

Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8

Kišić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:157:579840>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**



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 U RIJECI**

Ivan Kišić

**VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA VARIJANATA REKONSTRUKCIJE
ČVORA ROGOVIĆI NA AUTOCESTI A8**

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo
Urbano inženjerstvo
Cestovna čvorišta

Ivan Kišić
JMBAG: 0114025446

**Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na
autocesti A8**

Diplomski rad

Rijeka, srpanj 2019.

IZJAVA

Diplomski rad izradio sam samostalno, u suradnji s 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.

Ivan Kišić

U Rijeci, 1. srpnja 2019.

IZJAVA

Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci (RC.2.2.06-0001) (voditelj prof. dr. sc. Nevenka Ožanić) koji je sufinanciran iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta RH.

Ivan Kišić

U Rijeci, 1. srpnja 2019.

ZAHVALA

Veliko hvala mojoj mentorici doc. dr. sc. Sanji Šurdonja na savjetima, uloženom trudu i vremenu te pruženom znanju prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Također hvala mojoj Pavli koja je za vrijeme pisanja ovog rada bila puna razumijevanja i naučila previše o cestovnim čvorištima te mojim prijateljima i kolegama koji su mi olakšali puno izazova posljednjih godina.

Najveće hvala ide mojoj obitelji koja mi je uvijek bila najveća podrška i omogućila ovo predivno iskustvo studiranja.

SAŽETAK

Raskrižja služe povezivanju i spajanju dviju ili više prometnica, a smatraju se najosjetljivijim točkama u prometnoj mreži zbog smanjene propusnosti i sigurnosti prometa. Za izradu novih ili rekonstrukciju postojećih infrastrukturnih rješenja projektanti i planeri moraju uzeti u obzir više kvantitativnih i kvalitativnih kriterija kako bi udovoljili zahtjevima današnjice.

Rad se bavi odabirom optimalne varijante rekonstrukcije prometnog čvora Rogovići na autocesti A8. Analizom postojećeg stanja utvrđene su karakteristike prometnih tokova i problemi raskrižja na temelju kojih su predložene tri varijante na razini idejnog rješenja. Predložene varijante se vrednuju AHP metodom na temelju definiranih kriterija nakon čega se odabire najbolja od ponuđenih varijanti.

KLJUČNE RIJEČI: raskrižja, promet, rekonstrukcija, višekriterijska analiza, AHP metoda

ABSTRACT

Intersections are used to connect two or more roads. Because of reduced traffic safety and capacity, intersections are considered to be the critical points in the traffic network. Today, planners and designers use various criteria both quantitative and qualitative to fulfill given demands.

The topic of this master thesis is to choose the best alternative for the reconstruction of Rogovići intersection on the A8 highway. The characteristics of traffic flow and intersection issues were determined after analyzing the present situation. Based on the analysis, three different alternatives were proposed on a conceptual scale. Optimal of the given alternatives is selected by evaluating them according to given criteria using the AHP method.

KEY WORDS: intersection, traffic, reconstruction, multi-criteria analysis, AHP method

SADRŽAJ

1. RASKRIŽJA	2
1.1 Raskrižja u razini.....	8
1.1.1 Klasična raskrižja u razini.....	9
1.1.2 Raskrižje s kružnim tokom prometa	12
1.2 Raskrižja izvan razine	17
1.3 Kombinirana raskrižja	22
2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA	23
2.1 Pregled metoda višekriterijske analize	26
2.1.1 AHP metoda.....	26
2.1.2 Metoda PROMETHEE	29
2.1.3 Metoda ELECTRE.....	31
2.1.4 Metoda VIKOR.....	32
2.2 Pregled višekriterijske analize u planiranju i projektiranju prometne infrastrukture.....	34
3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ČVORA.....	36
3.1 Opis i značenje čvora u mreži	36
3.2 Prometno opterećenje čvora	39
3.3 Brzine vozila u području čvora	43
3.4 Preglednost u području čvora.....	45
3.5 Prometne nesreće.....	49
4. PRIJEDLOG VARIJANTI NOVOG RJEŠENJA ČVORA.....	50
4.1 Varijanta 1 – semaforizacija postojećeg čvora.....	51
4.2 Varijanta 2 – dva kružna raskrižja.....	56
4.3 Varijanta 3 – veliko kružno raskrižje	58
5. VREDNOVANJE VARIJANTNIH RJEŠENJA PRIMJENOM AHP METODE	60
5.1 Rangiranje kriterija i potkriterija.....	61
5.2 Vrednovanje varijanata	64

5.2.1 Kriterij sigurnosti	64
5.2.2 Prometno-tehnološki kriterij	68
5.2.3 Ekonomski kriterij	69
5.2.4 Ekološki kriterij	72
5.2.5 Prostorno-urbanistički kriterij	74
5.3 Analiza rezultata vrednovanja i izbor optimalnog rješenja	75
6. ZAKLJUČAK	77
7. LITERATURA	80
8. GRAFIČKI PRILOZI.....	83

POPIS TABLICA

Tablica 1: Razine uslužnosti raskrižja.....	4
Tablica 2: Kategorije ceste prema [7]	9
Tablica 3: Tipovi kružnih raskrižja u urbanim sredinama [8].....	14
Tablica 4: Tipovi kružnih raskrižja u izvanurbanim sredinama [8]	14
Tablica 5: Odnos brzine i tipa rampe, te funkcionalne razine raskrižja [1]	20
Tablica 6: Prikaz modela višekriterijskog odlučivanja [16].....	24
Tablica 7: Saatyjeva skala [24]	27
Tablica 8: ELECTRE metode [27].....	32
Tablica 9: Rezultati ručnog brojanja prometa u jutarnjem vršnom satu	41
Tablica 10: Vrijednosti i razlika između ručnog i automatskog brojanja prometa	42
Tablica 11: Analiza brzine na privozu 1 za četvrtak 21. ožujka i subotu 23. ožujka.....	44
Tablica 12: Analiza brzine na privozu 3 za petak 22. ožujka	44
Tablica 13: Prometne nesreće na čvoru Rogovići u razdoblju od 2014.-2018. godine [34]	49
Tablica 14: Prometno opterećenje na kraju projektnog razdoblja.....	50
Tablica 15: Broj i vrsta konfliktnih točaka varijanti	65
Tablica 16: Razina uslužnosti novih rješenja	68
Tablica 17: Emisija štetnih plinova.....	72

POPIS SLIKA

Slika 1: Vrste konfliktnih točaka u raskrižju [1]	2
Slika 2: Broj konfliktnih točaka na raskrižju u odnosu između vozila te vozila i pješaka [3] ...	3
Slika 3: Shematski prikaz neprekinutih prometnih tokova	5
Slika 4: Shematski prikaz prekinutih tokova prometa	6
Slika 5: Shema razdjeljivanja prometnih tokova u raskrižju [1]	6
Slika 6: Podjela raskrižja s obzirom na broj krakova i vođenje prometnih tokova [1]	7
Slika 7: Mogućnosti kanaliziranja „T“ raskrižja [6]	8
Slika 8: Shematski prikaz temeljem kojeg se odabire određeni tip klasičnog raskrižja u razini	10
Slika 9: Tip I promatran s obzirom na veličinu prometa i brzinu glavnog prometnog toka [3]	10
Slika 10: Shema drugog tipa raskrižja promatranog s obzirom na veličinu prometa i brzinu prometnog toka glavnog pravca [3]	11
Slika 11: Prikaz kanaliziranog tipa raskrižja [6]	11
Slika 12: Usporedba konfliktnih točaka kod klasičnog četverokrakog raskrižja i kružnog raskrižja s istim brojem privoza [8]	12
Slika 13: „Hamburger“ kružno raskrižje sa provoznim središnjim dijelom u ovom slučaju namijenjenim biciklistima [12]	15
Slika 14: Turbo kružno raskrižje [11]	16
Slika 15: Kružno raskrižje „Flower“ [11]	16
Slika 16: Primjer raskrižja izvan razine tipa „djetelina“ [13]	17
Slika 17: Odnos funkcionalnih razina i prometnih parametara [1]	18
Slika 18: Broj prometnih nesreća na milijun vozila s obzirom na rješenje raskrižja i pozicioniranje uljeva/izljeva [1]	19
Slika 19: Način formiranja uljeva/izljeva u ovisnosti o broju prometnih trakova [1]	19
Slika 20: Osnovni oblici rampi [1]	20
Slika 21: Osnovni modeli raskrižja autocesta s tri privoza [1]	21
Slika 22: Osnovni modeli raskrižja autocesta s četiri privoza [1]	21
Slika 23: Mogućnosti projektnih rješenja dobivenih kombiniranjem raskrižja [1]	22
Slika 24: Struktura modela višekriterijske analize	24
Slika 25: Shema hijerarhije AHP metode [24]	28
Slika 26: Tipovi generaliziranih kriterija PROMETHEE metode [26]	30
Slika 27: Prikaz Istarskog ipsilona lijevo te prikaz faze trenutne izgradnje desno [31]	36

Slika 28: Situacija raskrižja Rogovići [32]	37
Slika 29: Položaj čvora Rogovići u odnosu na grad Pazin [32]	37
Slika 30: Križanja autoceste A8 s državnim cestama na području grada Pazina [32]	38
Slika 31: Algoritam prostorno-prometnog planiranja [33]	39
Slika 32: Prikaz dopuštenih smjerova kretanja i pozicije brojača prometa.....	40
Slika 33: Pozicije automatskih brojača prometa	41
Slika 34: Slika privoza 4a (lijevo) i 2a (desno) na raskrižju Rogovići [32].....	43
Slika 35: Prikaz pješćkih prijelaza (crveno) i autobusne stanice (žuto) u području raskrižja [32]	45
Slika 36: Pogled iz privoza 4a u smjeru glavnog pravca [34].....	46
Slika 37: Potrebna preglednost u slučaju obveznog zaustavljanja na privozima 2a (lijevo) i 4a (desno).....	47
Slika 38: Preglednost na privozima 2a i 4a u slučaju kontrole raskrižja bez obveznog zaustavljanja	48
Slika 39: Varijanta 1	51
Slika 40: Plan faza semafora u vremenu (1. faza lijevo, 2. faza desno).....	52
Slika 41: Plan faza semafora u vremenu	55
Slika 42: Varijanta 2.....	56
Slika 43: Varijanta 3.....	58
Slika 44: Hijerarhijska struktura modela.....	60
Slika 45: Konfliktne točke svake varijante	65
Slika 46: Površina zemljišta za otkup	70
Slika 47: Dodatna površina potrebna za izgradnju varijanata 2 i 3.....	74

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1: Rangiranje kriterija	61
Grafikon 2: Rangiranje potkriterija sigurnosti	61
Grafikon 3: Rangiranje ekonomskih potkriterija	62
Grafikon 4: Rangiranje ekoloških potkriterija	63
Grafikon 5: Rangiranje prostorno-urbanističkih potkriterija	64
Grafikon 6: Vrednovanje varijanata potkriterijem konfliktne točke	65
Grafikon 7: Vrednovanje varijanata potkriterijem potencijalne prometne nesreće	66
Grafikon 8: Vrednovanje varijanata potkriterijem nemotorizirani sudionici	66
Grafikon 9: Vrednovanje varijanata potkriterijem preglednost	67
Grafikon 10: Vrednovanje varijanata prometno-tehnološkim kriterijem	68
Grafikon 11: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi rekonstrukcije	69
Grafikon 12: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi otkupa zemljišta	70
Grafikon 13: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi održavanja	71
Grafikon 14: Vrednovanje varijanata potkriterijem zahtjevnost izgradnje	71
Grafikon 15: Vrednovanje varijanata potkriterijem emisija štetnih plinova	72
Grafikon 16: Vrednovanje varijanata potkriterijem buka	73
Grafikon 17: Vrednovanje varijanata potkriterijem zauzimanje prostora	74
Grafikon 18: Vrednovanje varijanata potkriterijem narušavanje okoline	75
Grafikon 19: Udjeli potkriterija u ukupnoj ocjeni varijanata	75
Grafikon 20: Udjeli kriterija u ukupnoj ocjeni varijanata	77
Grafikon 21: Rezultati vrednovanja varijanata	77

UVOD

Raskrižja predstavljaju točke u cestovnoj mreži koje omogućavaju spajanje dviju ili više cesta uslijed čega dolazi do spajanja, razdvajanja, preplitanja ili križanja prometnih tokova. Posljedica toga je smanjena propusna moć i sigurnost prometa u odnosu na otvorene poteze cestovne mreže. Budući da je razvijeno mnogo različitih tipova raskrižja te da su zahtjevi pri planiranju i projektiranju prometne infrastrukture veliki, često se koriste metode višekriterijske analize za odabir najboljeg rješenja. Višekriterijska analiza je matematički postupak kojim se ocjenjuju varijante rješenja prema danim kriterijima.

Tema ovog diplomskog rada je višekriterijska analiza pri odabiru varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8. Autocesta A8 uz A9 formira tzv. Istarski ipsilon, cestovnu infrastrukturu na području Istarske županije od iznimnog gospodarskog i turističkog značaja. Čvor Rogovići se nalazi nedaleko od grada Pazina, administrativnog središta županije, a predstavlja kombinaciju raskrižja u i izvan razine.

Cilj ovog rada je na temelju analize postojećeg stanja raskrižja odabrati najbolju varijantu za njegovu rekonstrukciju. Prikazane su tri varijante na razini idejnih rješenja, a odabir najbolje se vrši primjenom AHP metode tako da se svaka varijanta vrednuje zasebno u odnosu na sve kriterije.

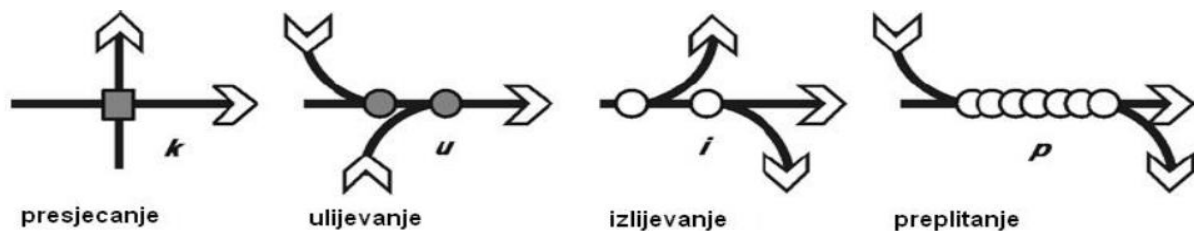
Rad je podijeljen u šest dijelova od kojih prvi opisuje pojmove potrebne za razumijevanje prometa u raskrižju, raskrižja općenito, njihove karakteristike, podjelu i primjenu pojedinih vrsta. Drugi dio daje pregled metoda višekriterijske analize te njihove primjene u planiranju i projektiranju prometne infrastrukture. Nakon toga slijedi analiza postojećeg stanja čvora u sklopu koje su analizirani parametri prometnog opterećenja, brzine i preglednosti. Na temelju toga su predložena tri idejna rješenja koja su opisana i grafički prikazana u četvrtom poglavlju. Peta cjelina prikazuje postupak vrednovanja varijantnih rješenja pomoću AHP metode na temelju unaprijed definiranih kriterija. Zadnja cjelina diplomskog rada je zaključak u kojem je sažeto sve prethodno navedeno i dan autorov osvrt na odabrano varijantno rješenje.

1. RASKRIŽJA

Raskrižja se definiraju kao točke u cestovnoj mreži kojima se povezuju dvije ili više cesta. Mogućnost spajanja, razdvajanja, križanja i preplitanja prometnih tokova čini raskrižja najosjetljivijim točkama cestovne mreže u kojima je potrebno osigurati dovoljnu propusnost i sigurnost prometa. [1]

Pri odabiru određenog tipa raskrižja potrebno je voditi računa o nekoliko čimbenika koji će biti detaljnije objašnjeni. To su: sigurnost prometa, kapacitet odnosno kvaliteta odvijanja prometa, utjecaj na okoliš, ekonomičnost rješenja i dr. [2]

Najvažniji od navedenih uvjeta jest sigurnost odvijanja prometa na raskrižju. Osnovna svrha raskrižja je omogućavanje da vozila promjene smjer kretanja. To može rezultirati pojavom različitih konfliktnih (kolizionih) točaka, odnosno mjestima povećane opasnosti od nastanka prometnih nesreća (*slika 1*).



Slika 1: Vrste konfliktnih točaka u raskrižju [1]

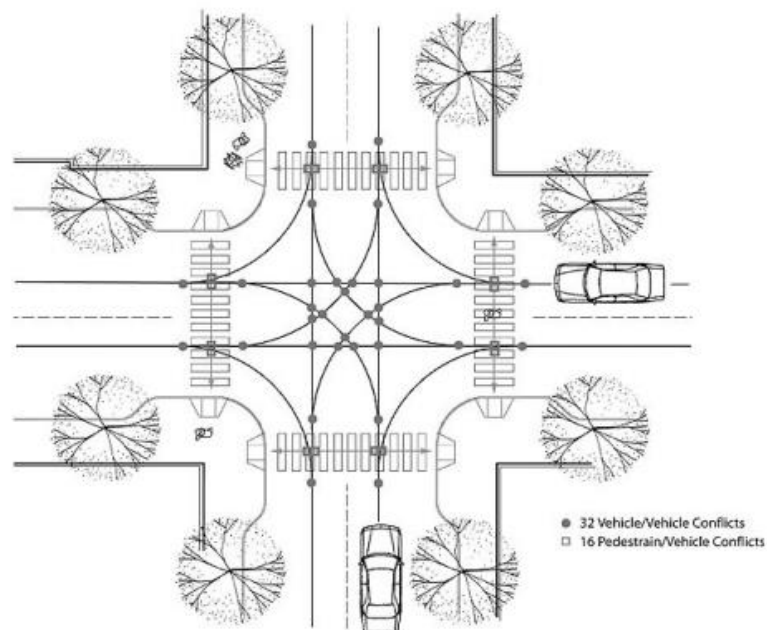
Budući da je sigurnost odvijanja prometa najvažniji preduvjet za projektiranje raskrižja, potrebno je provesti određene mjere u vidu povećanja iste. Dobro i sigurno koncipirano raskrižje je ono koje u cijelosti ili pretežito zadovoljava faktore sigurnosti prometa:

- pravovremenu prepoznatljivost - ima za cilj da vozači budu pripremljeni za prometne situacije koje slijede, te mora biti osigurana sa svih privoza,
- preglednost - podrazumijeva kvalitetno i pravovremeno uočavanje raskrižja i zahtjeva koje ono postavlja na vozača
- shvatljivost – podrazumijeva da svi korisnici unutar područja raskrižja jasno razumiju koji su dozvoljeni smjerovi, u kojem se je trenutku potrebno prestrojiti, koji su mogući konflikti, itd.

