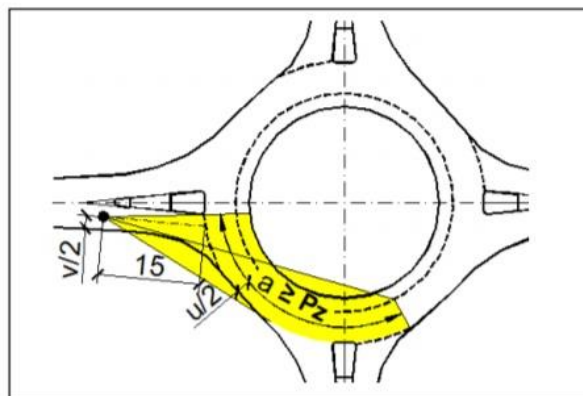
Vr [km/h]	Prilazna preglednost a [m]			
	30	40	50*	60*
Preporučena zaustavna preglednost	35	50	70	100
Minimalna zaustavna preglednost	25	35	50	70

* za velika izvangradska kružna raskrižja ili na autocestama

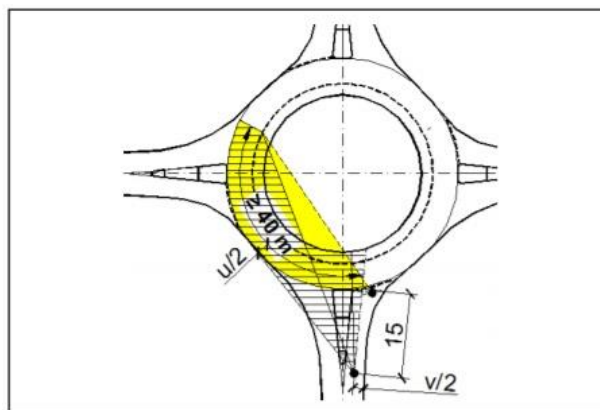
Tablica br.7: Duljine zaustavne preglednosti [2]



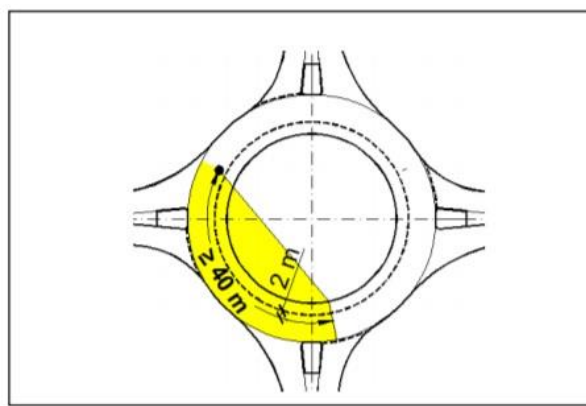
Slika br.30: Prilazna preglednost privoza raskrižju [2]



Slika br.31: Preglednost na ulazu u kružno raskrižje [2]



Slika br.32: Preglednost ulijevo sa privoza [2]



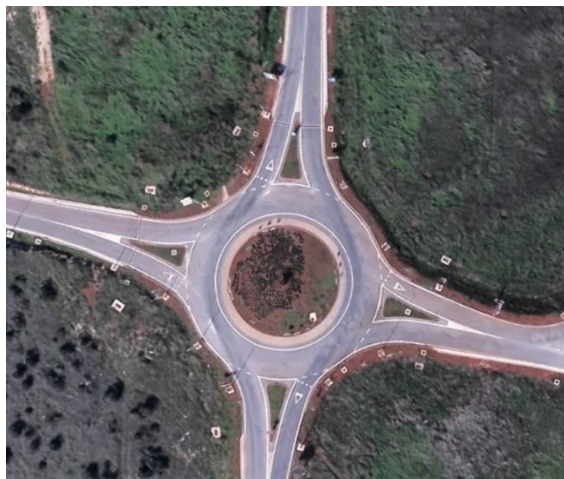
Slika br.33: Preglednost u kružnom kolniku [2]

Na izvangradskim kružnim raskrižjima bi bilo dobro da se središnji otok izdigne da vozaču koji se uključuje u raskrižje zaklonimo pogled prema nasuprotnom izlazu iz raskrižja. Tako se poboljšava uočljivost središnjeg otoka i smanjujemo šanse za prevelikim ulaznim brzinama te izlijetanjem vozila na središnji otok. [19] Vozaču koji ulazi u kružno raskrižje informacije o tome što se događa na suprotnoj strani kružnog raskrižja su nepotrebne pa je za izvangradska kružna raskrižja u mnogim državama to obavezno pravilo. [17] Prilazna preglednost privoza raskrižju pored preglednosti kolnika privoza treba osigurati i vidljivost signalizacije postavljene na središnjem otoku nasuprot privoza. Po potrebi ovi znakovi mogu se postaviti na većoj visini. Na srednje velikim i velikim kružnim raskrižjima vozači svih vozila koja se približavaju crti zaustavljanja moraju biti u mogućnosti vidjeti predmete visine između 0.25 i 2 m na punoj širini kružnog kolnika sa duljine preglednosti ne manje od 40 m.

Preglednost ulijevo sa privoza na punu širinu kružnog kolnika treba biti ostvarena sa pozicije sredine crte zaustavljanja. Na izvangradskim kružnim raskrižjima di su prilazne brzine velike potrebno je ostvariti preglednost sa udaljenosti od 15 metara od crte zaustavljanja, ali i ograničiti prikladnim uređenjem razdjelnog otoka kada visoke prilazne brzine nisu poželjne. [2] Preglednost na kružnom kolniku treba biti omogućena nad cijelom širinom kružnog kolnika i sa pozicije udaljene 2.0 m od središnjeg otoka. Ukoliko postoji biciklistički prijelaz, potrebno je ostvariti njegovu preglednost sa pozicije privoza i sa pozicije kružnog kolnika. Potrebna je preglednost ukupne širine biciklističkog prijelaza. [2]

4 PROVJERA BRZINE VOŽNJE I PREGLEDNOSTI NA POSTOJEĆIM IZVANGRADSKIM KRUŽNIM RASKRIŽJIMA

Vrlo važni elementi za sigurnost izvangradskih kružnih raskrižja su brzina vožnje kroz raskrižje i preglednost koja je u direktnoj vezi sa brzinom vožnje jer pri većim brzinama vožnje raste i duljina preglednosti. U nastavku slijedi proračun brzine vožnje kroz dva kružna raskrižja koja se nalaze na dionici županijske ceste ŽC 5200 koja se nalazi u južnom djelu Istre između naselja Pomer i priključka na Istarski ipsilon te provjera njihove preglednosti. Kružna raskrižja za koje su vršene ove provjere su kružno raskrižje „Jadreški“ (Slika 34) koje je srednje veliko jednotračno izvangradsko kružno raskrižje vanjskog polumjera 22,0 metra te kružnog raskrižja „Šikići“ (slika 35) koje je veliko jednotračno izvangradsko kružno raskrižje vanjskog polumjera 35,0 metara.



Slika br.34: Orto foto prikaz kružnog raskrižja Jadreški [20]

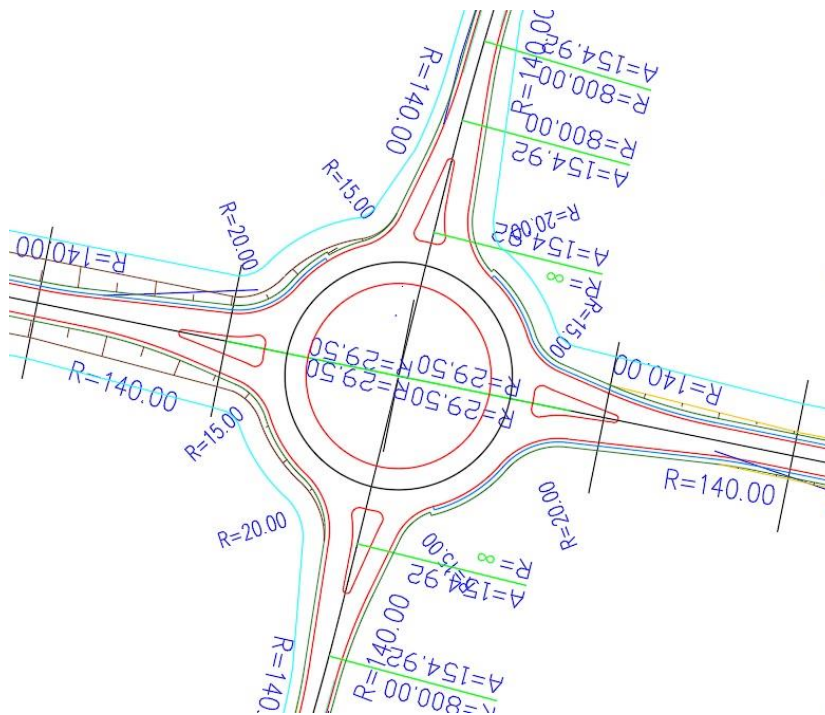


Slika br.35: Orto foto prikaz kružnog raskrižja Šikići [20]

Na orto foto prikazima je vidljivo da se oba kružna raskrižja sastoje od četiri privoza koji su okomiti ili približno okomiti na osi kružnog raskrižja što je povoljno. Oba kružna raskrižja imaju povozni dio središnjeg otoka (što nije obavezno za izvangradska kružna raskrižja) te su razdjelni otoci izvedeni u obliku kaplje kao izdignuta ozelenjena površina. Na kružnim raskrižjima nema biciklističke staze niti prijelaza. Kružno raskrižje Jadreški ima ulazne polumjere od 15,0 metara na sva četiri privoza, a izlazne od 20,0 što je u preporučenim granicama koje se preporučaju u hrvatskim smjernicama. Širina kružnog kolnika je 6 metara što isto zadovoljava preporuke u smjernicama. Kružno raskrižje Šikići ima ulazni polumjer od 15,0 metara, a izlazni od 20,0 metara isto kao i kružno raskrižje Jadreški te zadovoljava smjernice. Širina kružnog kolnika je 6 metara što je u granicama preporučene širine prema smjernicama.



Slika br.36: Prikaz geometrijskih elemenata kružnog raskrižja Jadreški



Slika br.37: Prikaz geometrijskih elemenata kružnog raskrižja Šikići

4.1 PROVJERA BRZINE VOŽNJE KROZ KRUŽNO RASKRIŽJE

Provjera brzine u kružnim raskrižjima se u većini smjernica temelji na dva modela a to su nizozemski model i američki model. Prema nizozemskom modelu se pomoću vrijednosti U i L izračunava polumjer krivulje vozne linije R iz izraza [4] koji je preuzet iz [2] :

$$R = \frac{(0,25 * L)^2 + (0,5 * (U + 2))^2}{U + 2}$$

Gdje je:

R= radijus putanje vozila kroz kružno raskrižje [m]

L= tangenta udaljenosti između početka ulaznog radijusa i kraja izlaznog radijusa [m]

U= udaljenost tangente između početka ulaznog radijusa i kraja izlaznog radijusa do ruba središnjeg otoka [m]

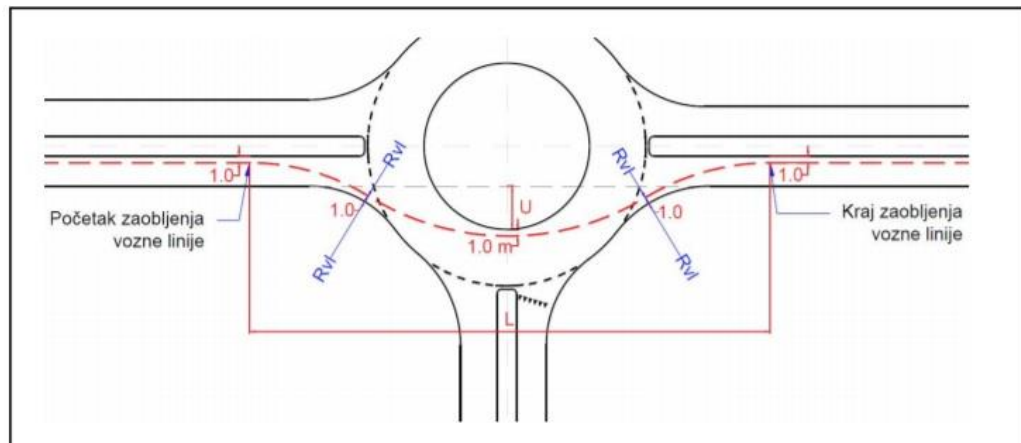
Nakon toga brzina prolaska kroz kružno raskrižje V dobije se iz izraza [5] koji je preuzet iz [2]:

$$V = 7,4 * \sqrt{R}$$

Gdje je:

V= provozna brzina [km/h]

R= radijus putanje vozila [m]



Slika br.38: Putanja vozila i elementi za određivanje polumjera vozne linije za nizozemski model [2]

Prema američkom modelu brzina prolaska kroz kružno raskrižje dobije se iz izraza [6]:

$$V = \sqrt{127 * R * (e + f_t)}$$

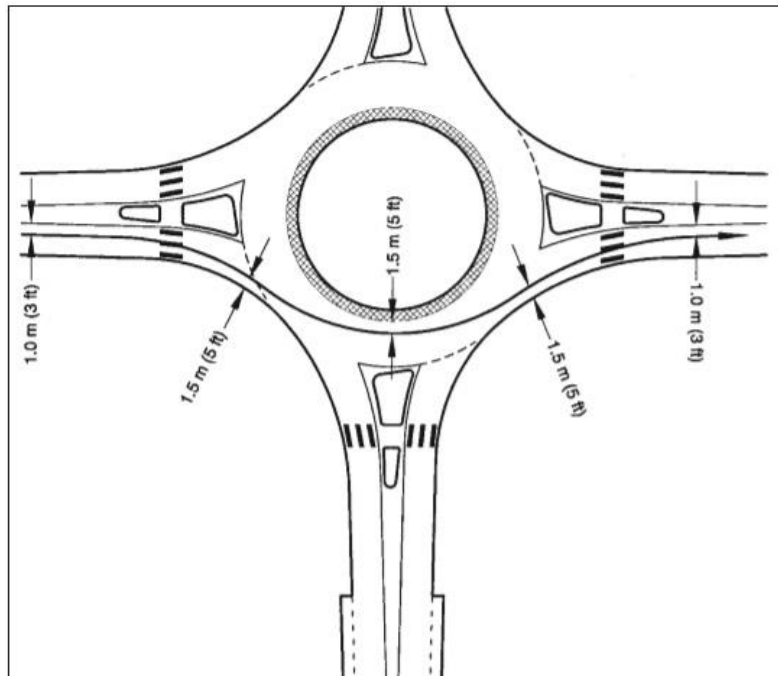
Gdje je:

V= provozna brzina [km/h]

R= radijus putanje vozila [m]

e= poprečni nagib kolnika [m/m]

f_t= koeficijent trenja između gume kotača i kolnika

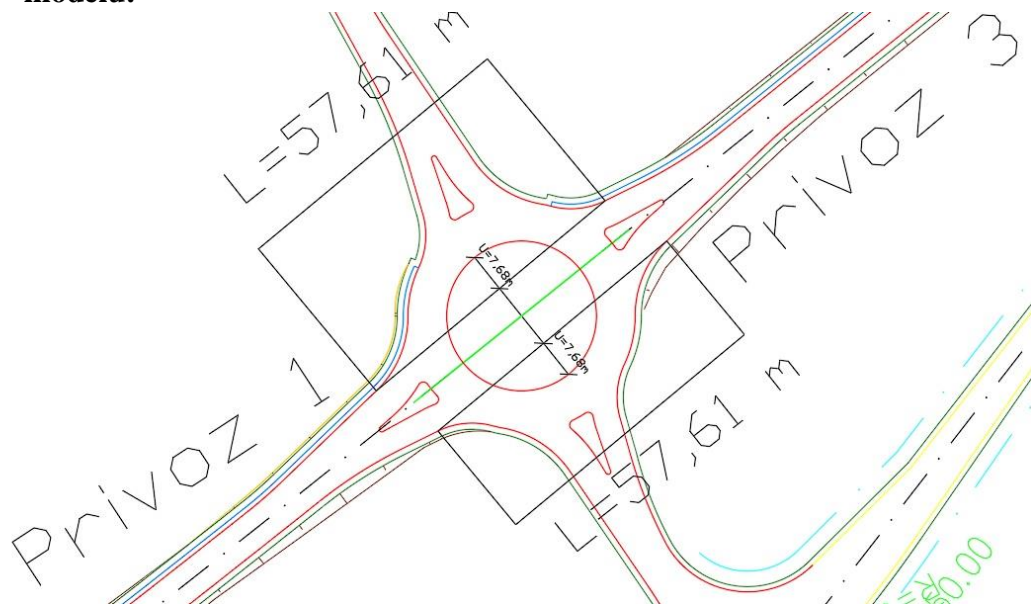


Slika br.39: Konstrukcija putanje najbržeg mogućeg prolaska kroz kružno raskrižje prema američkom modelu [3]

4.1.1 Kružno raskrižje „Jadreški“

Kružno raskrižje „Jadreški“ vanjskog polumjera 22,0 metara prema smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja spada u srednje velika izvangradska kružna raskrižja. Ovo kružno raskrižje ima četiri privoza koji su približno okomiti na osi kružnog raskrižja.