- dostatnu provoznost (prohodnost u slučaju nemotoriziranih vidova prometa) – postiže se usklađivanjem oblikovnih svojstava raskrižja s vozno-dinamičkim osobinama vozila i zahtjevima nemotoriziranih sudionika u prometu. [1]

Broj potencijalnih konfliktnih točaka zavisi o broju privoza na raskrižju, broju prometnih trakova na svakom privozu, vrsti signalizacije raskrižja, stupnju kanaliziranja te dozvoljenim smjerovima kretanja. U slučajevima kada se na raskrižju pojavljuje i nemotorizirani promet, više je konfliktnih točaka, čime se sigurnost dodatno smanjuje. [1]

Slikom 2 dan je prikaz konfliktnih točaka za raskrižje na kojem osim motoriziranog prometa postoji i nemotorizirani promet – u ovom slučaju pješaci. Iz slike je vidljivo da između motoriziranog prometa postoje 32 konfliktne točke, a uključivanje i nemotoriziranog prometa povećava taj broj za 16 konfliktnih točaka.



Slika 2: Broj konfliktnih točaka na raskrižju u odnosu između vozila te vozila i pješaka [3]

Veliki utjecaj na sigurnost prometa ima i dozvoljena brzina kretanja vozila. Također, na svakom cestovnom raskrižju je uz dostatnu preglednost potrebno osigurati i osvjetljenje te opremljenost odgovarajućom signalizacijom kako bi vozači mogli pravovremeno reagirati te prilagoditi način i brzinu vožnje. [2]

Kvaliteta odvijanja prometa podrazumijeva da su na raskrižju za sve sudionike prometa osigurani građevinski, prometni i signalizacijski uvjeti. Najvažniji čimbenik za procjenu kvalitete odvijanja prometa je kapacitet. Kapacitet ili propusna moć ceste predstavlja najveći broj vozila koja mogu proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek prometnice. Potrebno je osigurati dovoljan kapacitet raskrižja s obzirom na to da upravo on određuje kapacitet cijele cestovne mreže, i to tako da u vršnom satu nema duljih čekanja. [1], [3]

Odnos između kapaciteta i stvarnog opterećenja na raskrižju naziva se razina uslužnosti, te se pomoću nje kapacitet iskazuje. Razina uslužnosti predstavlja kvalitativnu mjeru odvijanja prometa, a obuhvaća sljedeće faktore: brzinu i vrijeme putovanja, prekide prometnog toka, sigurnost i udobnost vožnje, slobodu kretanja i cijenu. Razina uslužnosti dijeli se u 6 kategorija označenih slovima od A-F. Iskazuje se različitim mjerama za različitu prometnu infrastrukturu, a u slučaju raskrižja veže se uz prosječna čekanja, odnosno kašnjenja na privozima. U *tablici 1* su opisane razine uslužnosti raskrižja. [4]

Tablica 1: Razine uslužnosti raskrižja

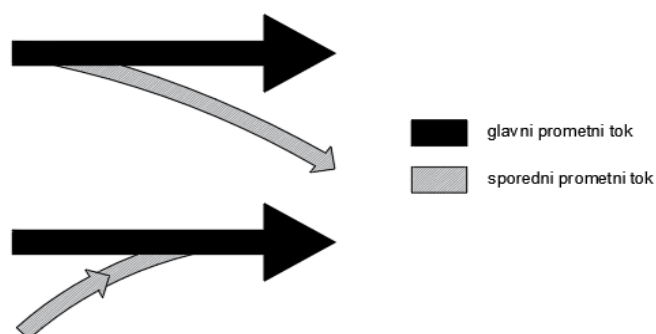
<i>Razina usluge</i>	<i>Značenje kategorije</i>	<i>Prosječna vremena kašnjenja [s/voz]</i>
<i>A</i>	Slobodan prometni tok, s velikim brzinama i malom gustoćom	0 – 10
<i>B</i>	Slobodan prometni tok, s brzinama koje su djelomično ograničene gustoćom prometa	10 - 15
<i>C</i>	Stabilan prometni tok s ograničenim brzinama i mogućnošću manevriranja	15 – 25
<i>D</i>	Približavanje nestabilnom toku, bitno ograničena brzina i mala mogućnost manevriranja	25 – 35
<i>E</i>	Nestabilan prometni tok s vožnjom u nizu, protok jednak propusnoj moći, izgledni povremeni zastoji	35 – 50
<i>F</i>	Ubrzani, prisilni tok, brzine manje od kritičnih, protok manji od propusne moći	> 50

Utjecaj raskrižja na okoliš je aspekt projektiranja koji u novije vrijeme sve više dobiva na značaju. Raskrižja projektirana tako da što manje negativno utječu na okoliš najčešće se sukobljavaju s cijenom izvedbe. Kako bi odredili utjecaj raskrižja na okolinu potrebno je analizirati: stupanj narušavanja krajolika, stupanj utjecaja na razinu buke i onečišćenje zraka te zauzimanje i rascjepkanost prostora. [1]

Kako bi osigurali što kvalitetnije projektno rješenje potrebno je analizirati različite varijante raskrižja. Uz troškove projektiranja, izgradnje i održavanja, potrebno je ekonomičnost rješenja sagledati i s aspekta troškova korisnika. Neki od mogućih kriterija mogu biti skraćenje puta (manji troškovi korisnika) i smanjenje broja prometnih nezgoda (manji troškovi uzrokovani materijalnom štetom). [1]

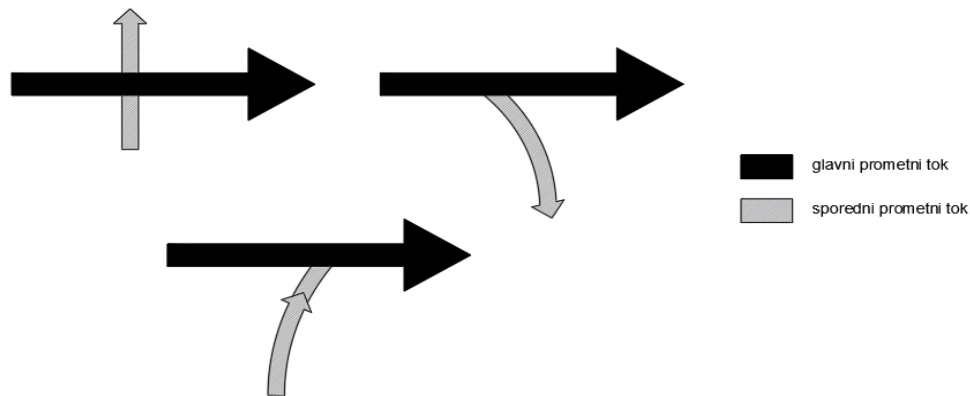
Za bolje razumijevanje načina odvijanja prometa u raskrižju i podjelu raskrižja u ovisnosti o prometnim tokovima koja je opisana u nastavku, potrebno je poznavati i razlikovati vrste prometnih tokova. Prometni tok se definira kao istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. Ako prometni tok promatramo s obzirom na uvjete odvijanja prometa, u području raskrižja razlikujemo neprekinuti i prekinuti prometni tok. [5]

U slučaju neprekinutog prometnog toka na uvjete kretanja utječe samo međusobna interakcija vozila i ne postoje vanjski utjecaji koji mogu izazvati prekid toka. Primjeri neprekinutog toka su prvenstveno autoceste, zatim duže dionice dvosmjernih cesta između raskrižja, i sl. U slučaju neprekinutih tokova, isti se dijele ili sjedinjuju podjednakim brzinama pod oštrim kutem bez zaustavljanja (*slika 3*). Upravo je zato potrebno osigurati veliku preglednost kako bi dobili dostatnu razinu prometne sigurnosti. Prednosti ovog tipa su sigurno i ugodno odvijanje prometa, mali vremenski prekidi i zadržavanje brzine na glavnom prometnom toku. [1]



Slika 3: Shematski prikaz neprekinutih prometnih tokova

Prekinutim prometnim tokom podrazumijevamo tok koji se ispliće, upliće ili križa te koji prolazi zonom konflikta malom brzinom ili se zaustavlja (*slika 4*). Princip oblikovanja raskrižja s prekinutim tokom prometa jest svođenje konfliktne zone na malu površinu sa što kraćim putevima vozila. Zbog velike razlike u brzinama prometnih tokova na raskrižju, potrebno je voditi računa o načinu reguliranja raskrižja. Prednost ovakvog načina vođenja prometa je koncentrirana konfliktna zona i moguća primjena svjetlosne signalizacije. [1]



Slika 4: Shematski prikaz prekinutih tokova prometa

U području raskrižja u istoj razini pojavljuju se određene kombinacije vođenja prometnih tokova. Glavni se pravac najčešće vodi kao neprekinuti prometni tok, a sporedni kao prekinuti prometni tok. Ovakve kombinacije uvjetuju propusnu moć, razinu prometne sigurnosti te prometno-gospodarsku opravdanost raskrižja. [1]

Kao što je već prethodno spomenuto, propusna moć i sigurnost prometa u području raskrižja su najvažniji elementi pri odabiru rješenja i međusobno su usko povezani. Smanjenjem broja konfliktnih točaka se pokušava izbjeći zagušenje u raskrižju. To se postiže razdjeljivanjem prometnih tokova prikazanim na *slici 5*.



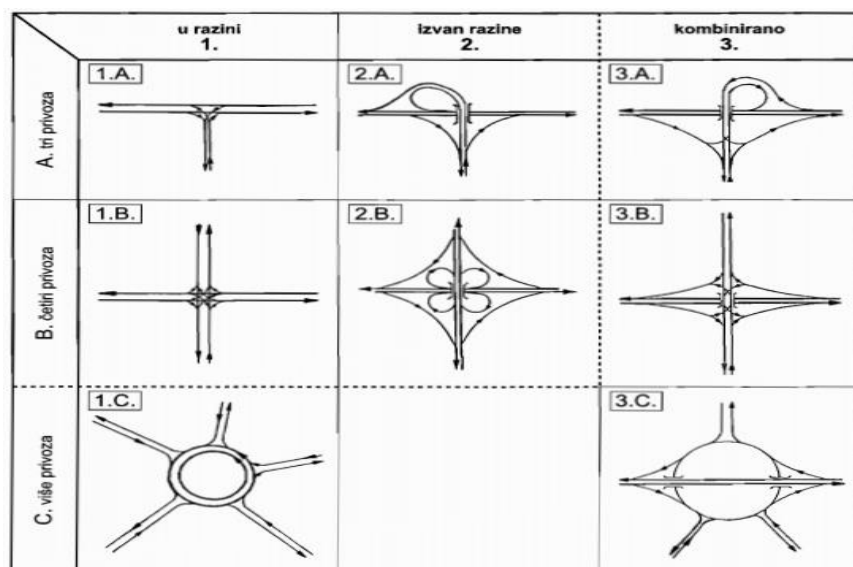
Slika 5: Shema razdjeljivanja prometnih tokova u raskrižju [1]

Vremensko razdjeljivanje prometa odnosi se na radnje koje ovise o vremenskom slijedu vozila. Ovakav način razdjeljivanja najizraženiji je kod klasičnih raskrižja u razini, dok je na karakterističan način primjenjiv i kod raskrižja s kružnim tokom prometa. [1]

Primjena prostornog razdjeljivanja prometa veže se uz raskrižja izvan razine te ima izravan utjecaj na njihovo građevinsko oblikovanje, pri čemu je način odvijanja prometa posljedica vremenskog razdjeljivanja. Ova vrsta razdjeljivanja prometa dijeli se prema gore prikazanoj shemi na:

- horizontalno – primjenjuju se posebni trakovi i vozne površine za različite kategorije i vrste vozila (biciklistički i pješački promet, vozila javnog gradskog prijevoza) te prometni trakovi za usmjeravanje prometnih tokova
- vertikalno – vođenje prometnih trakova na različitim razinama je karakteristika ove vrste razdjeljivanja prometa što rezultira smanjenjem broja i stupnja opasnosti konfliktnih točaka [1]

Raskrižja možemo promatrati na temelju raznih podjela: prema broju privoza na raskrižju, prema mogućnosti kretanja, kutu križanja cesta, simetričnosti itd. Najvažnija podjela jest podjela u odnosu na vođenje prometnih tokova. Pri tome razlikujemo raskrižja u razini, raskrižja izvan razine i kombinirana raskrižja. Križanja klasičnih cesta s pripadajućim prometnim opterećenjem se uglavnom izvode kao raskrižja u razini, dok je primjena raskrižja izvan razine dominantna kod dugih cestovnih dionica jakog prometnog opterećenjem kao što su autoceste i brze ceste. Na slici 6 prikazana je jedna od mogućih podjela raskrižja. [1]



Slika 6: Podjela raskrižja s obzirom na broj krakova i vođenje prometnih tokova [1]

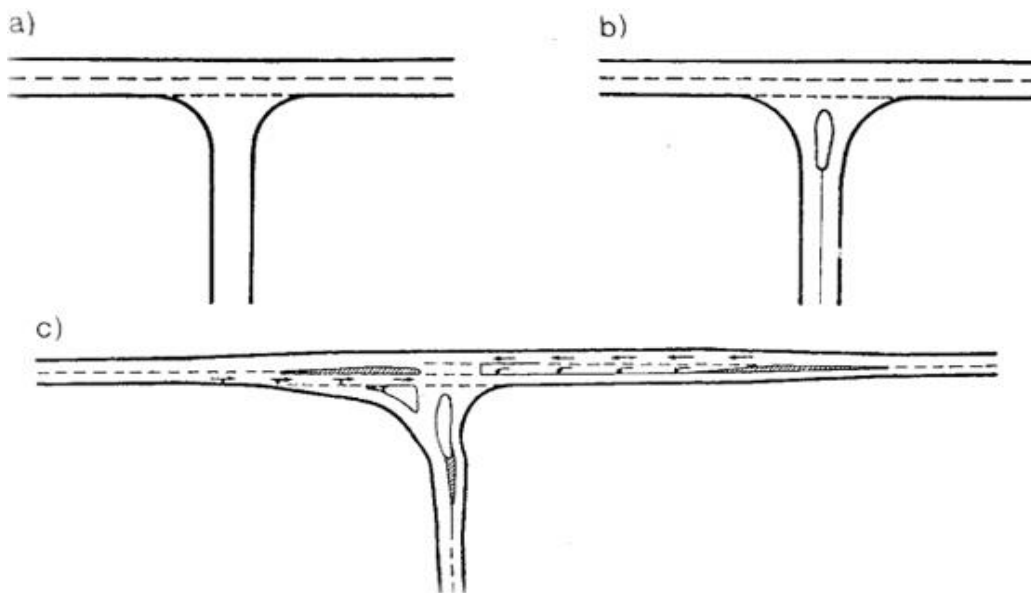
1.1 Raskrižja u razini

Raskrižja u razini (RUR) se definiraju kao čvorna mjesta u cestovnoj mreži kojima je cilj omogućiti funkcioniranje gradskog prometa. Ova vrsta raskrižja je ujedno i najbrojnija u praksi, a karakterizira je izvedba građevinskih rješenja i vođenje prometnih tokova na istoj prometnoj plohi. [1] RUR možemo podijeliti na klasična raskrižja i ona s kružnim tokom.

RUR mogu biti izvedena kao nekanalizirana (neuređena) ili kanalizirana (uređena). Kanaliziranje prometnih tokova se postiže horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, uvođenjem nadvišenih razdjelnih otoka i fizičkim razdvajanjem trakova. Navedene mjere rezultiraju: [6]

- prisilnim i jasnim vođenjem prometnih tokova,
- dobrom orijentacijom u svim situacijama,
- koncentracijom i jednoznačnim određivanjem mjesta konflikta i
- smanjenjem konfliktne zone.

Iz navedenih točaka možemo vidjeti da uređenje raskrižja doprinosi zadovoljavanju prethodno spomenutih faktora sigurnosti prometa. Mogućnost kanaliziranja klasičnog trokrakog raskrižja („T“ raskrižje) prikazano je na slici 7.



Slika 7: Mogućnosti kanaliziranja „T“ raskrižja [6]

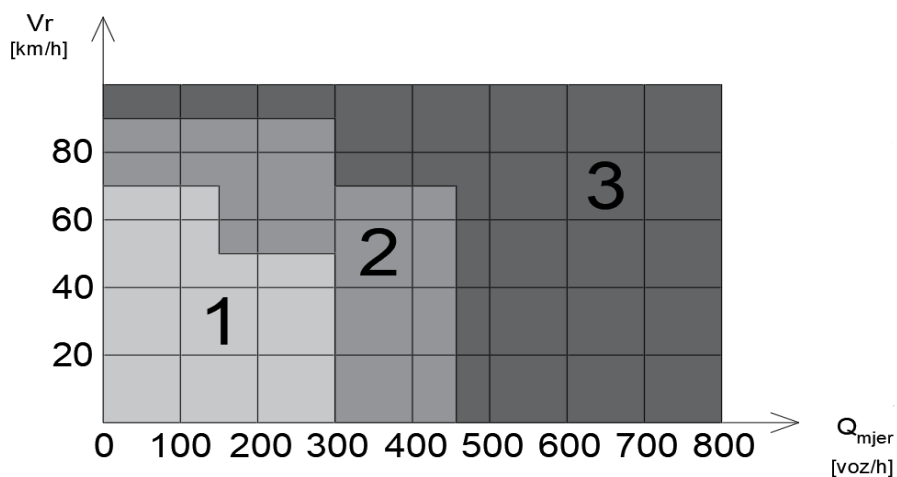
1.1.1 Klasična raskrižja u razini

Ova grupa raskrižja ima kapacitet prihvata prometnog opterećenja do $Q_{mjer} \leq 800 \frac{voz}{h}$ po kraku i vremenske praznine toka $\Delta T \geq 6$ sekundi. Spomenute značajke su karakteristika cesta od 2. do 5. razreda prikazane u *tablici 2.* [1], [7]

Tablica 2: Kategorije ceste prema [7]

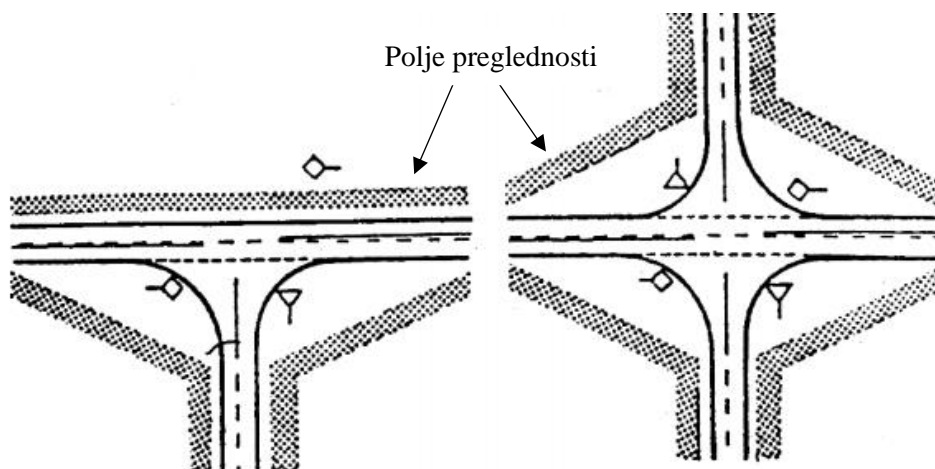
Kategorija ceste	Društveno gospodarsko značenje	Vrsta prometa	Veličina prometa	Zadaća povezivanja	Srednja duljina putovanja [km]
AC	Državna	Promet motornih vozila	> 14000	Međudržavno i državno	> 100
1. kat	Državna	Promet motornih vozila	> 12000	Međudržavno i državno-regionalno	50 - 100
2. kat	Državna	Promet motornih vozila; mješoviti promet	7000 - 12000	Državno i županijsko	20 - 50
3. kat	Državna; Županijska	Mješoviti promet	3000-7000	Međuopćinsko	5 - 50
4. kat	Županijska; Lokalna	Mješoviti promet	1000-3000	Općinsko	5 - 20
5. kat	Lokalna	Mješoviti promet	< 1000	Općinsko-lokalno	< 5