4.1.1.1 Proračun brzine prolaska kroz kružno raskrižje prema Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama po nizozemskom modelu:



Slika br.40: Vrijednosti L i U za proračun polumjera vozne krivulje

Smjer 1-3:

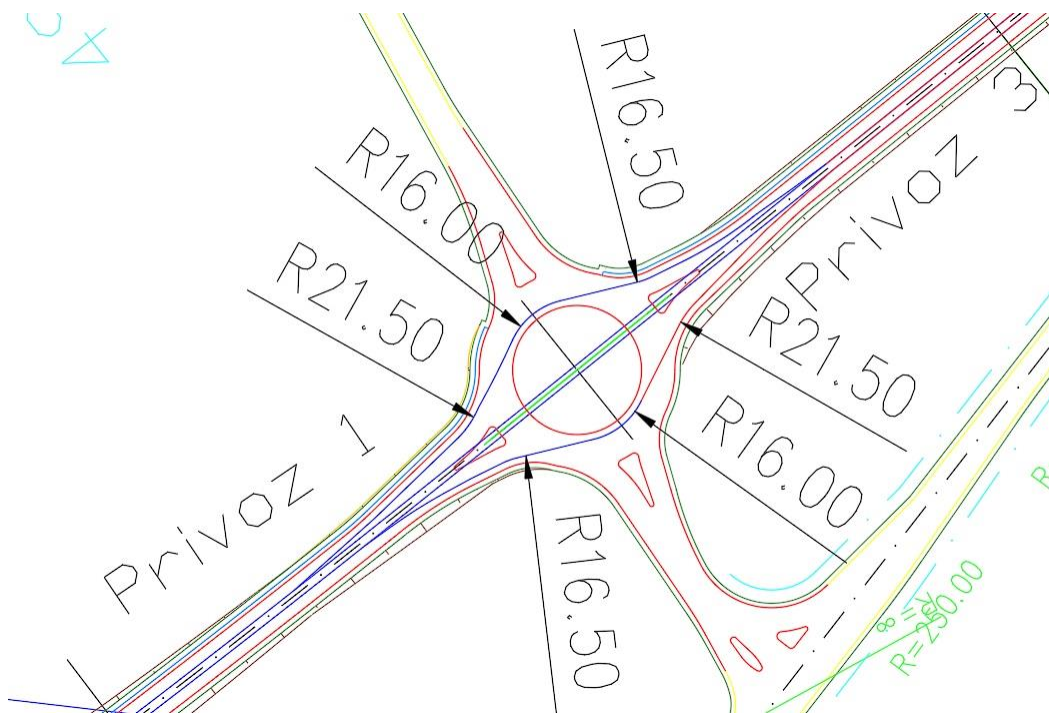
$$R = \frac{(0,25 * L)^2 + (0,5 * (U + 2))^2}{U + 2} = \frac{(0,25 * 57,61)^2 + (0,5 * (7,68 + 2))^2}{7,68 + 2} = 23,8 \text{ m}$$

$$V = 7,4 * \sqrt{R} = 7,4 * \sqrt{23,8} = 36,1 \text{ km/h}$$

Kao što je vidljivo iz slike br.35 Vrijednosti L i U su iste za smjerove 1-3 i 3-1 pa samim time i brzina prolaska kroz kružno raskrižje je jednaka. Brzina je proračunata za pretpostavljeni najbrži moguću smjer prolaska kroz kružno raskrižje.

Proračun brzine prolaska kroz kružno raskrižje prema američkom modelu:

Brzina je proračunata za pretpostavljene najbrže moguće smjerove prolaska kroz kružno raskrižje što su smjerovi 1-3 i 3-1. Idealna putanja kretanja uzeta je na udaljenosti od 1.5 metara od izdignutih rubova na ulasku, izlasku i sredini kružnog raskrižja. Nagib poprečnog kolnika je pretpostavljen te iznosi 2,5% kao što je uobičajeno na kružnim raskrižjima, a koeficijent trenja između gume kotača i kolnika varira između 0,4-0,9.



Slika br.41: Putanja kretanja vozila za najbrži moguću prolazak kroz kružno raskrižje i njeni radijusi

Kako bi se utvrdio mogući utjecaj stanja kolnika (izraženo faktorom trenja) proračunata je brzina za različite slučajeve faktora trenja između kotača i kolnika.

Smjer 1-3

$$f_t=0,4$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,4)} = 29,8 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0.025 + 0,4)} = 29,4 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0.025 + 0,4)} = 34,1 \text{ km/h}$$

$$f_t=0,5$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,5)} = 33,2 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0.025 + 0,5)} = 32,7 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0.025 + 0,5)} = 37,9 \text{ km/h}$$

$$f_t=0,6$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,6)} = 36,2 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0.025 + 0,6)} = 35,6 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0.025 + 0,6)} = 41,3 \text{ km/h}$$

$$f_t=0,7$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,7)} = 39,0 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0.025 + 0,7)} = 38,4 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0.025 + 0,7)} = 44,5 \text{ km/h}$$

$$f_t=0,8$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,8)} = 41,6 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0.025 + 0,8)} = 40,9 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0,025 + 0,8)} = 46,9 \text{ km/h}$$

$$f_i = 0,9$$

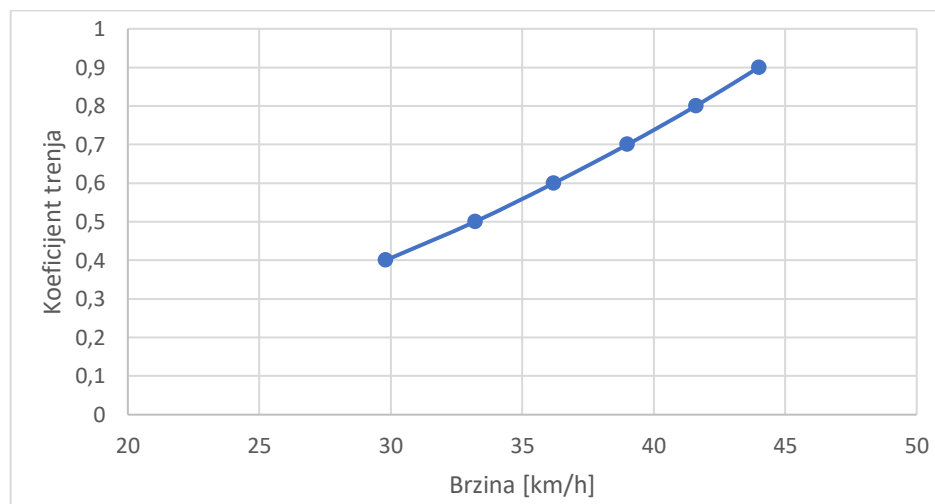
$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0,025 + 0,9)} = 44,0 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16 * (0,025 + 0,9)} = 43,4 \text{ km/h}$$

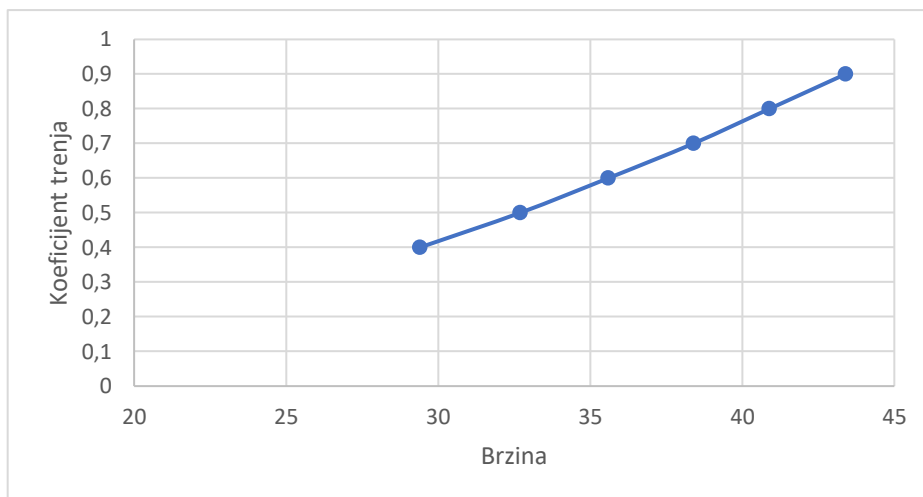
$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0,025 + 0,9)} = 49,7 \text{ km/h}$$

Kao što je vidljivo iz slike br.36 radijusi su jednaki za smjer 1-3 i 3-1 pa je proračun izvršen samo za jedan smjer kretanja. U nastavku se vidi grafički prikaz ovisnosti brzine vožnje o koeficijentu trenja između kotača i asfalta. Možemo zaključiti da povećanjem koeficijenta trenja raste i brzina kretanja vozila.

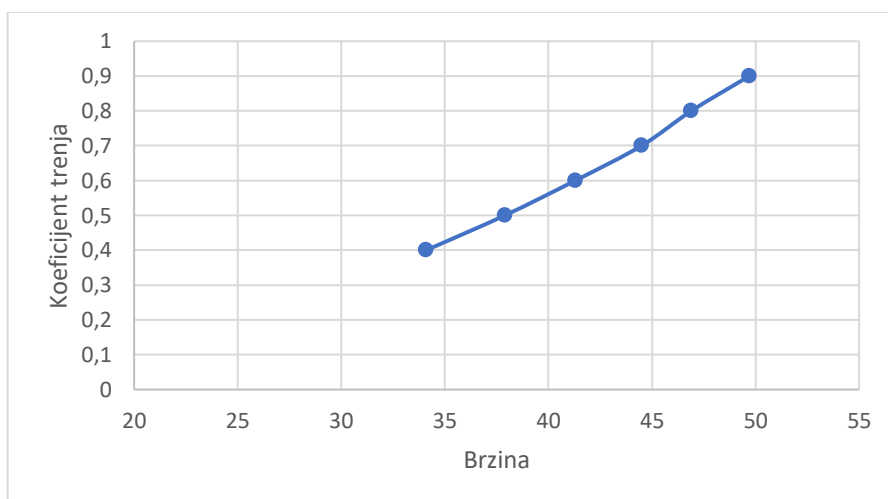
Iz proračuna se može zaključiti da su brzine na ulazu i izlazu veće nego brzine u kružnom kolniku te da što je veći radijus veće su brzine vožnje.



Graf br.1:Ovisnost koeficijenta trenja i brzine na ulazu u kružno raskrižje



Graf br.2: Ovisnost koeficijenta trenja i brzine u središtu kružnog raskrižja



Graf br.3: Ovisnost koeficijenta trenja i brzine na izlasku iz kružnog raskrižja

Faktor trenja	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Brzina na ulazu [km/h]	29,8	33,2	36,2	39,0	41,6	44,0
Brzina u središtu [km/h]	29,4	32,7	35,6	38,4	40,9	43,4
Brzina na izlasku [km/h]	34,1	37,9	41,3	44,5	46,9	49,7

Tablica br.8: Proračunate brzine u ovisnosti o faktoru trenja

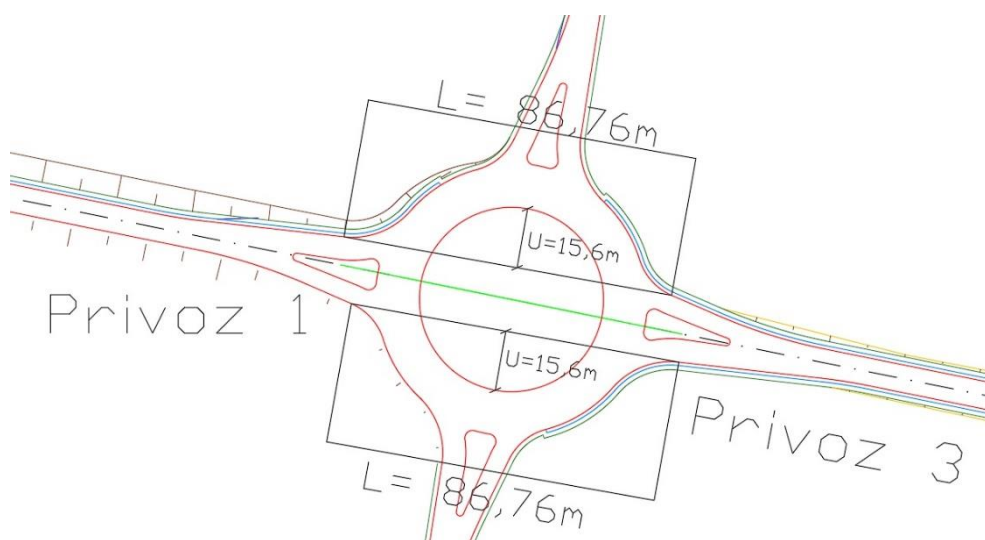
Zaključak

Iz proračuna po nizozemskom modelu za kružno raskrižje Jadreški dobivena je srednja brzina prolaska kroz kružno raskrižje od 36,1 km/h a dopuštena brzina za koju se može smatrati da je sigurna za prolaz kroz raskrižje je 40,0 km/h. Iz navedenog zaključujemo da geometrijski elementi raskrižja zadovoljavaju jer je provjera pokazala da se može očekivati brzina manja od dozvoljene najveće brzine. Proračunom po američkom modelu dobivene su brzine na pojedinim dijelovima kružnog raskrižja a za srednju vrijednost faktora trenja od 0,7 vidi se da su brzine na ulasku (39,0 km/h) i središtu (38,4 km/h) kružnog raskrižja zadovoljavajuće dok se na izlazu (44,5 km/h) brzina može smatrati pre velikom jer ne zadovoljava kriterij maksimalne brzine koja se smatra sigurnom od 40,0 km/h.

4.1.2 Kružno raskrižje „Šikići“

Kružno raskrižje „Jadreški“ vanjskog polumjera 35,0 metara prema smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja spada u srednje velika izvangradska kružna raskrižja. Ovo kružno raskrižje ima četiri privoza koji su približno okomiti na osi kružnog raskrižja.

4.1.2.1 Proračun brzine prolaska kroz kružno raskrižje prema Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama po nizozemskom modelu:



Slika br.42: Vrijednosti L i u za proračun polumjera vozne krivulje

Smjer 1-3:

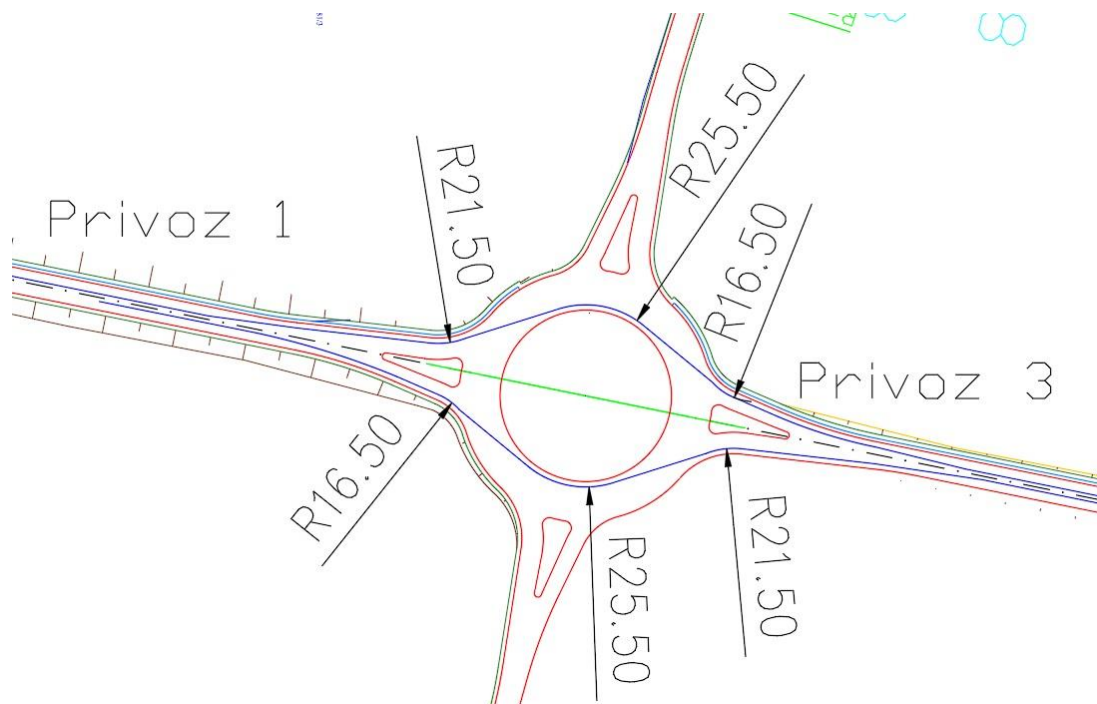
$$R = \frac{(0,25 * L)^2 + (0,5 * (U + 2))^2}{U + 2} = \frac{(0,25 * 86,76)^2 + (0,5 * (15,6 + 2))^2}{15,6 + 2} = 31,13 \text{ m}$$

$$V = 7,4 * \sqrt{R} = 7,4 * \sqrt{31,13} = 41,3 \text{ km/h}$$

Kao što je vidljivo iz slike br.36 vrijednosti L i U su iste za smjerove 1-3 i 3-1 pa samim time i brzina prolaska kroz kružno raskrižje je jednaka. Brzina je proračunata za pretpostavljeni najbrži moguću smjer prolaska kroz kružno raskrižje.

Proračun brzine prolaska kroz kružno raskrižje prema američkom modelu

Brzina je proračunata za pretpostavljene najbrže moguće smjerove prolaska kroz kružno raskrižje što su smjerovi 1-3 i 3-1. Idealna putanja kretanja uzeta je na udaljenosti od 1.5 metara od izdignutih rubova na ulasku, izlasku i sredini kružnog raskrižja. Nagib poprečnog kolnika je pretpostavljen te iznosi 2,5% kao što je uobičajeno na kružnim raskrižjima, a koeficijent trenja između gume kotača i kolnika je uzet kao srednja vrijednost od 0.7.