Klasična raskrižja u razini možemo dodatno podijeliti na tri osnovna tipa s obzirom na veličinu prometa i brzinu na glavnom prometnom toku, odnosno omjeru V_r / Q_{mjer} . Međuodnos spomenutih parametara prikazan je na *slici 8.*



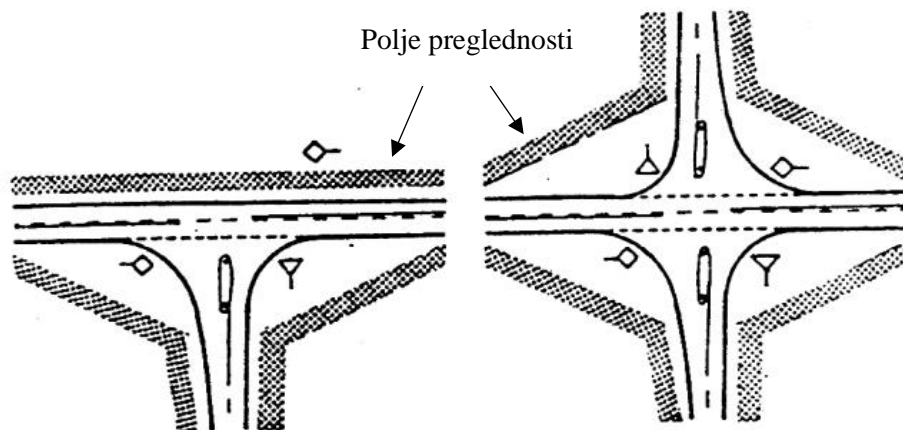
Slika 8: Shematski prikaz temeljem kojeg se odabire određeni tip klasičnog raskrižja u razini

Tip 1 prikazan na *slici 9* je nekanalizirano raskrižje korišteno u slučaju spajanja lokalnih cesta malog prometnog opterećenja. Iz ekonomskih razloga brojna raskrižja u naseljima ostaju neuređena, čime se smanjuje razina sigurnosti. U cilju njenog povećanja potrebno je osigurati bolju preglednost i kvalitetnu signalizaciju. [1]



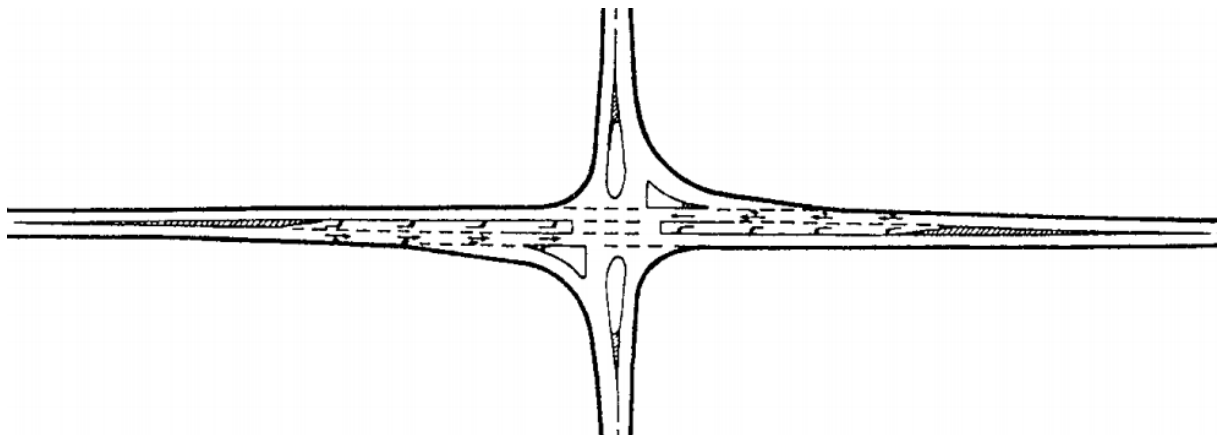
Slika 9: Tip I promatran s obzirom na veličinu prometa i brzinu glavnog prometnog toka [3]

Tip 2 (*slika 10*) vezan je uz malo do srednje prometno opterećenje kada udio lijevih skretača ne prelazi 10% ukupnog prometa. Kod izvođenja ovog tipa raskrižja obično se predviđa kapljasti razdjelni otok za kanaliziranje na sporednom pravcu. [1]



Slika 10: Shema drugog tipa raskrižja promatranog s obzirom na veličinu prometa i brzinu prometnog toka glavnog pravca [3]

Tip 3 (*slika 11*) se primjenjuje na čvorištima važnijih cesta s velikim prometnim opterećenjem. Na ovom tipu raskrižja obvezno je izvođenje dodatnih trakova za lijeve i desne skretače na glavnom pravcu i fizičko kanaliziranje tokova sporednog pravca. To se postiže primjenom povišenih ili iscrtanih razdjelnih otoka. [3]



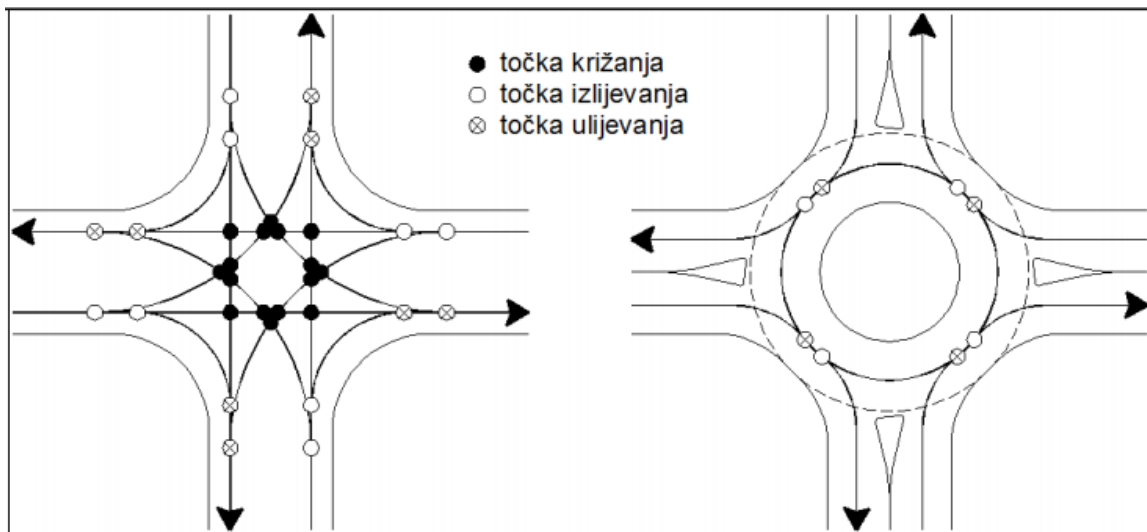
Slika 11: Prikaz kanaliziranog tipa raskrižja [6]

1.1.2 Raskrižje s kružnim tokom prometa

Raskrižje s kružnim tokom prometa (RKT) definira se kao kanalizirano raskrižje kružnog oblika gdje je kretanje vozila određeno središnjim otokom i kružnim voznim trakom na koji se vežu tri ili više privoza ceste, a promet se odvija u smjeru suprotnom od kazaljke sata. [8]

Kružna raskrižja se primjenjuju u urbanim sredinama i izvan naselja uz naglasak na mjesta smanjene prometne sigurnosti i u slučajevima gdje doprinose osiguravanju bolje propusne moći raskrižja. [9]

Najvažnija karakteristika RKT-a jest eliminacija zone konflikta i konfliktnih točaka križanja, preplitanja, te ulijevanja i izlijevanja. Na *slici 12* dan je usporedni prikaz konfliktnih točaka između spomenutih raskrižja. U slučaju prometovanja isključivo motornog prometa, klasično raskrižje ima 32 potencijalne kolizijske točke dok s druge strane jednotačno kružno raskrižje ima sveukupno 8 takvih točaka. [8]



Slika 12: Usporedba konfliktnih točaka kod klasičnog četverokrakog raskrižja i kružnog raskrižja s istim brojem privoza [8]

Prednosti kružnih nad standardnim raskrižjima u razini su: [10], [8]

- veća sigurnost prometa zbog manjeg broja konfliktnih točaka i smanjene brzine kretanja
- smanjenje posljedica prometnih nesreća- nema frontalnih sudara i bočnih sudara pod pravim kutem
- kontinuitet vožnje koji je osiguran ukidanjem obveznog zaustavljanja na privozima, veća propusnu moć
- povoljni utjecaj na okoliš
- mogućnost dobrog uklapanja u okolni prostor
- smirivanje prometa u urbanim sredinama
- kvalitetno rješenje u slučaju podjednakog opterećenja svih privoza i za raskrižja s pet ili više krakova
- potrebno je manje prostora za osiguravanje jednake propusne moći (nepotrebni su dodatni prometni trakovi za skretače)

Uz navedene prednosti, valja spomenuti i neke bitne nedostatke kružnih u odnosu na klasična raskrižja: [8]

- smanjuje se razina prometne sigurnosti povećanjem broja prometnih trakova u kružnom kolniku, ali i pri većem intenzitetu nemotoriziranog prometa
- neefikasnost kružnog toka u slučaju prometnih tokova s izraženim lijevim skretačima
- produljuje se put svih sudionika na raskrižju
- kružna raskrižja većeg polumjera nisu prikladna rješenja za smještanje ispred vrtića, bolnica, domova za starije i sl.

RKT možemo podijeliti po lokaciji i veličini, broju privoza i prometnim trakovima, namjeni i sl. [1]

S obzirom na lokaciju i veličinu, razlikujemo urbana i izvan-urbana kružna raskrižja. *Tablicom 3* dan je prikaz različitih tipova urbanih kružnih raskrižja u ovisnosti o vanjskom polumjeru. Također je prikazan okvirni kapacitet pojedinog tipa raskrižja uz pretpostavku da se radi o jednotračnom kružnom toku s podjednako opterećenim privozima. [8]

Tablica 3: Tipovi kružnih raskrižja u urbanim sredinama [8]

Tip kružnog raskrižja	Vanjski polumjer [m]	Okvirni kapacitet [voz/dan]
Mini urbano	7,0 - 12,5	10 000 (15 000)
Malo urbano	11,0 - 17,5	15 000 (18 000)
Srednje veliko urbano	15,0 – 20,0	20 000 (22 000)

Mini urbana kružna raskrižja se koriste u izgrađenim urbanim sredinama u svrhu smirivanja prometa. Očekivana brzina prometa na ovom tipu raskrižja iznosi do 25 km/h. Budući da su malih dimenzija, često se koriste montažni razdjelni otoci što ih čini ekonomski povoljnijim od klasičnih raskrižja. Također, u pravilu imaju veću propusnu moć i stupanj sigurnosti svih sudionika u prometu u odnosu na standardna raskrižja.

Mala urbana kružna raskrižja se uglavnom izvode na ulazu u pojedine zone naselja urbanih sredina s ciljem najavljanja promjena u uvjetima vožnje, ali i kao element arhitektonskog oblikovanja. Očekivane brzine kretanja vozila su do 30 km/h.

Srednje velika urbana kružna raskrižja primjenjuju se na mjestima intenzivnijeg prometnog opterećenja. Projektiraju se na način da primjenjeni geometrijski elementi ovih raskrižja ne omogućuju brzinu kretanja vozila iznad 40 km/h. [8]

Tablica 4 prikazuje podjelu izvanurbanih kružnih raskrižja. Na njima je predviđeno odvojeno vođenje biciklističkog i pješackog prometa.

Tablica 4: Tipovi kružnih raskrižja u izvanurbanim sredinama [8]

Tip kružnog raskrižja	Vanjski polumjer [m]	Okvirni kapacitet [voz/dan]
Srednje veliko izvanurbano	17,5 – 22,5	22 000 (24 000)
Veliko izvanurbano	> 25	/

Srednje velika kružna raskrižja primjenu pronalaze izvan izgrađenih urbanih područja i to na mjestima većih prometnih opterećenja, velikih brzina i smanjene sigurnosti odvijanja prometa. Na ovom tipu raskrižja uobičajena brzina je 40 km/h.

Velika izvanurbana kružna raskrižja se predviđaju u iznimnim slučajevima i na cestama visokog ranga kao što su križanje autocesta te brzih cesta i sl. [8]

Podjelom kružnih raskrižja prema namjeni razlikujemo kružna raskrižja za smirivanje prometa, kružna raskrižja za ograničavanje prometa i kružna raskrižja za postizanje što veće propusne moći. U ovisnosti o broju krakova dijelimo ih na trokraka, četverokraka i peterokraka (višeokraka). S obzirom na vođenje prometnih tokova razlikujemo kružna raskrižja s prometnim tokovima u razini i kružna raskrižja s prometnim tokovima izvan razine. [8]

Jedan od spomenutih nedostataka kružnih raskrižja je smanjena razina prometne sigurnosti u slučaju povećanja broja prometnih trakova u kružnom kolniku. Brojne studije pokazuju kako dvotračna kružna raskrižja karakterizira nedovoljna prometna sigurnost i niža propusna moć od očekivane. Navedeni problemi se u mnogim zemljama rješavaju smanjenjem konfliktnih točaka implementacijom alternativnih tipova kružnih raskrižja. [11]

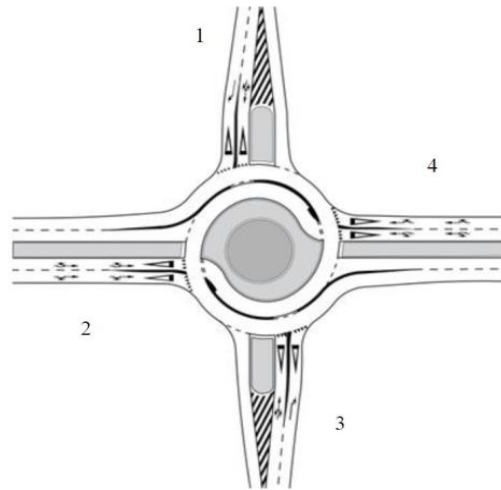
Alternativni tipovi uglavnom odstupaju od klasičnih jednotačnih ili dvotračnih kružnih raskrižja u jednom ili više projektnih elemenata s obzirom na to da je i potreba za njihovom primjenom specifična. Prema [14] možemo ih podijeliti u tri kategorije:

- a) raskrižja koja su u širokoj primjeni diljem svijeta (hamburger, dumb-bell, itd.),



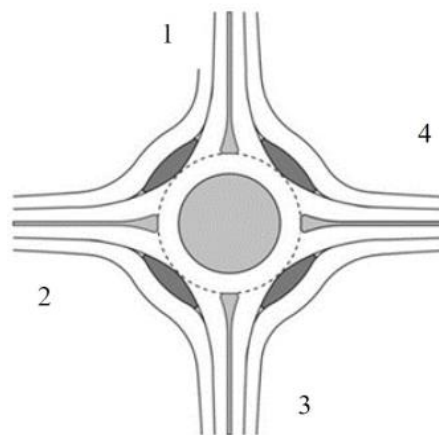
Slika 13: „Hamburger“ kružno raskrižje sa provoznim središnjim dijelom u ovom slučaju namijenjenim biciklistima [12]

- b) raskrižja koja su primjenjena tek u nekolicini zemalja (turbo raskrižja, dog-bone, raskrižja sa svjetlosnom signalizacijom, mini kružna raskrižja i sl.), te



Slika 14: Turbo kružno raskrižje [11]

- c) raskrižja koja su još uvijek u fazi razvoja (turbo-square, flower, te još neki oblici kružnih raskrižja koja nisu u jednoj razini)



Slika 15: Kružno raskrižje „Flower“ [11]

1.2 Raskrižja izvan razine

Raskrižja izvan razine (RIR) podrazumijevaju prometne građevine za organizirano povezivanje cestovnih pravaca tako da se osigura neprekinuto odvijanje prometnih tokova. RIR primjenu pronalaze u slučajevima kada raskrižja u razini ne zadovoljavaju zahtijevanu propusnu moć ili razinu prometne sigurnosti. U iznimnim slučajevima, primjenu RIR-a uvjetuje konfiguracija terena na lokaciji gradnje. [1], [6]



Slika 16: Primjer raskrižja izvan razine tipa „djetelina“ [13]

Nezavisnim vođenjem prometnih tokova u različitim razinama se eliminiraju njihove točke presijecanja ili križanja. Prema [1], 20-30% svih nesreća događa se na površinskim raskrižjima. Raskrižja izvan razine u odnosu na ona u razini imaju 2-2,5 puta veću propusnu moć, no sukladno tome karakteriziraju ih i veći troškovi gradnje.

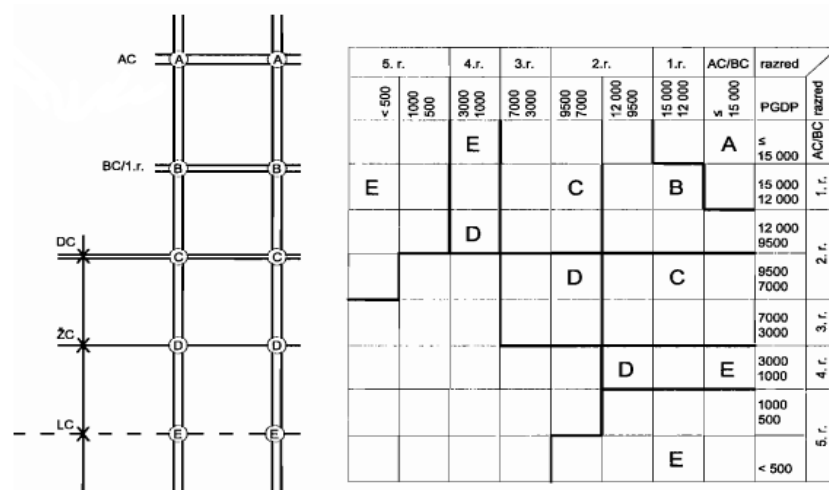
Potreba za prostornim razdvajanjem nastaje u slučajevima kada ukupno prometno opterećenje glavnog i sporednog pravca prelazi 12 000 voz/dan, odnosno kada je minimalno prometno opterećenje u vrijednosti PGDP¹-a $\geq 3\ 000$ voz/dan. Navedene brojke odgovaraju prometnom opterećenju autocesta i cesta 1. kategorije opisanih u *tablici 1*. [1]

Projektno rješenje RIR-a ovisno je o rangu prometnice, te njihove uloge u mreži. Značenje i veličina raskrižja razvrstane su u pet funkcionalnih razina označenih A-E u ovisnosti o prometnom opterećenju i razredu ceste:

¹ Prosječni dnevni godišnji promet- predstavlja količinu prometa u odnosu na ukupno ostvareni promet tijekom cijele godine.

- A – puni program prostornog kanaliziranja
- B – ceste istog režima, ali različitog prometnog opterećenja
- C – ceste različitog režima i različitog prometnog opterećenja s kombiniranim rješenjima raskrižja
- D – ceste različitog ranga velike razlike u prometnom opterećenju, raskrižja kombinirana
- E – prostorno razdvajanje pravaca bez izgradnje priključnih veza, primjena u spajanju cesta višeg razreda s lokalnim [3]

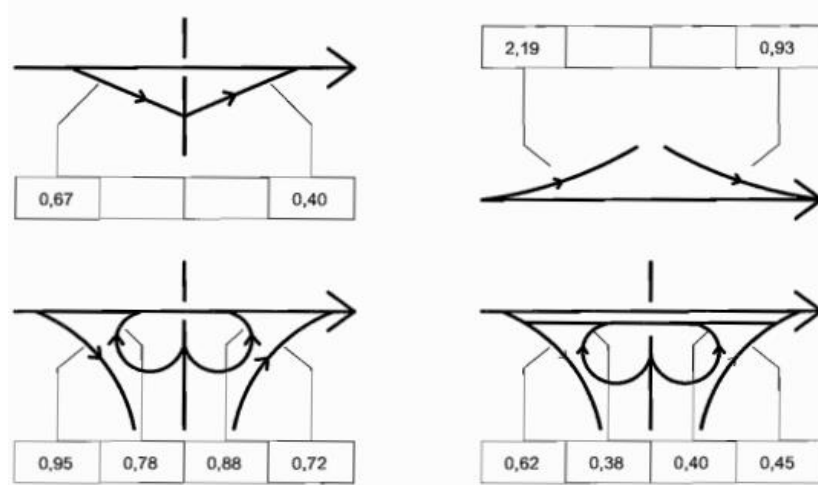
Najviša razina prometne usluge u pogledu osiguravanja kontinuiteta prometnih tokova predviđena je kod raskrižja dviju autocesta. Kod nižih kategorija cesta ovako kompleksna, a ujedno i skupa rješenja nisu potrebna pa se koriste tzv. kombinirana raskrižja. *Slikom 17* prikazan je odnos funkcionalnih razina raskrižja izvan razine i prometnih parametara. [1]



Slika 17: Odnos funkcionalnih razina i prometnih parametara [1]

U slučaju raskrižja izvan razine razlikujemo tri grupe elemenata koja rezultiraju konceptom prostornog rješenja: vođenje osnovnih trasa, uljevi i izljevi i spojne ceste (rampe). Koncipiranje nabrojanih elemenata podrazumijeva njihovo usklađivanje u specifičnim prostorno-prometnim okolnostima. [1] Mnogobrojni čimbenici (mreža prometnica, konfiguracija terena, prometne struje, urbanizacija i sl.) utječu na tlocrtno i visinsko vođenje osnovnih trasa, što svaku projektnu situaciju čini specifičnom.

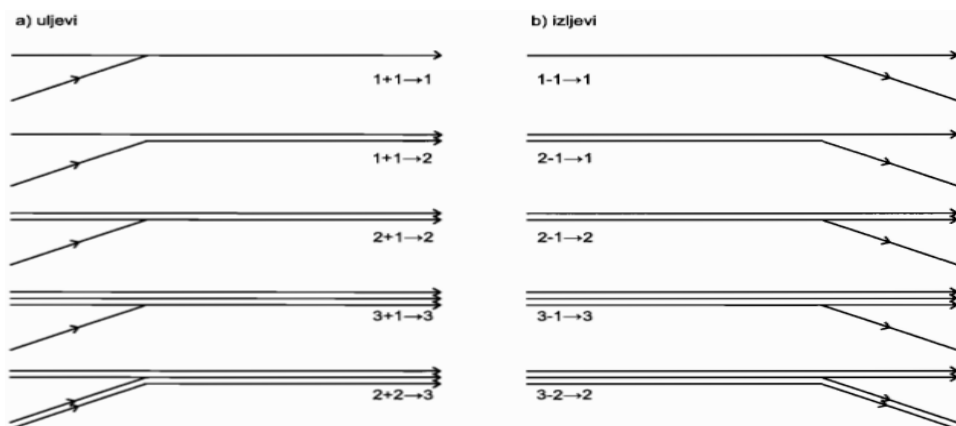
Uljev i izljev predstavljaju promjenu prometnog traka uz prilagođavanje brzine. U slučaju njihova projektiranja, sigurnost prometna je u izravnoj korelaciji sa njihovim brojem, položajem i redoslijedom u raskrižju. Rezultati istraživanja stupnja rizika i međudnosa broja nesreća određenih prometnih rješenja i spojnih rampe prikazani su na slici 18.



Slika 18: Broj prometnih nesreća na milijun vozila s obzirom na rješenje raskrižja i pozicioniranje uljeva/izljeva [1]

Rezultati istraživanja doveli su do sljedećih preporuka:

- uljeve/izljeve je poželjno predvidjeti s desne strane kolnika,
- preporuča se predviđanje izljeva prije uljeva,
- svaki prometni smjer bi trebao sadržavati samo jedan uljev i izljev,
- promjena broja prometnih trakova pri uljevu/izljevu može odstupati u granicama ± 1 od broja prolaznih trakova (prikaz je dan na slici 19).

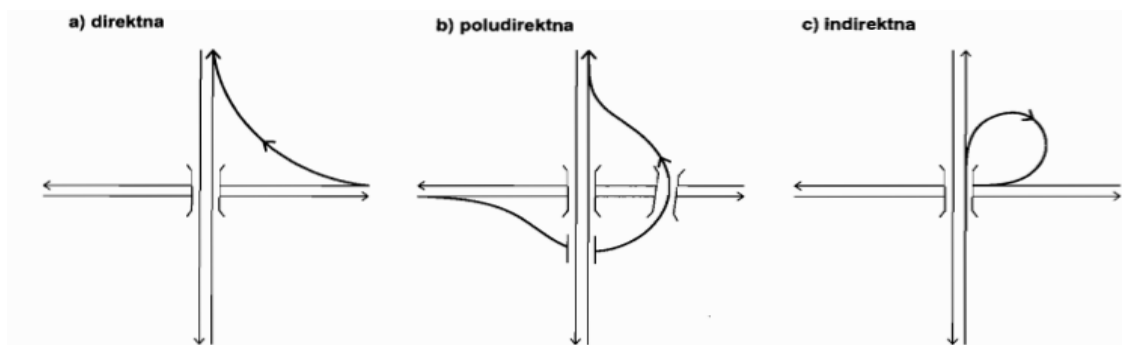


Slika 19: Način formiranja uljeva/izljeva u ovisnosti o broju prometnih trakova [1]

Zadaća spojnih cesta - rampi je povezivanje osnovnih pravaca te promjena prometnog toka. Razlikujemo tri oblika rampi: direktne (lokacijski u istom kvadrantu), poludirektne (u nasuprotnom kvadrantu) i indirektne rampe (u susjednim kvadrantima). Odabrani oblik rampe utječe na propusnu moć i sigurnost prometa te je s tih aspekata potrebno provjeriti projektne elemente rampi. U *tablici 5* prikazan je odnos između tipa rampe, funkcionalne razine raskrižja i projektne brzine kao ulaznog parametra za formiranje rampe. Osnovni oblici rampi prikazani su na *slici 20*.

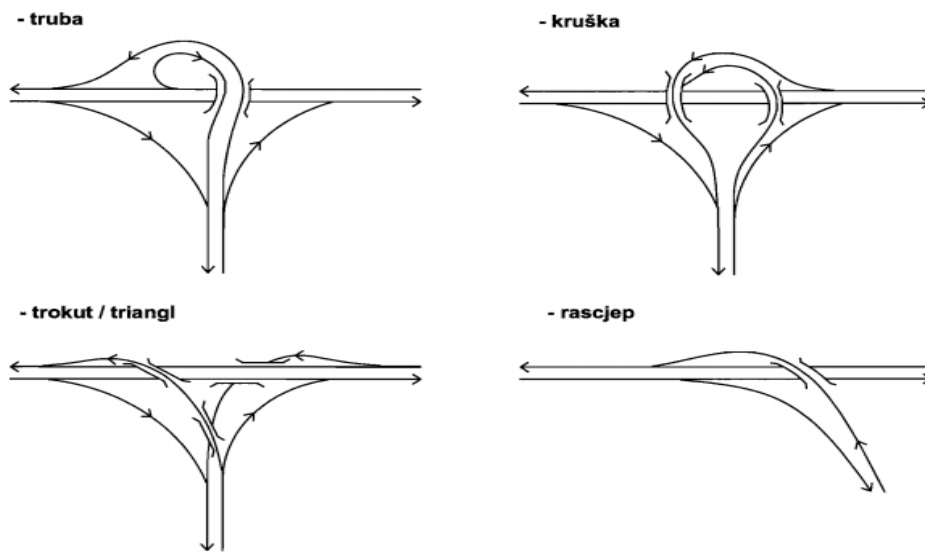
Tablica 5: Odnos brzine i tipa rampe, te funkcionalne razine raskrižja [1]

Rampe	Funkcionalna razina raskrižja (A-D)			
	Projektna brzina V_p [km/h]			
	A	B	C	D
Direktne	80	70	60	50
Poludirektne	70	60	50	-
Indirektne	50	40	30	30



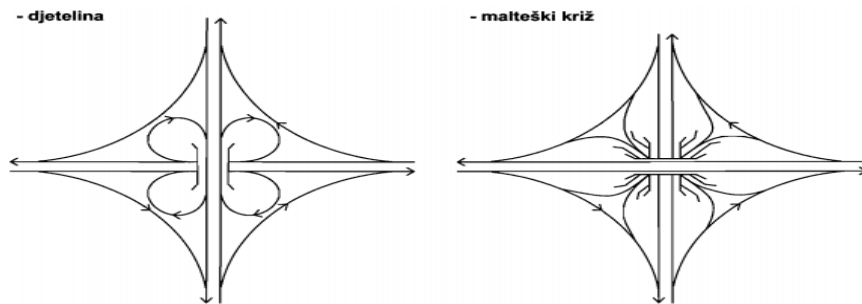
Slika 20: Osnovni oblici rampi [1]

S obzirom na pozicioniranje raskrižja u mreži autocesta najčešća su ona s tri i četiri privoza. Osnovni modeli raskrižja s tri privoza (*slika 21*) su oblika trube, kruške, trokuta (triangla) i rascjepa.



Slika 21: Osnovni modeli raskrižja autocesta s tri privoza [1]

Na *slici 22* prikazani su osnovni modeli raskrižja s četiri privoza, a to su djetelina i malteški križ. Iz osnovnih modela razvijeni su posebni oblici i kombinacije raskrižja budući da razni uvjeti koje je potrebno zadovoljiti pri projektiranju i gradnji često iziskuju netipična rješenja.



Slika 22: Osnovni modeli raskrižja autocesta s četiri privoza [1]

1.3 Kombinirana raskrižja

Uz spomenute grupe raskrižja, u praksi se pojavljuje i mnoštvo posebnih oblika i kombinacija raskrižja čija je primjena uzrokovana osobitostima prometnih tokova, prostorno-prometnim razlozima, konfiguracijom terena, izgrađenošću, itd. [1]

Uz prethodno spomenute alternativne tipove kružnih raskrižja, od kojih određeni tipovi predstavljaju kombinacije kružnih raskrižja s raskrižjima u i izvan razine, valja spomenuti i samu kombinaciju raskrižja izvan razine sa onima u razini. Na slici 23 prikazane su donekle sistematizirane kombinacije oblikovnih grupa.

vrsta raskrižja		mogući oblici raskrižja			
kombinirana (RUR - RIR)		četvrtina djeteline	dominantan lijevi skretač	izdizanje dominantnog toka	
izvan razine	djelomičan priključak	poluromb	rascjep	priključak bez lijevih skretača	bez križanja i lijevih skretača
	vrst/tip raskrižja	romb	lijevo skretanje s kružnim tokom	poludjetelins	lijevo skretanje
		priključak (3 privoza)	tričetvrtine djeteline	indirektna truba	pojednostavljeni trokut

Slika 23: Mogućnosti projektnih rješenja dobivenih kombiniranjem raskrižja [1]

2. VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

Donošenje odluka je svakodnevno prisutno na svim područjima ljudskih aktivnosti. U prošlosti je donošenje odluka bilo vezano isključivo uz ekonomske kriterije. Na taj je način osnovu za odabir rješenja predstavljala metoda analize troškova i koristi (eng. cost-benefit analysis). Međutim, u današnje vrijeme je uz ekonomski potrebno u obzir uzeti socijalni i okolišni aspekt. Ti se aspekti ne mogu izraziti isključivo kvantitativno, već se javlja potreba za kvalitativnim aspektom vrednovanja rješenja što cost-benefit analizu čini neprikladnom za korištenje. [15], [16]

Suvremeno doba uvjetuje razvoj i korištenje suvremenih metoda pri odabiru rješenja općenito, pa tako i u urbanoj infrastrukturi. Za izbor optimalnog rješenja složenih problema danas se koriste procesi optimizacije jedne ili više ciljnih funkcija na skupu mogućih rješenja, odnosno metode višekriterijskog odlučivanja. [17] Primjenu pronalaze u vrlo kompleksnim problemima i situacijama gdje je potrebna efikasna i brza obrada velikog broja prikupljenih podataka. Podjela višekriterijskog odlučivanja je sljedeća:

- višeciljno odlučivanje (VCO)
- višeatributno odlučivanje (VAO) ili višekriterijsku analizu (VKA)

Model višeciljnog odlučivanja obuhvaća beskonačan ili velik broj varijanti rješenja, a cilj je odabrati najbolju korištenjem matematičkog modela. Koristi se za rješavanje dobro strukturiranih problema² te nije primjenjiv u izboru optimalnih prometnih rješenja. Neke od brojnih metoda VCO su: metoda globalnog kriterija, metoda s funkcijom korisnosti, varijante leksikografske metode, ciljno programiranje, metoda postizanja cilja, interaktivno ciljno programiranje, SWT metoda, i dr. [16], [17]

Višekriterijska analiza je matematički postupak kojim se numerički ocjenjuje unaprijed poznati broj varijanti rješenja prema danim kriterijima (atributima). VKA se koristi za rješavanje loše strukturiranih problema što znači da su ciljevi vrlo složeni i često nejasno formulirani. Željeni cilj je kompleksan, te se vrednuje različitim kvantitativnim i kvalitativnim mjerama što onemogućuje dobivanje jednoznačnog rješenja. Može se primijeniti u slučaju utvrđivanja najprikladnije varijante, za rangiranje mogućih rješenja (od najboljih do najlošijih) ili za razdvajanje optimalnih rješenja od drugih kako bi se smanjio broj varijanti u užem krugu

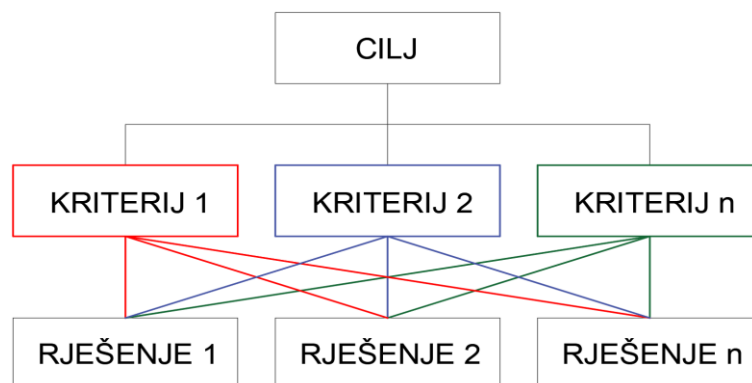
² Poznato je postojeće stanje i željeni cilj te način njegovog postizanja.

donošenja odluke. Budući da su problemi vezani uz prometnu infrastrukturu najčešće „loše strukturirani“, naglasak ovog diplomskog rada je na višekriterijskoj analizi kao alata za pomoć u promišljanju i donošenju odluka. *Tablicom 6* dan je sistematični prikaz karakteristika modela višekriterijskog odlučivanja. [15], [16], [18]

Tablica 6: Prikaz modela višekriterijskog odlučivanja [16]

<i>Kriteriji za usporedbu</i>	<i>Višeciljno odlučivanje (VCO)</i>	<i>Višekriterijska analiza (VKA)</i>
<i>Više kriterija definirano je</i>	ciljevima	atributima
<i>Ciljevi</i>	eksplicitni	implicitni
<i>Atributi</i>	implicitni	eksplicitni
<i>Ograničenja</i>	aktivna	nekativna
<i>Varijante (rješenja)</i>	implicitne	eksplicitne
<i>Broj varijanti</i>	beskonačan (velik)	određen (mali)
<i>Kontrola donositelja odluke</i>	velika	ograničena
<i>Primjena</i>	projektiranje (pronalazak rješenja i izbor)	izbor, evaluacija (rješenja su poznata)

Višekriterijsku analizu kao funkciju modela za donošenje odluka čine: skup rješenja (varijanti), skup kriterija, te vrijednosti (ocjene) svih varijanata po svakom kriteriju. Shematski prikaz strukture modela višekriterijske analize dan je *slikom 24*.