Slika br.43: Putanja kretanja vozila za najbrži moguću prolazak kroz kružno raskrižje i njeni radijusi

Smjer 1-3

$$f_t=0,7$$

$$V_{ulaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 16,5 * (0.025 + 0,7)} = 39,0 \text{ km/h}$$

$$V_{kružno} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 22,5 * (0.025 + 0,7)} = 48,5 \text{ km/h}$$

$$V_{izlaz} = \sqrt{127 * R * (e + f_t)} = \sqrt{127 * 21,5 * (0.025 + 0,4)} = 44,5 \text{ km/h}$$

Za kružno raskrižje Šikići se također iz slike može vidjeti da su ulazni, izlazni te radijus u sredini kružnog raskrižja jednaki za smjer 1- i 3-1 pa je proračun izvršen samo za jedan smjer. Iz proračuna se može zaključiti da su brzine na ulazu i izlazu veće nego brzine u kružnom kolniku te da što je veći radijus veće su brzine vožnje.

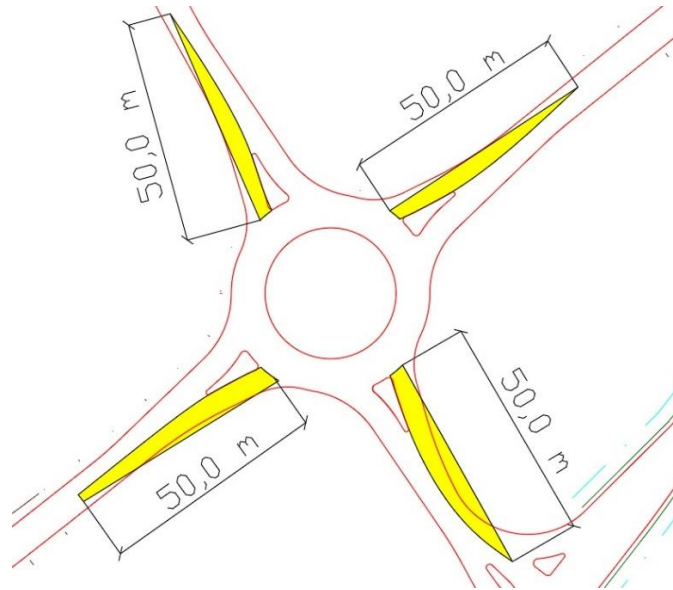
Zaključak

Iz proračuna po nizozemskom modelu za kružno raskrižje Šikići dobivena je srednja brzina prolaska kroz kružno raskrižje od 41,3 km/h a dopuštena brzina za koju se može smatrati da je sigurna za prolazak kroz raskrižje je 40,0 km/h. Iz navedenog zaključujemo da elementi raskrižja ne zadovoljavaju jer je provjera pokazala da se može očekivati brzina veća od dozvoljene najveće brzine. Proračunom po američkom modelu dobivene su brzine na pojedinim dijelovima kružnog raskrižja a za srednju vrijednost faktora trenja od 0,7 vidi se da je brzina na ulasku (39,0 km/h) kružnog raskrižja zadovoljavajuća dok se brzine u središtu (48,5 km/h) i izlazu (44,5 km/h) kružnog raskrižja mogu smatrati prevelikima jer ne zadovoljavaju maksimalnu brzinu koja se smatra sigurnom za prolazak kroz kružno raskrižje od 40,0 km/h.

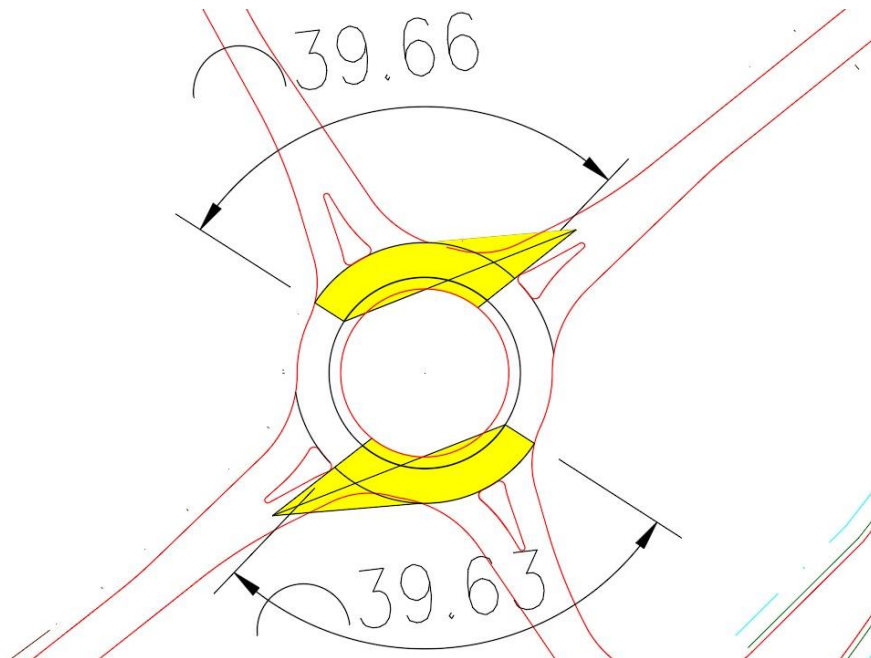
4.2 PROVJERA PREGLEDNOSTI

Kao što je ranije navedeno, preglednost ima veliki značaj na izvangradskim kružnim raskrižjima zbog većih brzina kretanja vozila. Na prilaznim cestama kružnih raskrižja Jadreški i Šikići ograničenje brzine je 40,0 km/h pa je potrebna prilazna preglednost 50 metara. Preglednost ulijevo i preglednost na ulazu provjerena je s udaljenosti od 15 metara od zaustavne linije kao što preporučuju hrvatske smjernice za kružna raskrižja sa većim prilaznim brzinama. Preglednost na kružnom kolničkom traku provjerena je s udaljenosti od 2 metra od unutarnjeg ruba središnjeg otoka.

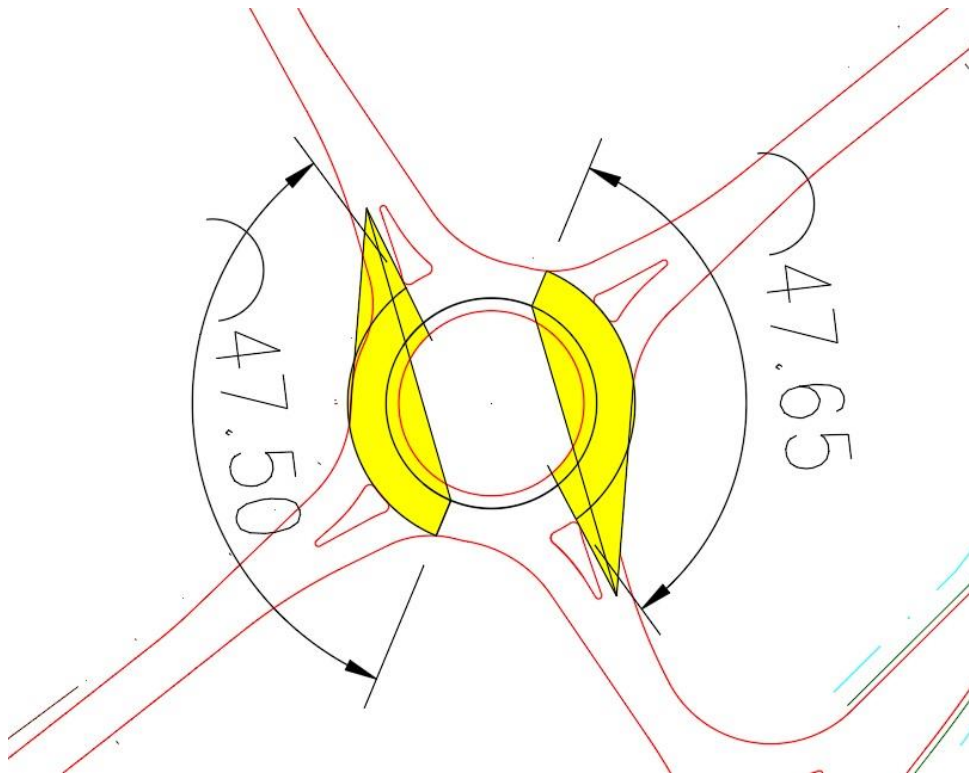
Kružno raskrižje „Jadreški“



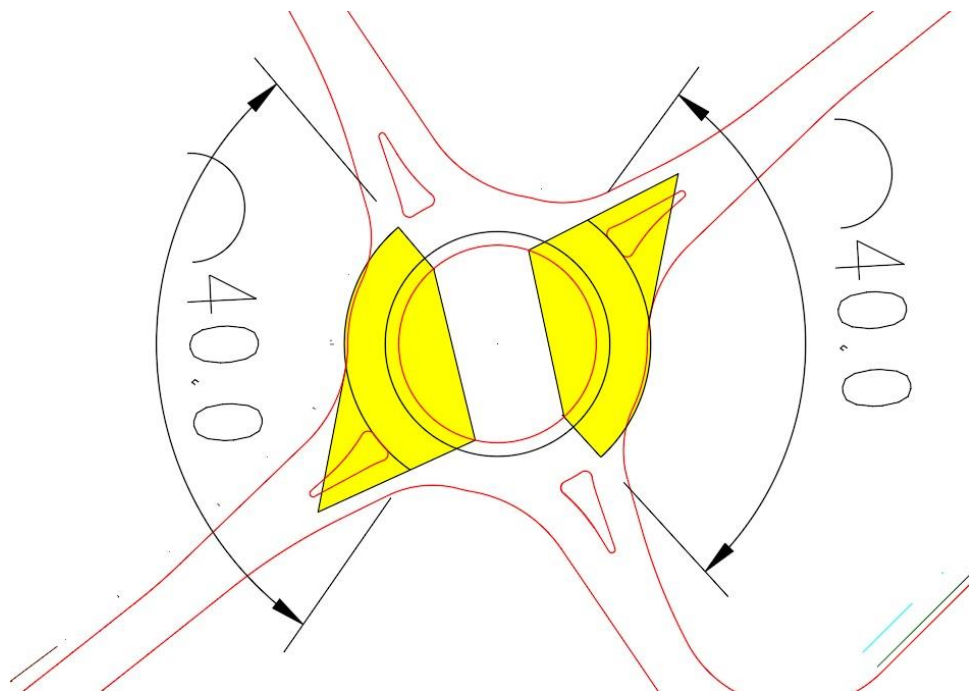
Slika br.44: Prilazna preglednost raskrižja Jadreški