Slika 24: Struktura modela višekriterijske analize

Pristupanjem određenom problemu višekriterijsku analizu je potrebno provesti tako da se prvotno razmatraju dostupne varijante. Najčešće su definirane varijabilnim skupom, što znači da se po potrebi mogu mijenjati tijekom procesa odlučivanja. Nakon toga slijedi definiranje kriterija (kvalitativnih i kvantitativnih), te dodjeljivanje relativnih pondera³. Kad je cilj problema određivanje koristi radi se o kriterijima maksimizacijskog tipa, a ako analiziramo troškove, radi se minimizacijskom tipu. VKA rangira varijante rješenja ili im daje ocjenu na temelju zadanog broja kriterija tako da se svaka varijanta vrednuje u odnosu na svaki kriterij. Prije donošenja konačne odluke potrebno je provesti analizu osjetljivosti. Ona prikazuje na koji način promjene u postignutim rezultatima ili ponderima utječu na konačni rezultat VKA. Za provedbu višekriterijske analize moraju postojati barem dvije varijante i minimalno dva kriterija. [16], [18] Model je prikazan u nastavku izrazom (1): [15]

$$\begin{aligned} \max \{ & (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)) \} & (1) \\ x \in A = & [a_1, a_2, \dots, a_m] \end{aligned}$$

pri čemu je:

n – broj kriterija (n ≥ 2)

m – broj varijanti (m ≥ 2)

f_i – zadani kriteriji

a_i – predložene varijante

A – skup svih varijantnih rješenja

Pored prethodno spomenutih prednosti višekriterijske analize, karakteriziraju je i određeni nedostaci. Ponekad je rasprava o različitim prednostima i nedostacima pojedinih varijanti svedena na raspravu o apstraktnim brojevima. Analize osjetljivosti provedene u sklopu VKA pokazuju koji kriteriji najviše utječu na rezultate, stoga se to može iskoristiti za manipuliranje cijelom analizom. Također, predstavljanjem ukupne ocjene pojedine varijante svedene na kvantitativnu mjeru, moguće je stvoriti pogrešan dojam točnosti budući da sve višekriterijske analize ovise o subjektivnim procjenama. [18]

³ Postupak dodjeljivanja udjela pojedine vrijednosti u strukturi cjeline.

2.1 Pregled metoda višekriterijske analize

Razvijene su brojne metode višekriterijske analize: metoda dominacije, konjunktivna i disjunktivna metoda, metoda jednostavnih aditivnih težina (SAW), metoda višeatributivne teorije korisnosti (eng. MAVT), ELECTREE, TOPSIS, LINMAP, PROMETHEE, VIKOR, AHP, metoda hijerarhijskih aditivnih težina, i dr. Iako su mnoge od njih pronašle svoju primjenu u rješavanju problema prometne infrastrukture, u ovom diplomskom radu će detaljnije biti opisane četiri metode: AHP, PROMETHEE, ELECTREE i VIKOR.

2.1.1 AHP metoda

Metodu analitičkog hijerarhijskog procesa (*Analytic Hierarchy Process*) još 70-ih godina prošlog stoljeća razvija sveučilišni profesor Thomas Saaty. Danas glasi za jednu od najčešće korištenih metoda višekriterijske analize te svoju primjenu pronalazi u raznim područjima (politika, industrija, obrazovanje, tehnologija, zdravstvo i dr.). Koristi se kao alat za organizaciju i analizu složenih problema. Donositelju odluke ukazuje na rješenje koje najbolje odgovara promatranom problemu. AHP metoda može obraditi kvantitativne, kvalitativne, opipljive i nematerijalne kriterije [22]

Osnovni elementi AHP metode su cilj, kriteriji, potkriteriji i varijante. Proces rješavanja kompleksnih problema temelji se na njihovom rastavljanju kreirajući pritom hijerarhijsku strukturu. Na najvišoj razini se nalazi cilj, u razini ispod slijede kriteriji, a zatim potkriteriji. Najniža razina sadržava sve moguće alternative. Metoda prvotno konstruira hijerarhiju, zatim se vrši uspoređivanje elemenata hijerarhije u parovima nakon čega se vrši sinteza svih usporedbi. Zatim se određuju težinski koeficijenti svih elemenata u hijerarhijskoj strukturi. Uspoređivanje u parovima se provodi na temelju Saatyjeve skale relativne važnosti (*tablica 7*). Skala se sastoji od devet numeričkih vrijednosti (ocjena) pomoću kojih donositelj odluke razlikuje odnos između dva elementa. Osnovne vrijednosti su opisane neparnim, a međuvrijednosti parim brojevima. Prethodno spomenuti zbroj svih težinskih kriterija na pojedinoj razini strukture iznosi 1 te omogućava donositelju odluke rangiranje elemenata hijerarhije po važnosti. [24]

Tablica 7: Saatyjeva skala [24]

<i>Intenzitet važnosti</i>	<i>Definicija</i>	<i>Objašnjenje</i>
1	Jednako važno	Dvije aktivnosti jednako pridonose cilju
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjene, jedna aktivnost ima umjerenu prednost nad drugom
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjene, jedna se aktivnost strogo favorizira u odnosu na drugu
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu zbog njene dominacije u praksi
9	Ekstremna važnost	Favorizira se jedna aktivnost u odnosu na drugu zbog dokaza potvrđenih s najvećom uvjerljivošću
2,4,6,8	Međuvrijednost	/
0.1,0.2,...0.9	Decimalne vrijednosti	Koriste se zbog veće preciznosti u isticanju razlika elemenata

Bitna karakteristika AHP metode je već spomenuta mogućnost provedbe analize osjetljivosti. Ona daje uvid na koji način promjena ulaznih podataka utječe na ishod i omogućuje prikaz promjena u rangiranju pojedinih varijanti simuliranjem važnosti kriterija i potkriterija. Njenim provođenjem se utvrđuje stabilnost rang lista alternativa u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka. [24]

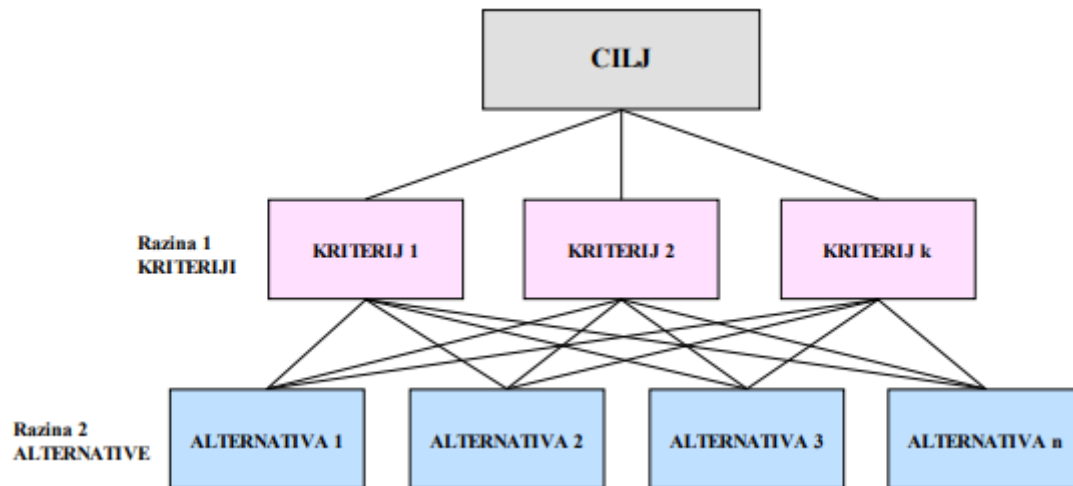
Još jedna od važnih osobina AHP metode koja pridonosi njenoj često primjeni je konzistentnost. Primjenjuje se za provjeru procjena donositelja odluke, a na temelju nje se odlučuje jesu li dobiveni težinski koeficijenti kriterija i rangiranje alternativa ispravni. Mogući uzroci nekonzistentnosti donositelja odluke su:

- manjak koncentracije izazvan umorom ili nezainteresiranošću
- administrativna pogreška
- nepostojanje konzistentnosti u promatranom problemu
- neadekvatna struktura modela

- pomanjkanje informacija uzrokovano propustom ili namjernim izbjegavanjem zbog smanjenja troškova pri istraživanju

Primjena AHP metode vrši se u četiri navedena koraka: [24]

1. Razvija se hijerarhijski model problema u nekoliko razina (*slika 25*)
2. Donositelj odluke provodi međusobno uspoređivanje elemenata strukture na svakoj razini pomoću Saatyjeve skale relativne važnosti.
3. Na temelju procjene relativnih važnosti elemenata određene razine pomoću matematičkog modela se izračunavaju težine kriterija, potkriterija i alternativa nakon čega se alternative rangiraju
4. Provodi se analiza osjetljivosti



Slika 25: Shema hijerarhije AHP metode [24]

U nastavku teksta su navedene prednosti primjene AHP metode istaknute od strane više autora: [16], [24]

- mogućnost definiranja hijerarhije ciljeva, kriterija i varijanti što omogućuje odabir najboljeg od ponuđenih rješenja,
- moguće sudjelovanje različitih stručnjaka i interesnih skupina,
- osim kvantitativnih kriterija, AHP metoda ima dobar učinak u slučaju razmatranja kvalitativnih kriterija koje nije moguće izraziti brojčanim vrijednostima, već međusobno procjenjivati u relativnom međuodnosu varijanata.

- analizom osjetljivosti se provjerava stabilnost rezultata,
- redundantnost pri uspoređivanju kriterija ili alternativa čini ovu metodu stabilnijom u odnosu na greške procjenjivanja,
- ima sposobnost otkrivanja i ukazivanja na nekonzistentnost u procjenama pri donošenju odluka,
- razvoj softverskih alata omogućuje jednostavno rukovanje AHP metodom (pr. Expert Choice, Super Decisions)

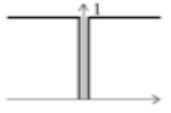
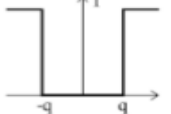
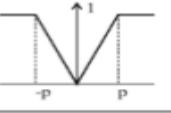
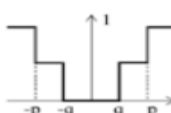
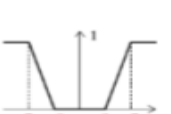
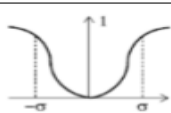
Kao najveći nedostaci AHP metode se navode: nedovoljno velika skala za usporedbu elemenata, nemogućnost korištenja neusporedivih alternativa, teško postizanje konzistencije, i veliki broj usporedbi parova. [24]

2.1.2 Metoda PROMETHEE

Začetnik PROMETHEE (*Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation*) metode bio je J.P. Barns, a koriste se za rangiranje alternativa iz pojedinog skupa. Temelji se na usporedbi alternativa kroz sve pojedine kriterije čiji je cilj određivanje vrijednosti preferencije određene alternative u odnosu na neku drugu. Da bi se to postiglo, nakon određivanja kriterija je potrebno definirati funkciju preferencije P za alternative 1 i 2 . Donositelj odluke daje prednost određenoj alternativu na temelju funkcije f . Ako vrijedi da je: $f(a) > f(b)$, tada alternativa a ima prednost u odnosu na alternativu b . [15]

Metoda se primjenjuje kroz sljedeća tri koraka: [25], [26]

1. Modeliranje preferencija- u ovom je koraku potrebno izgraditi relacije za svaki kriterij u kojem se bira funkcija preferencije. Vrijednost funkcije se kreće u granicama intervala $[0-1]$. Ako je vrijednost ≈ 0 tada je riječ o slaboj preferenciji, odnosno indiferenciji kada je vrijednost 0 . Vrijednost 1 označava strogu preferenciju, a što je taj broj bliži 1 jača je preferencija jedne alternative nad drugom. Danas se koristi šest tipova kriterija, odnosno funkcija preferencije za rješavanje problematike u praksi (*slika 26*).

Tip kriterija	Analiitička definicija	Graf	Parametri za određivanje
Običan kriterij	$p(d) = \begin{cases} 0, & d = 0 \\ 1, & d \neq 0 \end{cases}$		-
Kvazi-kriterij	$p(d) = \begin{cases} 0, & d < q \\ 1, & d \geq q \end{cases}$		q
Kriterij s linearnom preferencijom	$p(d) = \begin{cases} \frac{ d }{p}, & d < p \\ 1, & d \geq p \end{cases}$		p
Kriterij razina	$p(d) = \begin{cases} 0, & d < q \\ 0.5, & q < d < p \\ 1, & d > p \end{cases}$		q, p
Kriterij s linearnom preferencijom i područjem indiferencije	$p(d) = \begin{cases} 0, & d < q \\ \frac{ d - q}{p - q}, & q < d < p \\ 1, & d > p \end{cases}$		q, p
Gaussov kriterij	$p(d) = 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}$		σ

Slika 26: Tipovi generaliziranih kriterija PROMETHEE metode [26]

2. Sakupljanje- proračunava se indeks preferencije i to kao ponderirani prosjek preferencija iz prvog koraka. Nakon toga slijedi određivanje izlaznih tokova zbrajanjem indeksa preferencije. Razlikujemo pozitivni (prednost promatrane alternative u odnosu na sve ostale), i negativni (prednost drugih alternativa na promatranu) neto tok. U ovom koraku, na donositelju odluke je da odredi težinske čimbenike svakog korištenog kriterija.
3. Eksploatacija- određuje se konačan poredak varijanata, dok sam način provođenja ovog koraka ovisi o metodi koja se koristi pri analizi. Metodu PROMETHEE I karakterizira djelomično rangiranje što znači da se u ovom koraku definiraju odnosi preferencije, indiferencije i neusporedivosti alternativa. PROMETHEE II provodi rangiranje potpunim poretkom. Ova metoda ne sadrži relaciju neusporedivosti što rezultira većim stupnjem apstrakcije i ponekad otežava donošenje konačne odluke.

Jednostavnost korištenja i matematička svojstva ističu se kao najveća prednost ove metode. Nedostatak PROMETHEE metoda je činjenica da način na koji je potrebno procijeniti težinu kriterija nije definiran što nedovoljno iskusnim korisnicima predstavlja problem. Osim toga, neki autori daju kritiku ovoj metodi zato što ne raspolaže mogućnošću rastavljanja složenog problema na manje dijelove. Posljedica toga je otežano donošenje odluka kada je promatrani problem opisan s velikim brojem kriterija. [25]

2.1.3 Metoda ELECTRE

Metodu ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing the Reality*) razvio je matematičar Bernard Roy u suradnji s istraživačkim timom iz SEMA kompanije te je prvi put predstavljena 1965. godine. Nekadašnja metoda ELECTRE danas je nazvana ELECTRE I. Osim spomenute, kasnije su još razvijene metode ELECTRE II (za rangiranje alternativa od najbolje do najgore), ELECTRE III (glavna karakteristika ove metode je korištenje pseudo kriterija i nejasnih binarnih relacija), ELECTRE IV (rangiranje alternativa bez određivanja težinske vrijednosti kriterija). Metode ELECTRE I-IV se temelje na istom principu, a razlikuju se u fazama postupka. Prvotno je ova metoda bila namijenjena isključivo izboru najbolje radnje iz zadanog skupa radnji. Njenim dodatnim razvijanjem, danas su dostupne verzije koje imaju mogućnost sortiranja, rangiranja i odabira najbolje alternative. Sistematičan prikaz nekolicine verzija ove metode i vrste problema u kojima se koriste dan je u *tablici 8*. [27], [28]

Pri korištenju ove metode za izbor najboljeg rješenja, naglasak je stavljen na modeliranje odnosa između alternativa. To se provodi ispitivanjem jačine argumenata u paru alternativa te koliko jedan dominira nad drugim. Iz skupa alternativa određuje se ona najbolja u odnosu na sve kriterije. Budući da svi kriteriji nisu jednako važni dodjeljuju im se težinski koeficijenti (izuzevši metodu ELECTRE IV), te se za svaku alternativu mjeri udaljenost od idealnog rješenja. Najboljim rješenjem se smatra ono koje je najbliže idealnom. [27]

ELECTRE metode se zasnivaju na algoritmu koji koristi tzv. uvjete suglasnosti i nesuglasnosti. Indeks suglasnosti je brojčani pokazatelj suglasnosti da se određena alternativa može rangirati ispred neke druge. Indeks nesuglasnosti predstavlja brojčani pokazatelj neslaganja s tvrdnjom da je određena alternativa barem jednako dobra kao i druga koja se promatra. Rangiranje se provodi tako da indeks suglasnosti mora biti veći ili jednak od željene razine suglasnosti, dok s druge strane indeks nesuglasnosti mora biti manji ili jednak razini nesuglasnosti. [15]

Tablica 8: ELECTRE metode [27]

<i>Problem odlučivanja</i>	<i>Metode</i>	<i>Primjer</i>
<i>Odabir najbolje alternative</i>	ELECTRE I, ELECTRE Iv, ELECTRE IS	Odabir jednog kandidata za posao
<i>Rangiranje alternativa</i>	ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV	Rangiranje određenog broja kandidata za posao
<i>Sortiranje alternativa</i>	ELECTRE TRI	Sortiranje kandidata u skupine (dobri, manje dobri, nedovoljno dobri)

Primjena ove metode osobito dolazi do izražaja u određenim slučajevima. Kada su alternative ocijenjene na skali koja nije prikladna za usporedbu različitosti i kada kriterije karakterizira jako izražena nejednakost s obzirom na način ocjenjivanja. Osim toga, u slučaju kada nije prihvatljiva kompenzacija na razini alternativa u smislu da prednosti određenog kriterija nadomještaju nedostatke te iste alternative po nekom drugom kriteriju. [27]

Prednosti ELECTRE metode su neograničen broj kriterija te mogućnost kvantitativnog i kvalitativnog iskazivanja njihove važnosti potrebnog za rangiranje alternativa. Kao nedostatak navodi se nemogućnost primjene u slučaju kada donositelj odluke ne daje prednost određenim kriterijima u odnosu na druge. [15]

2.1.4 Metoda VIKOR

Metoda VIKOR (*višekriterijsko kompromisno rangiranje*) spada u grupu metoda višekriterijske analize koje su zasnovane na kompromisu. Od poznatijih metoda u tu grupu još spada TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) i CP (*kompromisno rangiranje*). Osnovnu ideju VIKOR metode razvio je Serafim Opricović u doktorskoj disertaciji još 1979. godine, dok je njezina prava primjena razvijena kasnije. Ova metoda razvijena u cilju višekriterijskog rangiranja alternativa pogodna je za rješavanje problema gdje prevladavaju kriteriji kvantitativne prirode. [29]

Metoda je bazirana na načelima kompromisnog rangiranja, odnosno traži rješenje koje je najbliže idealnom (ne postoji alternativa koja zadovoljava sve kriterije). To se rješenje naziva kompromisno rješenje, a njegova udaljenost od idealne točke mjeri se metodama granične metrike. [29]

Rezultati ove metode su: rang liste i skup kompromisnih rješenja. Pri korištenju ove metode smatra se da donositelj odluke nema dovoljno izraženu preferenciju određene alternative iz skupa, već metoda predlaže onu varijantu koja zadovoljava uvjete da:

1. ima dovoljnu prednost u odnosu na sljedeću varijantu
2. ima dovoljno stabilnu poziciju u slučaju promjene težine kriterija.

Ako jedan ili oba spomenuta uvjeta nisu zadovoljena, formira se skup kompromisnih rješenja koja sadrže „bliske“ vrijednosti. Alternative koje ulaze u skup rješenja možemo dodatno precizirati, a ovisno o tome koji točno uvjet nije zadovoljen. Naime, ako nije ispunjen niti jedan od uvjeta, skup rješenja čine prva, druga i eventualno još neka od alternativa u nizu. Ako nije zadovoljen samo drugi uvjet, tada se u skupu nalaze samo prve dvije varijante, no ako nije zadovoljen prvi uvjet, skup rješenja sadrži redom sve alternative s rang liste do pojave alternative koja ostvaruje dodatnu prednost nad sljedećom u nizu. [29]

Koraci pri korištenju VIKOR metode su sljedeći: [30]

- Određivanje najveće i najmanje vrijednosti kriterija
- Izračun pesimističnog i očekivanog rješenja
- Izračun kompromisnog rješenja
- Rangiranje alternativa

Za izračun pesimističnog i očekivanog rješenja koristi se tzv. složena linearna normalizacija što onemogućuje upotrebu drugih normalizacija pa se to navodi kao nedostatak ove metode. Kompromis između navedenih rješenja (pesimističnog i očekivanog) se navodi kao najveći nedostatak ove metode jer se mijenjanjem važnosti ovih rješenja mijenja i sam poredak u rang. Dok jedni ovo navode kao najveći nedostatak, drugi autori ovo smatraju prednošću jer je mijenjanjem značaja ovih dvaju vrsta rješenja moguće utvrditi povezanost između težinskih koeficijenata i promjeni u ranga alternativa. Kao prednost ove metode također se ističe njezina jednostavnost. [30]

2.2 Pregled višekriterijske analize u planiranju i projektiranju prometne infrastrukture

Proces optimizacije u području građevinarstva je složen te je za dobivanje najpogodnijeg rješenja potrebno u obzir uzeti brojne kriterije. Time uvjetovana multidisciplinarnost podrazumijeva angažman stručnjaka iz raznih područja poput građevinarstva, arhitekture, ekonomije, strojarstva, prometa, geodezije i sl. [19] Prometna infrastruktura, u odnosu na ostalu, zauzima najveću površinu u gradovima. Izraženo brojkama, radi se o 15-20%, a u samom centru grada i preko 40% površine. Na kvalitetu života u gradu veliki utjecaj ima razvoj infrastrukture općenito, pa tako i one prometne. Uz primjenu odgovarajućeg prometnog sustava osigurava se pristupačnost gradskih područja što pridonosi njihovoj vrijednosti. Sve prethodno navedeno predstavlja razloge za iscrpno promišljanje svakog koraka (planiranje, projektiranje, građenje/rekonstrukcija i održavanje) vezanog uz intervencije na prometnoj infrastrukturi. [16]

Autori rada [16] analizirali su primjenu metoda višekriterijske analize u problemima planiranja, projektiranja te održavanja i rekonstrukcije prometne infrastrukture. Zaključili da je primjena VKA posljednjih nekoliko desetaka godina sve učestalija u njihovu rješavanju. Aktivnosti planiranja i projektiranja podrazumijevaju u određenoj mjeri formalizirane postupke s ciljem da se u realnom vremenu donesu potrebne odluke za poboljšanje postojećeg stanja i realizacije pozitivnih efekata planiranog razvoja. U postupku planiranja vrlo je važan odabir metode pošto vrsta metode značajno utječe na razvoj prometne infrastrukture. Planiranje prometa s obzirom na razinu planiranja i relevantnost u urbanim sredinama dijelimo na sektorsko (promet kao zasebna gospodarska grana), prostorno-prometno (planiranje prometne mreže i popratnih sadržaja) i projektno (projektiranje, procjena i izbor pojedinih prometnih objekata). [16], [20] U radu [16] ističe se da je najučestalija primjena korištenja metoda višekriterijske analize u fazi planiranja te da je neovisno o vrsti problema najčešće korištena AHP metoda. Prema učestalosti pojavljivanja, slijede je PROMETHEE i metoda jednostavnih aditivnih težina, a zatim ELECTREE, ANP, REGIME, metoda višeatributne teorije korisnosti i TOPSIS.

Zbog određenih nedostataka, metode VKA se u fazi planiranja posljednjih nekoliko godina združuju s metodama analize troškova i koristi. Kombiniranjem ovih dviju metoda prevladavaju se njihovi nedostaci te se koriste prednosti oba pristupa u slučaju jednog problema. U radu [21] se predlažu dvije varijante kreiranja zajedničkog modela:

- 1) primjena metoda analize troškova i koristi uz određivanje posljedica metodama višekriterijske analize
- 2) primjena metoda višekriterijske analize za određivanje šireg spektra mogućih rješenja uz procjenu javnih troškova i dobiti metodama analize troškova i koristi.

Za pomoć pri donošenju odluka u planiranju urbane infrastrukture moguća je kombinacija višekriterijske analize s raznim GIS⁴ tehnologijama. Prednost ovakve kombinacije je vizualizacija pojedinih varijanata, pogotovo u slučaju nestručne javnosti kao interesne skupine. [16]

Faza projektiranja prometne infrastrukture okarakterizirana je unaprijed određenim elementima koji su definirani prostornim planovima što bitno sužuje broj varijanti. Prema [16], navedeno predstavlja vjerojatan razlog rjeđeg korištenja višekriterijske analize u projektiranju prometnih objekata i sustava, pri čemu su analizirana dva rada. Problematika prvog rada je vezana uz odabir tipa garažno parkirnog objekta na unaprijed odabranoj lokaciji, te je korištena AHP metoda. Drugi rad opisuje mogućnosti primjene metoda višekriterijske analize u odabiru projektnih rješenja na razini prometno-projektnog planiranja te se uz AHP metodu još predlaže primjena metoda PROMETHEE i ELECTRE. Iako postoje slučajevi korištenja metoda višekriterijske analize u ovoj fazi, usporedba projektnih rješenja najčešće se provodi pomoću cost-benefit analiza. [16]

⁴ Geografsko informacijski sustav koji služi za upravljanje prostornim podacima i njihovim osobinama. U užem smislu predstavlja računalni softver koji integrira, pohranjuje, analizira i prikazuje geografske informacije.

3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA ČVORA

Analizom postojećeg stanja obuhvaćeni su elementi koji su bitni za odvijanje prometa na raskrižju i njegovoj okolini. Ova analiza se provodi u svrhu dobivanja uvida u postojeće stanje te isticanja trenutnih nedostataka, a na temelju toga pristupa se daljnjem rješavanju problema.

U radu se analiza postojećeg stanja sastoji od:

1. Opisa i značenja čvora u prometnoj mreži
2. Analize prometnog opterećenja čvora
3. Analize brzine vozila u području čvora
4. Analize preglednosti u području čvora
5. Analize prometnih nesreća.

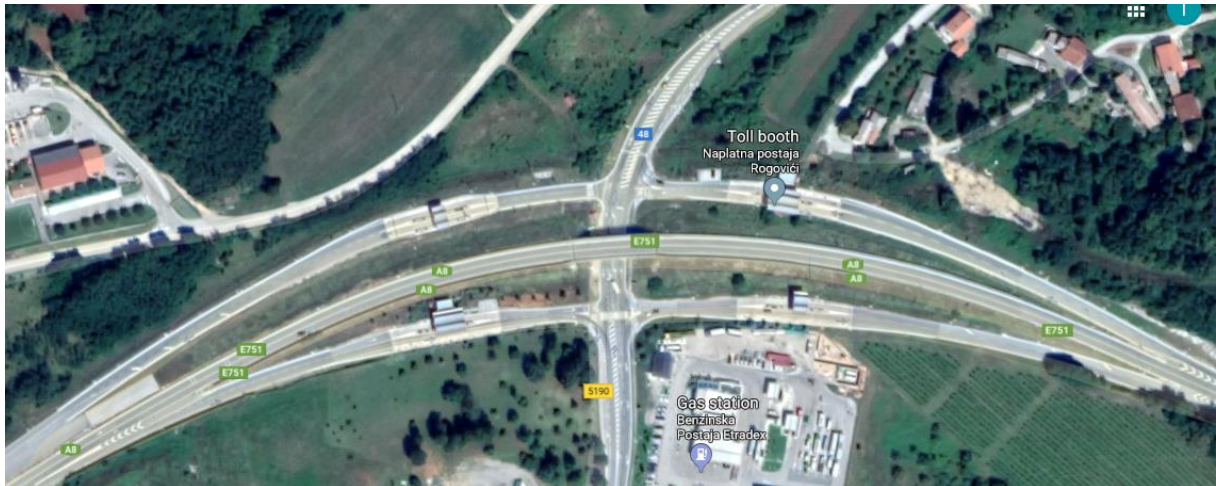
3.1 Opis i značenje čvora u mreži

Trenutno aktualna tema u Istarskoj županiji je završetak izgradnje punog profila na dionici Pazin (čvor Rogovići) – Tunel Učka, odnosno na dijelu tzv. Istarskog ipsilona. Istarski ipsilon (*slika 27*) je cestovna infrastruktura ukupne dužine 141 km koja spaja grad Pulu s gradovima Umagom i Rijekom. Ova cestovna prometnica je od izrazite važnosti za gospodarstvo i turizam istarske županije, što potvrđuju brojke od 10 milijuna prolaza vozila na godišnjoj razini i 60 000 vozila dnevno za vrijeme trajanja ljetne sezone.



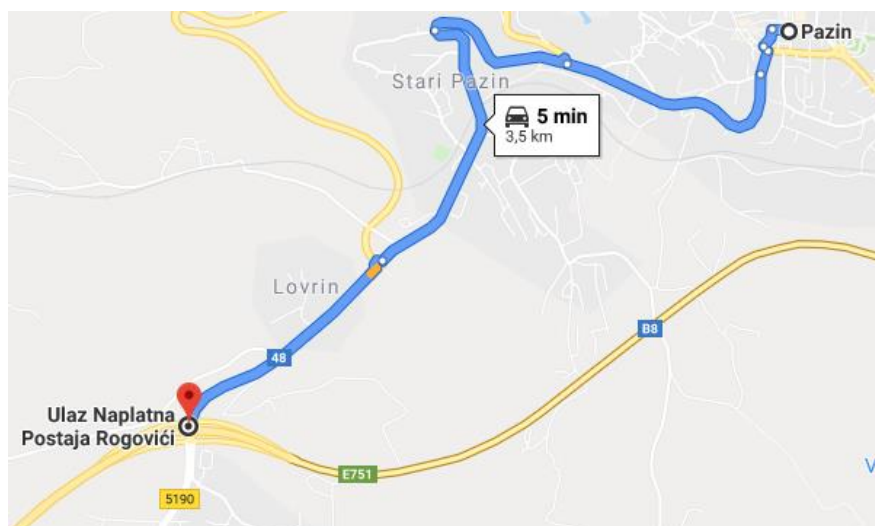
Slika 27: Prikaz Istarskog ipsilona lijevo te prikaz faze trenutne izgradnje desno [31]

Autocesta A8 započinje u čvoru Kanfanar gdje se odvaja od autoceste A9 (Pula-Umag) te prolaskom kroz središnju Istru završava u čvoru Matulji. Autocesta je građena u više etapa, pa je tako dionica Rogovići – Cerovlje puštena u promet 1998., a Kanfanar – Rogovići 1999. godine. Čvor Rogovići (izlaz Pazin-zapad) se nalazi na križanju autoceste A8 (smjer istok-zapad) s državnom cestom D48 (sjeverni privoz) i županijskom cestom Ž5190 (južni privoz). Raskrižje predstavlja kombinaciju rješenja u i izvan razine oblikovno izvedeno kao tip „dijamant“ (slika 28).

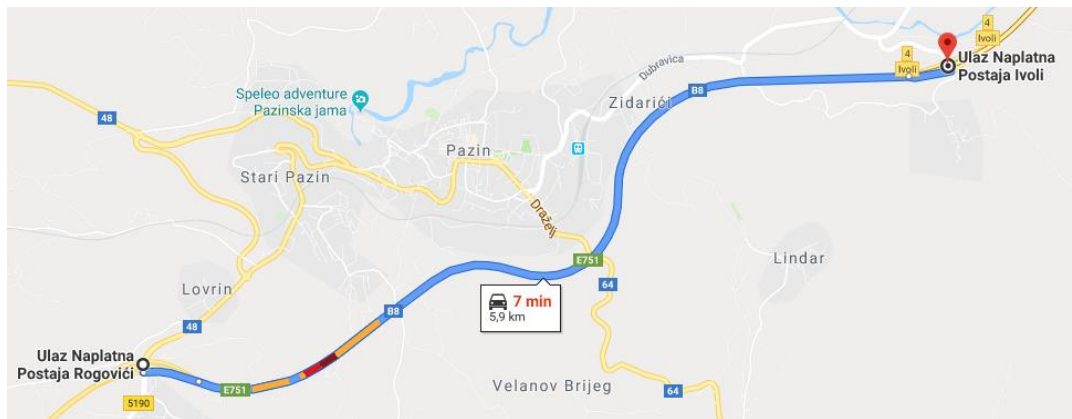


Slika 28: Situacija raskrižja Rogovići [32]

Promatrani čvor se nalazi nedaleko od grada Pazina (slika 29). U njegovoj blizini smješten je i čvor Ivoli (izlaz Pazin-istok) čija je lokacija prikazana na slici 30.



Slika 29: Položaj čvora Rogovići u odnosu na grad Pazin [32]

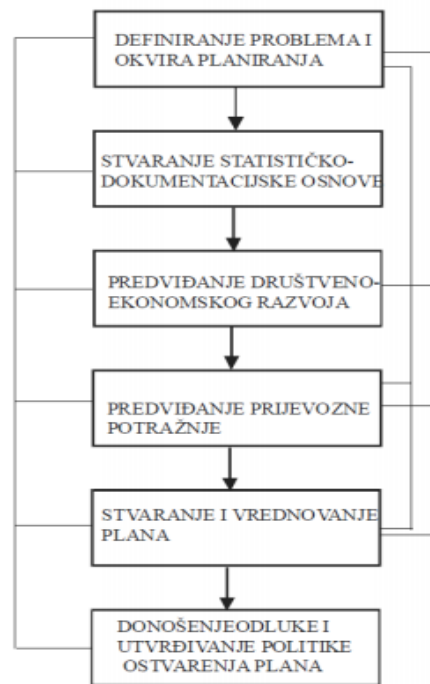


Slika 30: Križanja autoceste A8 s državnim cestama na području grada Pazina [32]

Budući da je Istarski ipsilon jedina autocesta u Istarskoj županiji, koja povezuje ovo područje s ostatkom Hrvatske te da je grad Pazin administrativno središte županije, čvor Rogovići predstavlja značajno raskrižje u cestovnoj mreži šireg područja. Pazin je geografski smješten u središtu istarskog poluotoka, pa se većina privučenih ili tranzitnih putovanja iz područja južne ili zapadne Istre odvija preko ovog čvora. Također, većina putovanja čije je odredište u spomenutim područjima, a generirana su u gradu Pazinu, sjeverno ili istočno od njega, prolaze ovim čvorom. Posljednjih godina, Pazin se razvija kao tranzitno turističko odredište u kojem posjetitelji borave prije dolaska u obalne gradove, što pridonosi dodatnom prometu na ovom čvoru.

3.2 Prometno opterećenje čvora

Stvaranje statističko-dokumentacijske osnove je jedan od koraka algoritma prostorno-prometnog planiranja (slika 31) u kojem se, između ostalog, prikupljaju i podaci o prometnom kretanju.



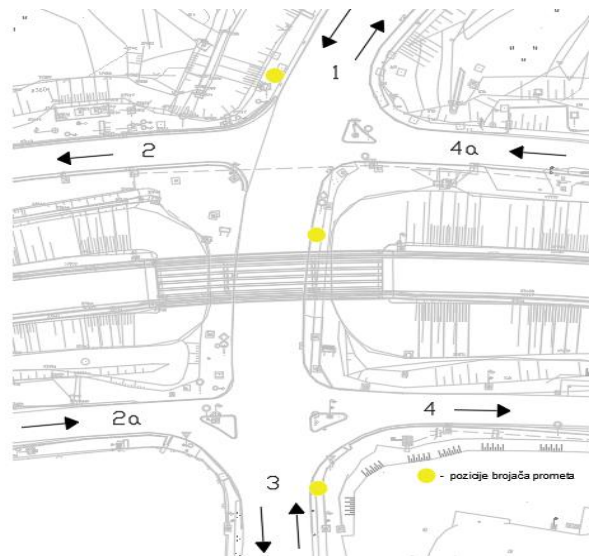
Slika 31: Algoritam prostorno-prometnog planiranja [33]

Brojanje prometa predstavlja osnovu prometnog planiranja koja služi za dobivanje uvida u intenzitet i strukturu prometnog toka. Provođi se prilikom prikupljanja podataka o prometnom kretanju u svrhe prometnog i urbanističkog planiranja te dogradnje ili rekonstrukcije prometne mreže ili njenog dijela. Razlikujemo dvije metode brojanja prometa: [33]

1. Statičko- koristi se za brojanje prometa na nekom presjeku ili raskrižju te ima mogućnost brojanja vozila, pješaka i biciklista. Brojanje se može provesti automatski (kontinuirano ili u određenom vremenu) ili ručno.
2. Dinamičko- brojanje se ne provodi samo za jednu točku u mreži, već se želi utvrditi izvor i cilj prometnih tokova. Metode ove vrste brojanja prometa su: mjerenje na čvornim točkama, bilježenje registarskih oznaka vozila, obilježavanje listićima, anketiranje kućanstva, korištenje GPS sustava, itd.

Uzimajući u obzir da se rad bavi izborom jedne od varijanata rekonstrukcije postojećeg raskrižja, provedeno je statičko brojanje prometa. Brojanje prometa je provedeno ručnim i automatskim načinom.

Ručno brojanje prometa provodi se za kraće vremensko razdoblje u određeno vrijeme i to uglavnom za vrijeme jutarnjeg ili popodnevnog vršnog sata. Ručno brojanje je provedeno na dan 27. ožujka 2019. godine za vrijeme jutarnjeg vršnog sata, točnije od 6:45 do 7:45, a u brojanju su sudjelovale tri osobe. Za bolje razumijevanje *tablice 9* u nastavku, na *slici 32* dan je prikaz oznaka raskrižja, dopuštenih smjerova kretanja i pozicije osoba koje su provodile ručno brojanje prometa. Za vrijeme brojanja, odvijanje prometa bilo je uredno, bez zastoja i prometnih nesreća te uz povoljne vremenske uvjete.



Slika 32: Prikaz dopuštenih smjerova kretanja i pozicije brojača prometa

Prometno opterećenje dobiveno brojanjem u vršnom satu prikazano je u *tablici 9*. Broj pojedinih kategorija vozila izražava se jedinicom [PAJ/h]. PAJ (prosječna auto-jedinica) se koristi za pretvorbu nehomogenog u homogeni prometni tok, odnosno za svođenje različitih kategorija vozila na istu vrijednost.