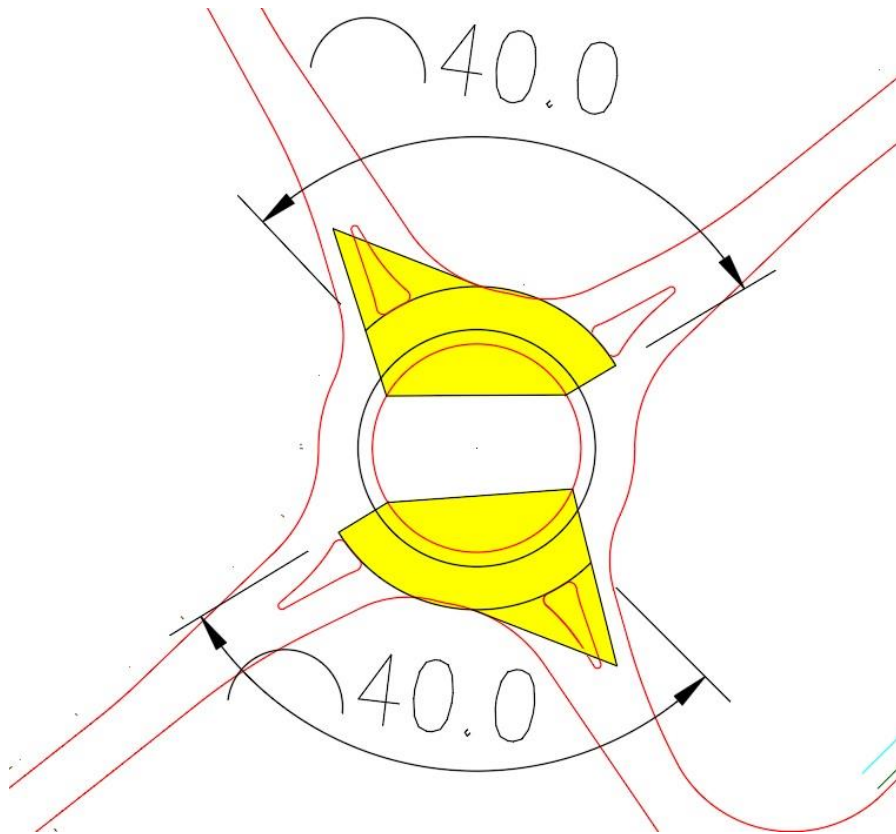
Slika br.45: Preglednost na ulazu raskrižja Jadreški za privoze 1-3



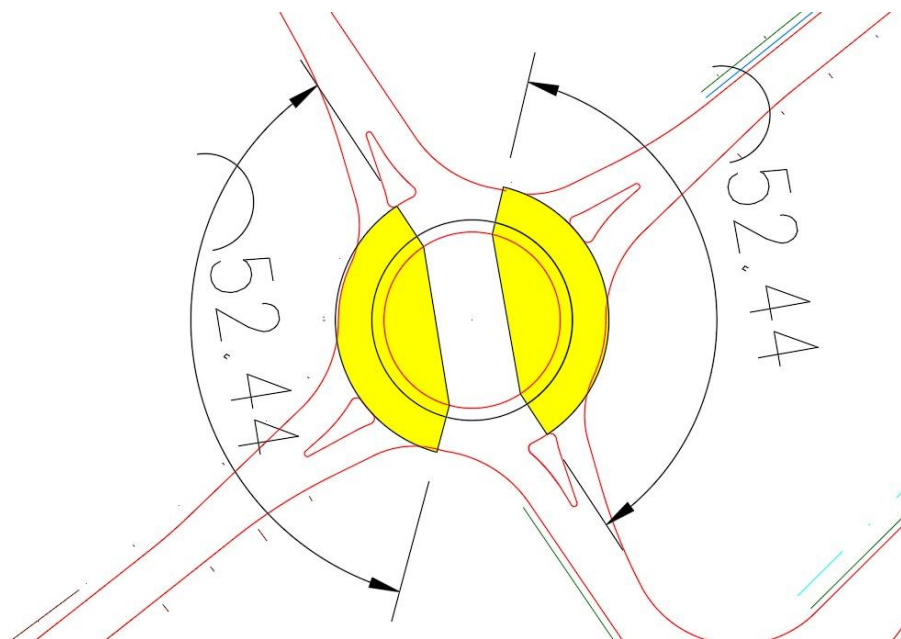
Slika br.46: Preglednost na ulazu raskrižja Jadreški za privoze 2-4