Tablica 9: Rezultati ručnog brojanja prometa u jutarnjem vršnom satu

IZ PRIVOZ A	U PRIVO Z	OSOBN O VOZILO	BUS	TERETN O VOZILO	MOTOCIK L	UKUPN O [voz/h]	UKUPN O [PAJ/h]
1	3	210	1	44	0	255	278
	2	30	0	9	0	39	44
	4	32	0	14	0	46	53
3	1	274	3	41	0	318	342
	2	5	0	2	0	7	8
	4	37	1	11	0	49	56
2a	1	10	0	0	0	10	10
	3	17	1	6	0	24	28
4a	1	35	0	16	0	51	59
	3	17	0	27	0	44	58
SUMA						843	934

Uređaji za automatsko brojanje prometa postavljaju se uz sam kolnik na stupove javne rasvjete ili vertikalne signalizacije te se njima broji promet u dužem vremenskom periodu. U ovom slučaju brojači su postavljeni na stupove vertikalne signalizacije. Iz slike 32 vidljivo je da se predmetno raskrižje sastoji od ukupno šest privoza i odvoza. Automatsko brojanje na glavnom pravcu (smjer 1-3) provedeno je u razdoblju od 20-24. ožujka., a na sporednim privozima od 27-31. ožujka 2019. godine. Na taj način su prikupljeni podaci o prometnom opterećenju radnim danom i vikendom. Pozicije automatskih brojača prometa prikazane su na slici 33.



Slika 33: Pozicije automatskih brojača prometa

Postavljanjem automatskih brojača moglo se utvrditi je li ručno brojanje prometa u pretpostavljenom vršnom satu mjerodavno, odnosno pojavljuje li se u nekom drugom vremenu značajno veće prometno opterećenje. U *tablici 10* su prikazane vrijednosti ručnog brojanja na privozima i maksimalne vrijednosti automatskog brojanja prometa. Iz tablice je vidljivo kako su kod većine privoza značajna odstupanja te je potrebno korigirati ulazne podatke za proračun razina uslužnosti novih rješenja.

Tablica 10: Vrijednosti i razlika između ručnog i automatskog brojanja prometa

<i>Način brojanja Privoz/odvoz</i>	<i>Ručni (voz/h)</i>	<i>Automatski (voz/h)</i>	<i>Razlika (%)</i>
<i>1</i>	340	450	24 %
<i>3</i>	374	376	0,1 %
<i>2</i>	46	91	49 %
<i>2a</i>	95	107	11 %
<i>4</i>	95	155	39 %
<i>4a</i>	34	57	40 %

Za potrebe analize prometnog opterećenja promatralo se cjelodnevno, dnevno⁵ i noćno⁶ prometno opterećenje te intenzitet i trajanje jutarnjeg odnosno popodnevnog vršnog sata. Na temelju dostupnih podataka provedena je analiza svih privoza te je u nastavku prikazan zaključak:

- jače je prometno opterećenje preko tjedna, dok se za vikend ono smanjuje (oko 20% na glavnom smjeru te između 30-50% na sporednim pravicima)
- na svim je privozima (osim privoza 1) radnim danom najveće opterećenje bilo u petak, a vikendom u subotu (osim privoza 4a)
- preko 90% na svim privozima čini dnevno opterećenje (iznimka je privoz 2 u čijem je slučaju analizom vikenda utvrđeno 84%)

⁵ Broj vozila koja su prošla određenim presjekom prometnice u vremenu od 06:00 do 22:00 h

⁶ Broj vozila koja su prošla određenim presjekom prometnice u vremenu od 00:00 do 06:00 h

- na glavnom pravcu udio osobnih vozila varira između 80 i 95%, a na sporednim pravcima između 65 i 75% (osim privoza 4a gdje je analizirana nedjelja kao mjerodavni dan vikendom pa je udio osobnih vozila 95%)
- jutarnji vršni sat se na glavnom pravcu očekuje između 7 i 9 sati, a popodnevni između 15 i 17 h radnim danom, dok je vikendom JVS pomaknut kasnije, a PVS ranije
- nema korelacije između vršnih sati sporednih privoza, jedino se na temelju dostupnih podataka može zaključiti da silazne rampe (privozi 2a i 4a) imaju veće prometno opterećenje u popodnevним satima.

3.3 Brzine vozila u području čvora

Osim određivanja strukture i intenziteta prometnog toka, automatskim je brojačima moguće odrediti brzine prolaska vozila. Dostupni su podaci o minimalnoj (v_{\min}) i maksimalnoj (v_{\max}) brzini, prosječnoj (v_{avg}) brzini te v_{15}^7 , v_{50} i v_{85} . Mjerodavna za analizu je v_{85} , a podrazumijeva brzinu ispod koje određenim presjekom vozi 85% vozača. U odnosu na prosječnu brzinu v_{avg} , korištenjem v_{85} pri analizi eliminiraju se ekstremi, odnosno maksimalne i minimalne brzine.

Sporedni privozi čvora Rogovići su uzlazno-silazne rampe autoceste na kojima se nalaze objekti za naplatu cestarine (slika 34) što onemogućuje razvijanje velikih brzina. Što se tiče brzine kao faktora sigurnosti u ovom slučaju su mjerodavne one na glavnom pravcu.



Slika 34: Slika privoza 4a (lijevo) i 2a (desno) na raskrižju Rogovići [32]

⁷ Predstavlja brzinu ispod koje određenim presjekom vozi 15 % vozača. Na isti se način mjeri v_{50} samo što predstavlja brzinu ispod koje određenim presjekom vozi 50 % vozača.

U *tablici 11* prikazane su brzine na privozu 1 za dane s najvećim intenzitetom prometa koji su prethodno analizirani u poglavlju 3.2. Brzina V_{85} iznosi 84 km/h što predstavlja prekoračenje od 34 km/h, a preko 91% prolaza bilježi brzinu veću od dopuštene (50 km/h). To se samo djelomično može pripisati tome da je brojač na privozu 1 postavljen na većoj udaljenosti od raskrižja (*slika 33*) nego ostali brojači jer je analizom brzine na privozu 3 uočeno da u užem području raskrižja ne dolazi do njezinog znatnog smanjenja. U odnosu brzina između radnog dana i vikenda razlike su minimalne.

Tablica 11: Analiza brzine na privozu 1 za četvrtak 21. ožujka i subotu 23. ožujka

SMJER	PETAK					SUBOTA				
	V_{\min}	V_{\max}	V_{avg}	V_{85}	$V_{\text{pr}} \%$	V_{\min}	V_{\max}	V_{avg}	V_{85}	$V_{\text{pr}} \%$
1-3	11	129	70	84	91,4	12	130	72	85	92,7
3-1	9	12	71	84	91,5	15	127	73	86	93,4

Na isti način u nastavku su prikazane brzine privoza 3 za koji su dostupni podaci isključivo za radni tjedan. Iako je brojač postavljen u uskom području raskrižja, brzina V_{85} iznosi 71 km/h u oba smjera, što je 21 km/h više od dopuštene brzine (50 km/h). Prekoračenja brzine su manja u odnosu na privoz 1. U smjeru kretanja prema raskrižju 71,3% vozača vozi iznad dopuštene brzine, a 65,2% u drugom smjeru.

Tablica 12: Analiza brzine na privozu 3 za petak 22. ožujka

SMJER	PETAK				
	V_{\min}	V_{\max}	V_{avg}	V_{85}	$V_{\text{pr}} \%$
3-1	14	108	58	71	71,3
1-3	13	118	55	71	65,2

Iako na promatranom raskrižju pješački tokovi nisu intenzivni, uzevši u obzir da se raskrižje nalazi u blizini naselja, oni postoje. Osim onih na rampama, u području raskrižja se nalaze i dva pješačka prijelaza na glavnom pravcu prikazana na *slici 35*. Žutom bojom je označena autobusna stanica koju najviše koriste djeca školskog uzrasta.



Slika 35: Prikaz pješačkih prijelaza (crveno) i autobusne stanice (žuto) u području raskrižja [32]

Krajem 2017. godine izveden je pješački nogostup koji se proteže od čvora Rogovići do centra grada Pazina čime je povećan intenzitet pješačkih tokova. Budući da pješaci, pored biciklista, spadaju u najranjivije sudionike u prometu te da su djeca školske dobi često slabije koncentrirana na odvijanje prometa, prikazane brzine predstavljaju veliku opasnost. Pri rekonstrukciji raskrižja potrebno je smanjiti brzine na glavnom pravcu provođenjem određenih mjera za smirivanje prometa.

3.4 Preglednost u području čvora

Na svakom je raskrižju mnogo konfliktnih točaka koje predstavljaju mogućnost sudara vozila. Ta se vjerojatnost, između ostalih faktora, može smanjiti i osiguravanjem potrebne preglednosti. Zaustavna preglednost osigurava vozilu koje se kreće računskom (ili dozvoljenom) brzinom mogućnost zaustavljanja prije nailaska na mjesto gdje se nalazi prepreka. Prema [7] zaustavnu je preglednost potrebno osigurati na svim dijelovima ceste, dok je na raskrižju zbog brojnih konfliktnih točaka potrebno osigurati veću duljinu preglednosti od one zaustavne. Potrebna preglednost povezana je s brzinom vozila, odnosno s udaljenošću koju vozilo prijeđe za vrijeme reagiranja i kočenja.

Proračun preglednosti provest će se u skladu s hrvatskim propisima, normom HRN U.C4.050. U spomenutoj normi prikazan je postupak proračuna za osiguravanje preglednosti na raskrižjima s obveznim zaustavljanjem (kontrola znakom *STOP*) i bez obveznog zaustavljanja (kontrola trokutom). Na promatranom raskrižju obje silazne rampe (privoz 2a i 4a) obzirom na

kontrolu raskrižja izvedene su na isti način (slika 36). Trakovi za lijevo i desno skretanje su razdijeljeni, pri čemu je lijevim skretačima obavezno zaustavljanje, dok desnima nije.



Slika 36: Pogled iz privoza 4a u smjeru glavnog pravca [34]

Izrazom (2) prikazan je postupak proračuna potrebne preglednosti u slučaju obveznog zaustavljanja (lijevi skretači) privoza 2a i 4a:

$$P_{g2a} = v_{85} * t_s = vg * \left(t_r + \sqrt{\frac{2D}{a_s}} \right) = 70 * \frac{1000}{3600} * \left(1,5 + \sqrt{\frac{2*26}{1,5}} \right) = 144 \text{ m} \quad (2)$$

$$D_{2a} = L_k + L_v = 6 + 20 = 26 \text{ m}$$

$$P_{g4a} = v_{85} * t_s = vg * \left(t_r + \sqrt{\frac{2D}{a_s}} \right) = 70 * \frac{1000}{3600} * \left(1,5 + \sqrt{\frac{2*27}{1,5}} \right) = 146 \text{ m} \quad (2)$$

$$D_{4a} = L_k + L_v = 6 + 21 = 27 \text{ m}$$

gdje je:

p_g – duljina preglednosti

v_{85} – brzina ispod koje prolazi 85% vozila na glavnom pravcu

t_s – vrijeme prolaza sporednog vozila raskrižjem

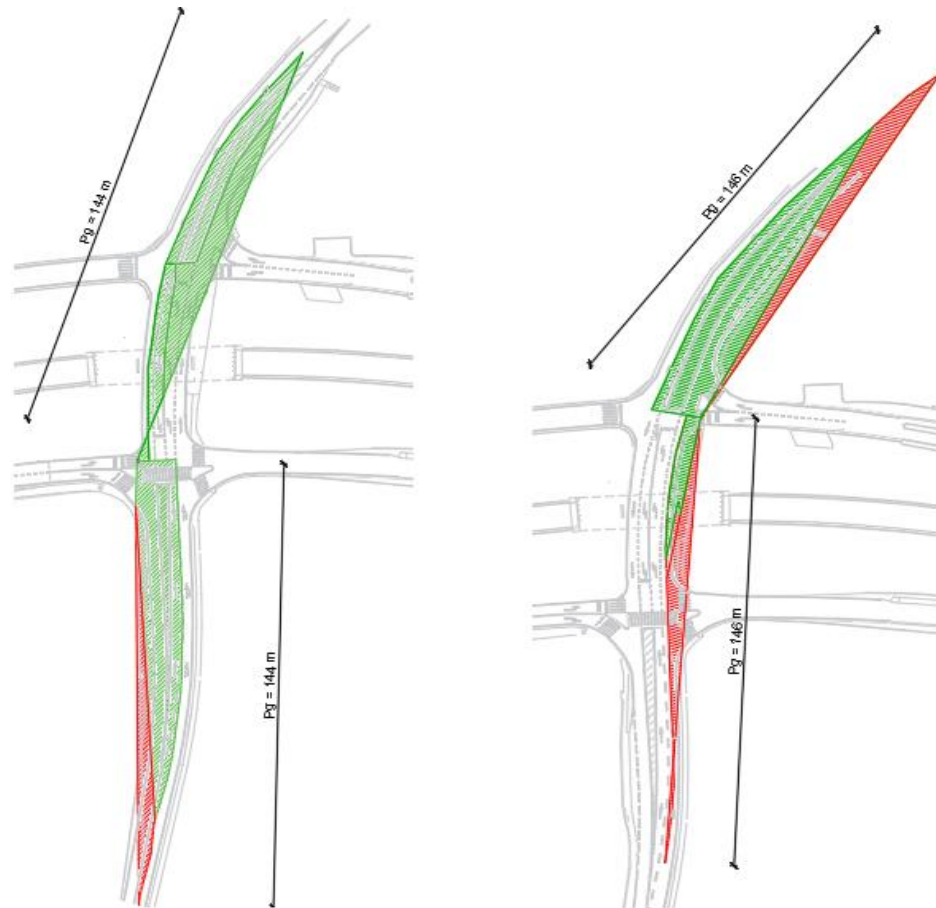
t_r – vrijeme reagiranja ($t_r = 1,5 \text{ s}$)

D – duljina prolaska vozila sa sporednog privoza raskrižjem

L_k – duljina prijelaza vozila preko zone raskrižja

L_v – duljina vozila

a_s – pretpostavljeno jednoliko ubrzanje ($a_s = 1,5 \text{ m/s}^2$)



Slika 37: Potrebna preglednost u slučaju obveznog zaustavljanja na privozima 2a (lijevo) i 4a (desno)

Potrebna preglednost prikazana je tako da su zelenom bojom označeni osigurani dijelovi preglednosti, a crvenom dijelovi preglednosti koja nije osigurana sa zaustavne linije. Iz slike je vidljivo da niti na jednom od spomenutih privoza nije osigurana dovoljna preglednost. Problem je posebice izražen u slučaju privoza 4a gdje su zbog nasipa i stupa nadvožnjaka uvjeti preglednosti vrlo loši.

Izrazima (3) i (4) u nastavku proračunata je potrebna preglednost u slučaju kontrole raskrižja bez obveznog zaustavljanja, odnosno za desne skretače privoza 2a i 4a.

$$P_{g2a} > \frac{v_g}{v_s} * \left(v_s * t_r + \frac{v_s^2}{2g * f_t} + L_k + L_v \right) = \frac{19,44}{8,33} * \left(8,33 * 1,5 + \frac{8,33^2}{2 * 9,81 * 0,354} + 24 + 6 \right) \quad (3)$$

$$p_{g2a} > 122 \text{ m}$$

$$P_{s2a} = v_s * t_r + \frac{v_s^2}{2g * \left(f_t \pm \frac{i}{100} \right)} = 30 * \frac{1000}{3600} + \frac{8,33^2}{2 * 9,81 * \left(0,354 - \frac{2}{100} \right)} = 23 \text{ m} \quad (4)$$

$$P_{g4a} > \frac{v_g}{v_s} * \left(v_s * t_r + \frac{v_s^2}{2g * f_t} + L_k + L_v \right) = \frac{19,44}{8,33} * \left(8,33 * 1,5 + \frac{8,33^2}{2 * 9,81 * 0,354} + 19,5 + 6 \right) \quad (3)$$

$$p_{g2a} > 112 \text{ m}$$

$$P_{s4a} = v_s * t_r + \frac{v_s^2}{2g * \left(f_t \pm \frac{i}{100} \right)} = 30 * \frac{1000}{3600} + \frac{8,33^2}{2 * 9,81 * \left(0,354 - \frac{2}{100} \right)} = 23 \text{ m} \quad (4)$$



Slika 38: Preglednost na privozima 2a i 4a u slučaju kontrole raskrižja bez obveznog zaustavljanja

Na gornjoj slici su prikazane preglednosti za desne skretače u čijem slučaju mora biti osigurana veća preglednost sa sporednog smjera. Zbog već spomenutog nasipa i stupova nadvožnjaka razina potrebne preglednosti nije osigurana, već je dodatno degradirana u odnosu na lijeve skretače prikazane na *slici 37*.

3.5 Prometne nesreće

Analiza prometnih nesreća provedena je za razdoblje u trajanju od 5 godina (1.siječnja 2014. - 31. prosinca 2018. godine). Podaci su dobiveni iz PP⁸ Pazin što znači da se u *tablici 13* nalaze samo slučajevi kada su na teren izlazili policijski službenici. Može se pretpostaviti da se dogodilo još lakših prometnih nesreća u kojima nije bilo ozlijeđenih ili veće materijalne štete, pa samim time nije bilo potrebe za obavještanjem nadležnih službi.

Tablica 13: Prometne nesreće na čvoru Rogovići u razdoblju od 2014.-2018. godine [34]

<i>GODINA</i>	<i>TEŽINA PROMETNE NESREĆE</i>	<i>VRSTA PROMETNE NESREĆE</i>	<i>GREŠKA PROMETNE NESREĆE</i>	<i>UZROK PROMETNE NESREĆE</i>
<i>2014.</i>	/			
<i>2015.</i>	1 lako ozlijeđena osoba	bočni sudar vozila	nepoštivanje prednosti prolaska	utjecaj alkohola u koncentraciji 0,84 g/kg
<i>2016.</i>	/			
<i>2017.</i>	/			
<i>2018.</i>	materijalna šteta	bočni sudar vozila	nepoštivanje prednosti prolaska	/

⁸ Policijska postaja

4. PRIJEDLOG VARIJANTI NOVOG RJEŠENJA ČVORA

U ovom poglavlju prikazane su varijante novog rješenja čvora Rogovići. Pri rekonstrukciji raskrižja potrebno je uz zadovoljavanje prethodno spomenutih kriterija (sigurnost i kvaliteta odvijanja prometa, utjecaj na okoliš te ekonomičnost rješenja) i analizu problema postojećeg stanja također uzeti u obzir prognozu prometnog opterećenja na kraju projektnog perioda. Cilj predviđanja prometa je prognoziranje vrijednosti o ukupnoj veličini, sastavu i načinu prijevoza ljudi i robe u promatranom razdoblju. Za potrebe ovog diplomskog rada primijenit će se modeli faktora godišnjeg rasta prometnog opterećenja. Temeljna postavka modela je sadašnja kretanja projicirati na buduće razdoblje primjenom očekivane stope rasta. [33]

Prema Prostornom planu uređenja grada Pazina, u neposrednoj blizini raskrižja Rogovići predviđena je izgradnja državne ceste D 64 (Pazin-Podpićan-Vozilići) koja će doprinijeti povećanju prometnog opterećenja. S obzirom na navedeno, predviđa se faktor rasta prometa od 2% na godišnjoj razini. Korigiranjem podataka dobivenih ručnim brojanjem i njihovim uvećavanjem za faktor rasta dobiveno je planirano prometno opterećenje na kraju projektnog razdoblja u trajanju od 10 godina.