Slika br.47: Preglednost ulijevo na raskrižju Jadreški za privoze 1-3

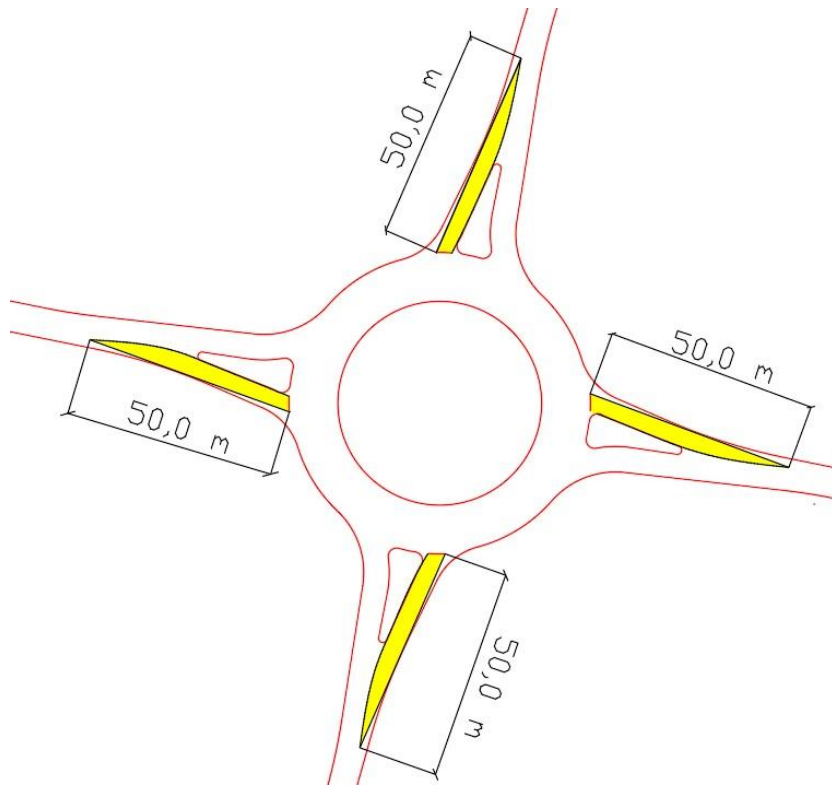


Slika br.48: Preglednost ulijevo na raskrižju Jadreški za privoze 2-4

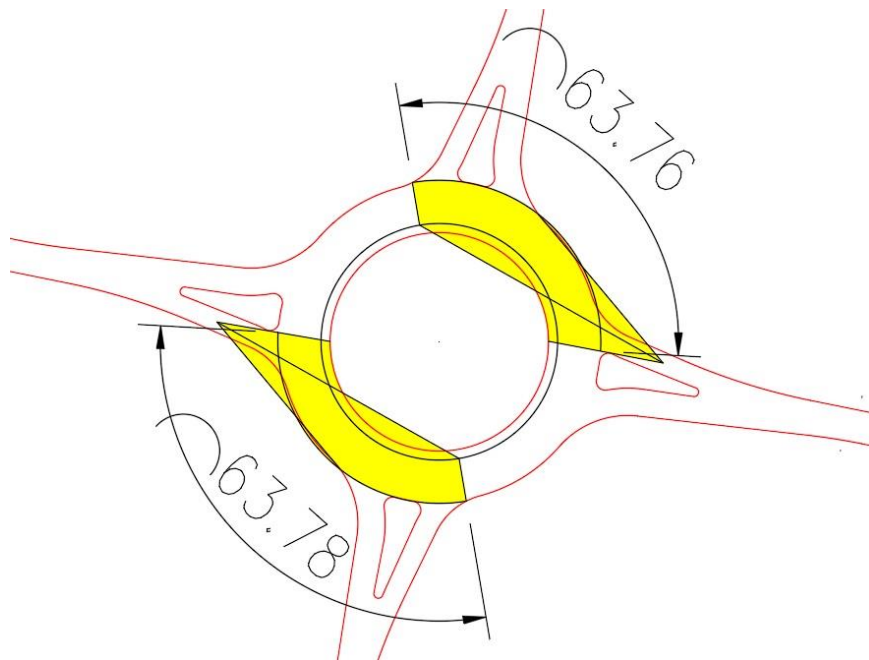


Slika br.49: Preglednost na kružnom kolniku na raskrižju Jadreški

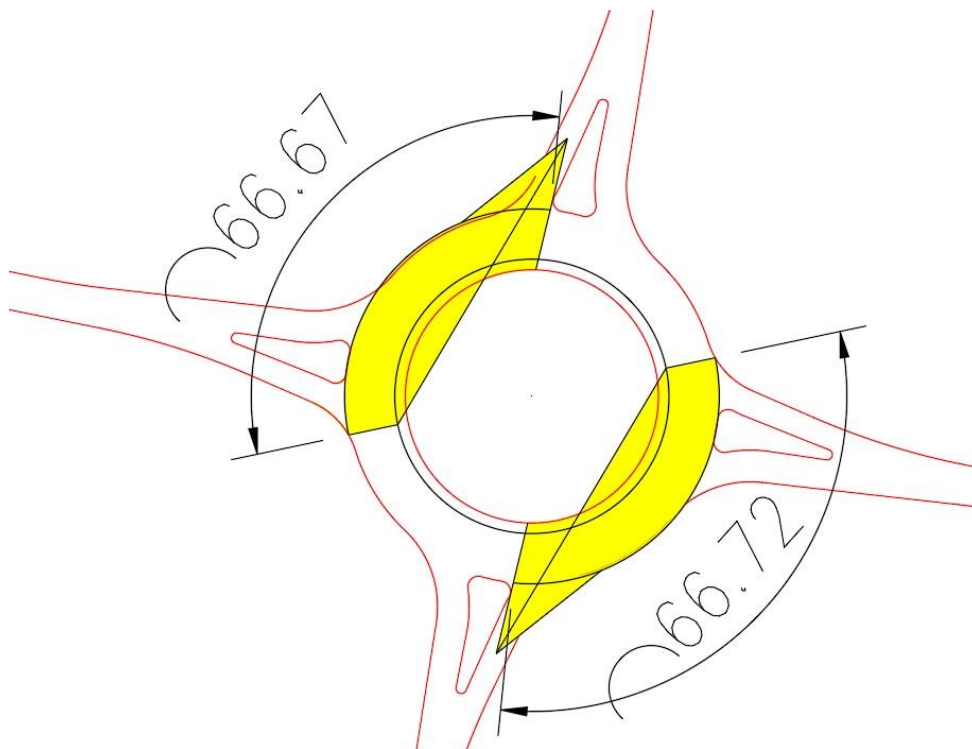
Kružno raskrižje „Šikići“



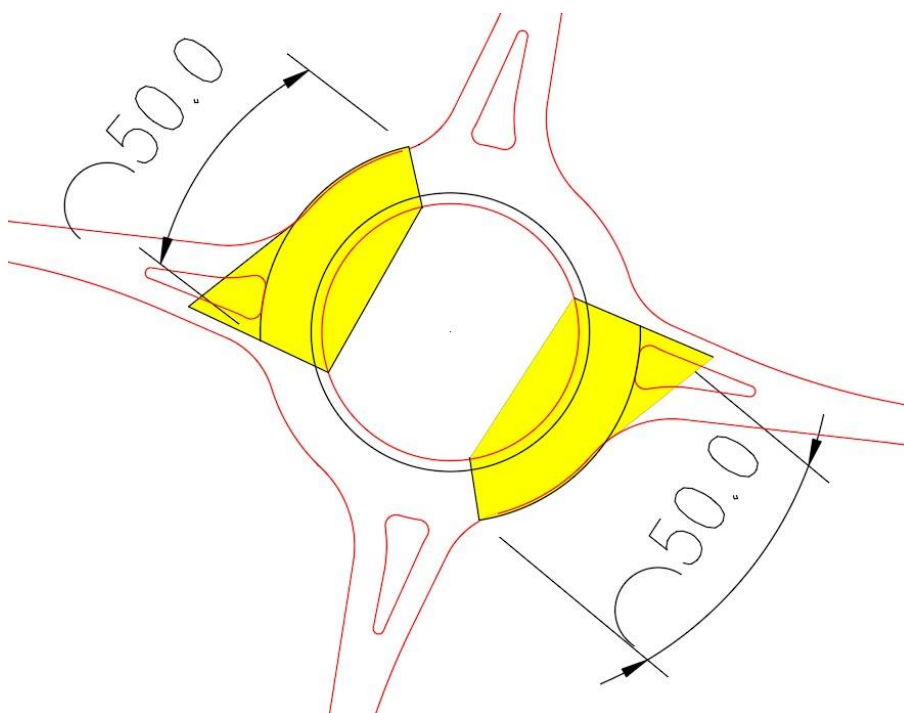
Slika br.50: Prilazna preglednost na raskrižju Šikići



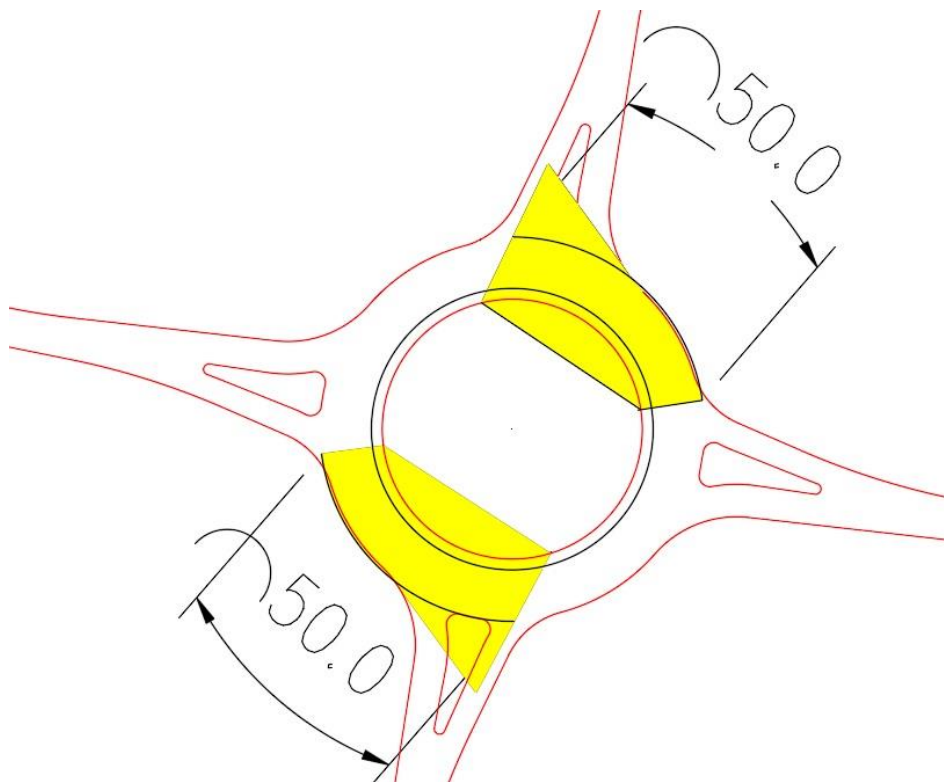
Slika br.51: Preglednost na ulazu raskrižja Šikići za prilaze 1-3



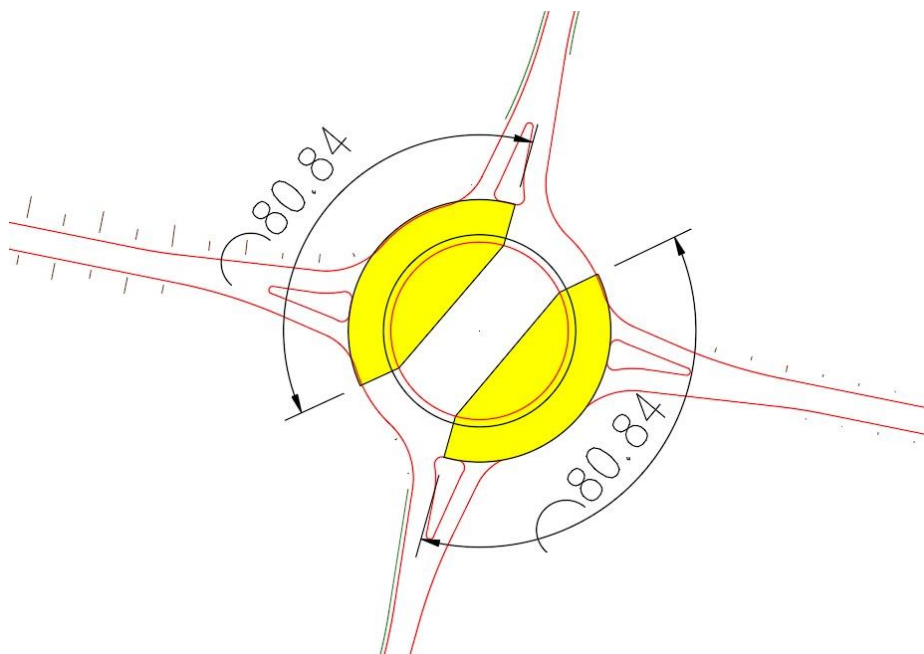
Slika br.52: Preglednost na ulazu raskrižja Šikići za prilozve 2-4



Slika br.53: Preglednost ulijevo na raskrižju Šikići za prilozve 1-3



Slika br.54: Preglednost ulijevo na raskrižju Šikići za privoze 2-4



Slika br.55: Preglednost na kružnom kolniku na raskrižju Šikići

Zaključak

Sve tražene preglednosti su zadovoljene po „Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama“, uz to da se vodi računa od uređenju središnjeg otoka. Prilazna preglednost od 50 metara za brzine kretanja od 40,0 km/h je zadovoljena. Zahtjev za preglednost ulijevo je preuzeta iz [9] gdje je u slučaju promjera kružnog raskrižja između 40-60 metara tražena preglednost ulijevo 40 metara, a u slučaju promjera između 60-100 metara tražena preglednost ulijevo je 50 metara. Kružno raskrižje Jadreški spada pod raskrižje s promjerom između 40-60 metara a kružno raskrižje Šikići s promjerom između 60-100 metara. Preglednost na kružnom kolniku ne bi trebala biti manja od 40 metara što je također zadovoljeno.

5 ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je prikazati osnovne elemente projektiranja izvangradskih kružnih raskrižja prema *Smjernicama za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama*. Također cilj je bio pobliže prikazati što su to izvangradska kružna raskrižja, koja su njihova glavna obilježja i koji su to glavni elementi pri njihovom projektiranju. Posebno je u radu analiziran i primijenjen postupak provjere brzine i preglednosti u kružnom raskrižju.

U radu su na temelju posebne geodetske podloge izvedenog stanja raskrižja analizirani geometrijski elementi, brzine prolaska kroz kružna raskrižja i njihove preglednosti. Analizirana kružna raskrižja su bila kružno raskrižje „Jadreški“ te kružno raskrižje „Šikići“ koja su jednotračna izvangradska kružna raskrižja sa četiri privoza.

Kod brzine prolaska kroz kružna raskrižja korišteni su nizozemski model koji je prihvaćen i u Hrvatskim smjernicama i američki modeli za proračun brzine. Kod nizozemskog modela dobivena je prosječna brzina prolaska za što se može reći da je nedostatak kod korištenja tog proračuna. Nizozemskim modelom je dobivena brzina za kružno raskrižje „Jadreški“ zadovoljila maksimalnu preporučenu brzinu od 40,0 km/h a kod kružnog raskrižja „Šikići“ koje ima veći polumjer te samim time i mogućnost bržeg prolaska kroz njega brzina je malo iznad preporučene. Američki model nam daje jasnije podatke brzine prolaska je se nakon što konstruiramo putanju može dobiti brzina za pojedini dio kružnog raskrižja a to je ulaz, izlaz te brzina na kružnom kolniku.

Iz proračuna po američkom modelu za srednji koeficijent trenja od 0,7 za kružno raskrižje „Jadreški“ dobivene brzine zadovoljavaju preporučenu brzinu dok kod kružnog raskrižja „Šikići“ dobivene brzine su pre velike. Taj problem se može riješiti na nekoliko načina a to su promjena veličine središnjeg otoka, oblikom razdjelnog otoka te oblikom ulaznog traka.

Isto tako u radu su provjerene preglednosti koje moraju biti ostvarene za ova dva kružna raskrižja. Provjerene preglednosti su prilazna, preglednost na ulazu, preglednost ulijevo te preglednost na kružnom kolniku. Još jedna preglednost koja se po pravilima mora provjeriti na izvangradskim kružnim raskrižjima je preglednost biciklističkog prijelaza ali ovdje nije provjeravana zato što ova dva kružna raskrižja nemaju biciklistički prijelaz. Sve gore navedene preglednosti su zadovoljile zahtjeve, što je i očekivano jer se ovdje radi o geometrijski pravilnim kružnim raskrižjima gdje su svi privozi okomiti ili približno okomiti

na osi kružnog raskrižja što pridonosi sigurnosti i dobroj preglednosti pri uključivanju u kružno raskrižje.

Analizirani elementi u ovom radu su samo dva od još mnogo bitnih kojih se projektant mora držati prilikom projektiranja izvangradskih a i ostalih tipova kružnih raskrižja. Republika Hrvatska kao i svaka druga država se u početku projektiranja kružnih raskrižja morala oslanjati na smjernice drugih zemalja sa više iskustva u projektiranju takvih raskrižja. Možemo reći da su u Hrvatskoj kružna raskrižja već sada u velikoj upotrebi i grade se na mnogo mjesta, te naše smjernice iz 2014.godine daju gotovo sve potrebne preporuke za projektiranje kružnog raskrižja koje će obavljati svoju ulogu i biti sigurno.

Literatura

- [1] <https://streeteasy.com/blog/columbus-circle-nyc/>
- [2] Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama; Izraditelji: izv. prof. Aleksandra Deluka-Tibljaš, mag.ing.aedif., prof. dr. Tomaž Tollazzi, mag.ing.aedif. dr.sc. Ivica Barišić, mag.ing.traff.,Sergije Babić, mag.ing.aedif. , Sanja Šurdonja, mag.ing.aedif., doc.dr. Marko Renčelj, mag.ing.aedif.,Ivana Pranjić, mag.ing.aedif. Rijeka, srpanj .2014
- [3] Isebrands, H. (2009) Crash Analysis of Roundabouts at High-Speed Rural Intersections, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, Washington, pp. 1-7
- [4] Barišić, I., Pevalek, V., Pilepić, D. : Utjecaj primjene prometnih rješenja s kružnim raskrižjem, Zbornik Veleučilišta u Rijeci, Vol.4 (2016)
- [5] Mandavilli, S., Russell, E., Rys, M. (2003) Environmental Impact of Kansas Roundabouts, TAC Conference (Transport, Atmosphere, and Climate) St. John's, Newfoundland and Labrador, Kanada
- [6]<http://mojzagreb.info/zagreb/hrvatska/velika-gorica-kruzni-tok-otvoren-za-promet>
- [7]https://www.researchgate.net/figure/Typical-four-arm-turbo-roundabout-driving-on-the-left-Source-Google_fig5_303859453
- [8]https://www.google.hr/maps/@44.8485495,13.9030023,3a,75y,303.04h,84.86t/data=!3m7!1e1!3m5!1stiDwUFgZJsxR8jcGQfBB_A!2e0!6s%2F%2Fgeo2.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DtiDwUFgZJsxR8jcGQfBB_A%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D344.58292%26pitch%3D0%26thumbfov%3D100!7i13312!8i6656
- [9] <https://pula.razvijamo.hr/projekti/1115/>
- [10]<http://www.035portal.hr/vijest/politika/kruzni-tok-izgleda-lijepo-ali-i-dalje-je-njegovo-uredenje-preskupo-8665>
- [11] Legac, I. 2008: Raskrižja javnih cesta (Cestovne prometnice II.), Zagreb

- [12] <https://www.google.hr/maps/@45.0407443,14.6205339,192m/data=!3m1!1e3?hl=en>
- [13] Kenjić, Z. 2009: Kružne raskrsnice rotori, Sarajevo
- [14] https://sbplus.hr/slavonski_brod/gospodarstvo/gradevinarstvo/buduci_izgled_broskog_raskrsca_svaciceva-gupceva.aspx#.Xt-SbUUzZPY
- [15] Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S. : Optimization of roundabout design elements, Tehnički vjesnik 20, 3 (2013)
- [16] Stančerić, I., Ahac, S., Bezina, Š., Vlaović, F. : Granični kutovi presijecanja privoza na izvangradskim kružnim raskrižjima, Građevinar 71 (2019)
- [17] Tollazzi, T.: Kružna raskrižja, IQ PLUS d.o.o., Rijeka, 2007
- [18] <https://www.belisce.hr/novosti/novi-izgled-kruznog-toka-kod-centra-za-kulturu/>
- [19] Ahac, S., Džambas, T., Dragičević, V. : Ispitivanje preglednosti na izvangradskim jednostranim kružnim raskrižjima, Građevinar 68 (2016)
- [20] <https://earth.google.com/web/@44.87310093,13.90509884,54.93699384a,164.86320294d,59.99999307y,-44.11473895h,0.45544666t,0r>