Tablica 14: Prometno opterećenje na kraju projektnog razdoblja

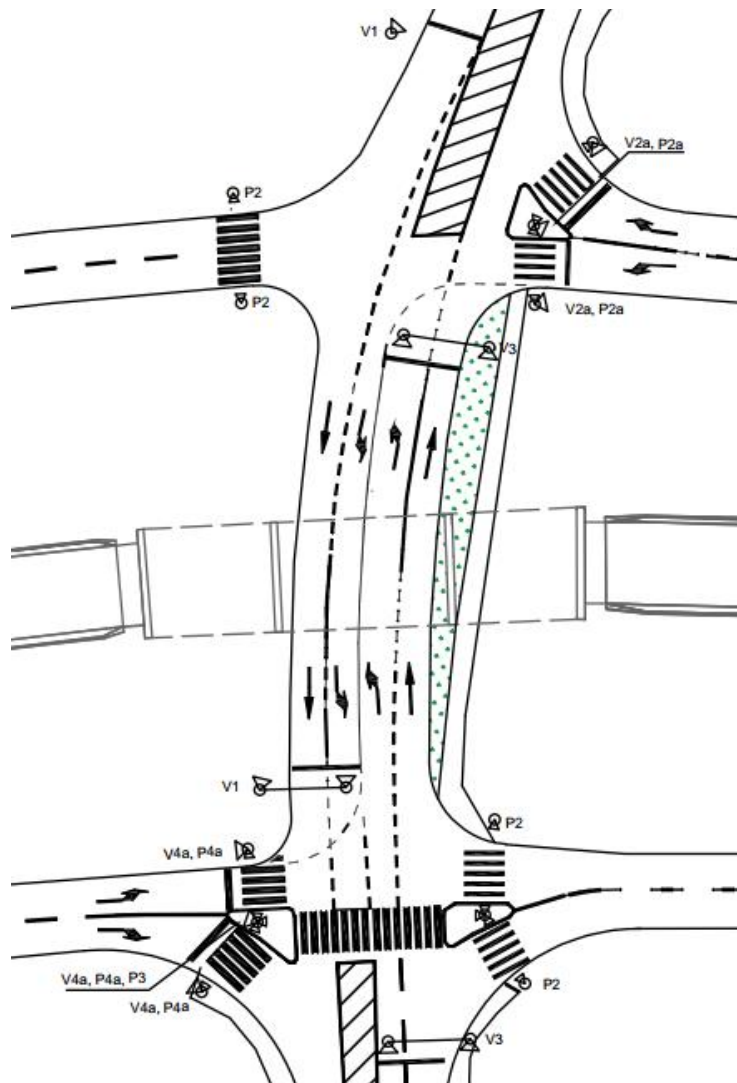
<i>IZ PRIVOZA</i>	<i>U PRIVUZ</i>	<i>UKUPNO [voz/h]</i>	<i>UKUPNO SADAŠNJE [PAJ/h]</i>	<i>UKUPNO BUDUĆE [PAJ/h]</i>
<i>1</i>	3	360	393	478
	2	39	44	53
	4	51	58	70
<i>3</i>	1	320	344	416
	2	7	9	10
	4	49	56	68
<i>2a</i>	1	49	56	68
	3	40	52	63
<i>4a</i>	1	58	68	82
	3	49	94	77
<i>SUMA</i>		990	1101	1342

U nastavku rada zasebno su opisane i grafički prikazane tri varijante rekonstrukcije:

- varijanta 1 - semaforizacija postojećeg čvora
- varijanta 2 - dva kružna raskrižja
- varijanta 3 - veliko kružno raskrižje

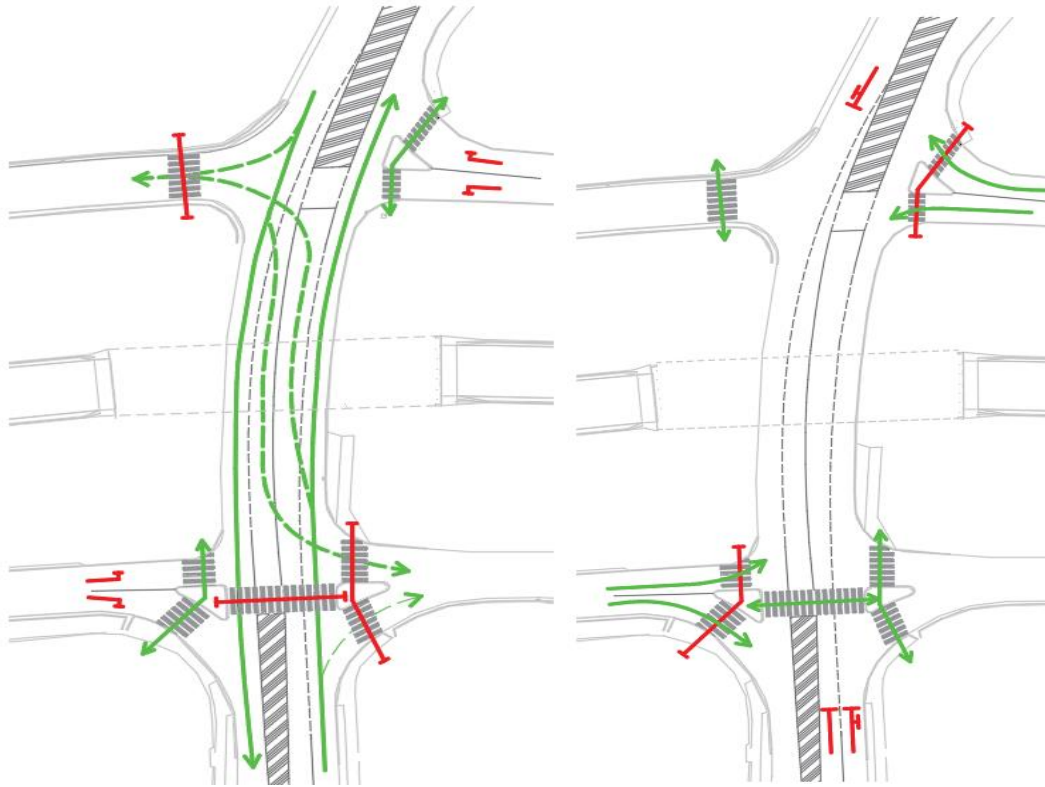
4.1 Varijanta 1 – semaforizacija postojećeg čvora

Uzevši u obzir velike brzine i prometno opterećenje na glavnom pravcu te slabu preglednost na sporednim privozima, za prvu varijantu rekonstrukcije predložena je semaforizacija postojećeg čvora. U ovom slučaju geometrija raskrižja ostaje nepromijenjena, a kretanje prometnih tokova regulira se pomoću svjetlosnih prometnih signala.



Slika 39: Varijanta 1

Semaforizacija se provodi tako da se pretpostavi plan faza semafora u prostoru. Na temelju njega se odredi mjerodavni ciklus semafora, kao i zeleno svjetlo svake faze semafora koristeći metodu po Websteru.



Slika 40: Plan faza semafora u prostoru (1. faza lijevo, 2. faza desno)

Koeficijent iskorištenja se računa za svaki privoz posebno prema izrazu (5), a mjerodavan unutar pojedine faze je onaj koji ima najveću vrijednost. Koeficijent iskorištenja raskrižja dobiva se zbrajanjem mjerodavnih koeficijenata iskorištenja privoza svih faza. Slijedi proračun ciklusa semafora (6) nakon čega se izračunavaju zelena svjetla za svaku fazu. U nastavku je prikazan postupak proračuna ciklusa i zelenih vremena po Websteru pri čemu je:

Q, q – prometno opterećenje

C – minimalni ciklus semafora

B – ukupna širina privoza

L – ukupno izgubljeno vrijeme u ciklusu

S – zasićeni tok u ovisnosti o širini privoza

\emptyset - broj faza u ciklusu

y – koeficijent iskorištenja privoza

l – izgubljeno vrijeme u svakoj fazi

Y – koeficijent iskorištenja raskrižja

R – suma svecrvenih vremena

1. faza

Privoz 1 – ravno + desno

$$Q_r = 478 \text{ PAJ}$$

$$Q_d = 53 \text{ PAJ}$$

$$Q_l = 70 \text{ PAJ}$$

$$q_{1-2/3} = 339 + 53 + 65 \text{ PAJ} = 601 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,7 \text{ m}$$

$$S = 1998 \text{ PAJ}$$

$$y_{1-2/3} = \frac{q_{1-2/3}}{S} = \frac{601}{1998} = 0,30 \quad (5)$$

Privoz 1 – lijevo

$$q_{1-4} = Q_l = 70 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,4 \text{ m}$$

$$S = 1879 \text{ PAJ}$$

$$y_{1-4} = \frac{q_{1-4}}{S} = \frac{70}{1879} = 0,04$$

Privoz 3 – ravno + desno

$$Q_r = 419 \text{ PAJ}$$

$$Q_d = 68 \text{ PAJ}$$

$$Q_l = 10 \text{ PAJ}$$

$$q_{3-1/4} = 416 + 68 + 10 \text{ PAJ} = 497 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,5 * 2 = 7 \text{ m}$$

$$S = 3675 \text{ PAJ}$$

$$y_{3-1/4} = \frac{q_{3-1/4}}{S} = \frac{497}{3675} = 0,14$$

Privoz 3 – lijevo

$$q_{3-2} = Q_l = 10 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,4 \text{ m}$$

$$S = 1879 \text{ PAJ}$$

$$y_{3-2} = \frac{q_{3-2}}{S} = \frac{10}{1879} = 0,01$$

2. faza

Privoz 2a – desno

$$q_{2a-3} = Q_d = 63 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,6 \text{ m}$$

$$S = 1943 \text{ PAJ}$$

$$y_{2a-3} = \frac{q_{2a-3}}{S} = \frac{63}{1943} = 0,03$$

Privoz 2a – lijevo

$$q_{2a-1} = Q_l = 21 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,6 \text{ m}$$

$$y_{2a-1} = \frac{q_{2a-1}}{S} = \frac{12}{1943} = 0,01$$

Privoz 4a – desno

$$q_{4a-1} = Q_d = 72 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,9 \text{ m}$$

$$S = 2098 \text{ PAJ}$$

$$y_{4a-1} = \frac{q_{4a-1}}{S} = \frac{77}{2098} = 0,04$$

Privoz 4a – lijevo

$$q_{4a-3} = Q_l = 70 \text{ PAJ}$$

$$B = 3,9 \text{ m}$$

$$S = 2098 \text{ PAJ}$$

$$y_{4a-3} = \frac{q_{4a-3}}{S} = \frac{82}{2098} = 0,04$$

$$y_I = 0,30$$

$$y_{II} = 0,04$$

$$Y = y_I + y_{II} = 0,30 + 0,04 = 0,34$$

$$C = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y} = \frac{1,5 \cdot 12 + 5}{1 - 0,34} = 34,8 \text{ s} \quad (6)$$

$$C_{odabrano} = 40 \text{ s}$$

Izračun zelenih svjetala po fazama dobiva se iz jednažbi (7) i (8):

$$z_1 + z_2 + L = C \quad (7) \quad z_1 = 33 \text{ s}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{y_I}{y_{II}} \quad (8) \quad z_2 = 5 \text{ s}$$

Iz sustava jednažbi dobivena su trajanja zelenih svjetala po fazama. Zbog velike razlike u prometnom opterećenju glavnog i sporednog privoza, velike su i razlike zelenih svjetala. Nakon dobivenih rezultata, potrebno je provjeriti pješачke tokove na raskrižju i korigirati zelena svjetla ukoliko je potrebno. Na slici 41 prikazan je plan faza semafora u vremenu gdje V označava vozila, a P pješake. Semafor na pješачkim prijelazima privoza 2,3 i 4 pali se istovremeno sa semaforom za vozila na privozima 2a i 4a. Duljina trajanja zelenog svjetla spomenutih pješачkih prijelaza ovisi o duljini prijelaza. U nastavku je izrazom (9) prikazana korelacija između duljine prijelaza i brzine pješaka:

$$V = 1 - 1,5 \frac{m}{s} \left(\text{odabrano } 1,3 \frac{m}{s} \right)$$

$$L_{max} = 14,2 \text{ m} - \text{odabire se najdulji pješачki prijelaz u fazi}$$

$$Z_{p2,3,4 \min} = \frac{14,2}{1,3} = 11 \text{ sec} \quad (9)$$

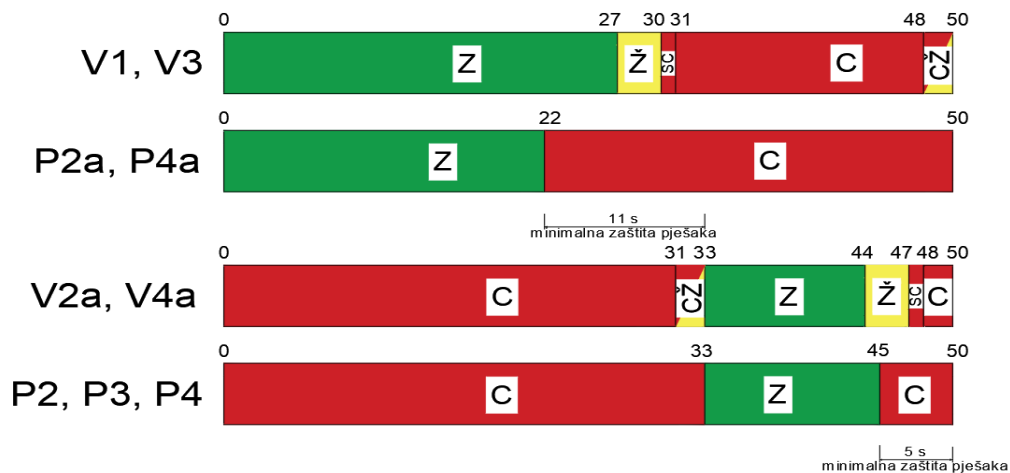
Semafor na pješačkim prijelazima privoza 2a i 4a pali se istovremeno sa semaforom za vozila na privozima 1 i 3. Najmanje trajanje potrebnog zelenog svjetla na pješačkom prijelazu iznosi:

$$L_{max} = 6,5 \text{ m}$$

$$Z_{p2a,p4a \min} = \frac{6,5}{1,3} = 5 \text{ sec}$$

$$Z_{p2a,p4a} = 22 \text{ sec} \quad (9)$$

Osim minimalnog vremena potrebnog za prijelaz preko pješačkih prijelaza, potrebno je osigurati i zaštitno vrijeme tako da pješaci koji stupaju na prijelaz neposredno prije paljenja crvenog svjetla mogu sigurno proći prije izmjene faze. Usklađivanjem svih navedenih parametara, određene su nove faze zelenih svjetala po fazama: $Z_1 = 27 \text{ s}$; $Z_2 = 11 \text{ s}$, a plan faza semafora u vremenu prikazan je u nastavku.

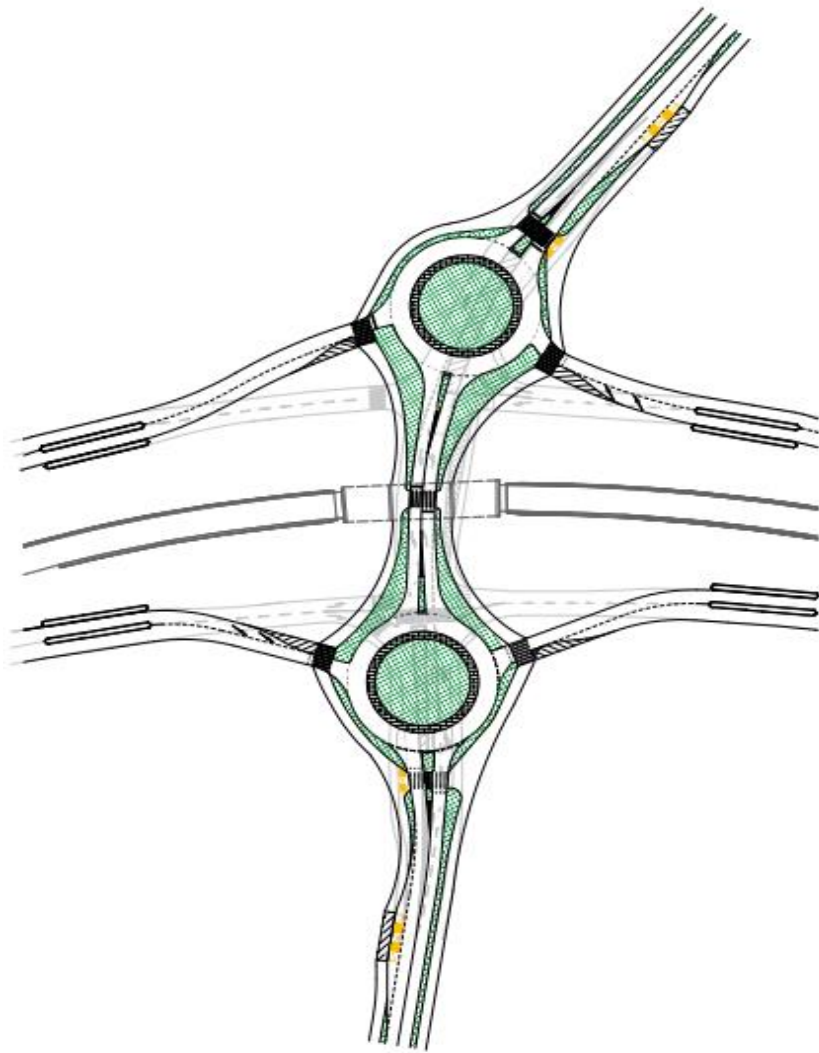


Slika 41: Plan faza semafora u vremenu

Situacijski nacrt varijante 1 prikazan je na kraju teksta kao *grafički prilog 1* u mjerilu M 1:1000.

4.2 Varijanta 2 – dva kružna raskrižja

Za drugu varijantu rekonstrukcije čvora Rogovići predložena su dva kružna umjesto klasičnih raskrižja u razini. Iako se kružna raskrižja ne preporučuju na mjestima gdje dominira jedan prometni tok, ona ovdje mogu služiti kao mjera smirivanja prometa. Prednosti izvođenja kružnih raskrižja u ovom slučaju su smanjenje brzine i povećanje preglednosti, a samim time i sigurnosti svih sudionika prometa na raskrižju. Zbog malog udjela lijevih skretača i nemotoriziranih sudionika, produžavanje ukupnog puta na raskrižju nije značajno. Projektiranje kružnih raskrižja provedeno je prema [8]. Budući da su ovim rješenjem predložena jednostručna kružna raskrižja, broj traka privoza na glavnom pravcu u području raskrižja se smanjuje s dva na jedan. Na *slici 42* prikazana je varijanta 2 gdje je blagom sivom bojom označeno postojeće stanje.



Slika 42: Varijanta 2

Osnovni elementi kružnog raskrižja su navedeni u nastavku:

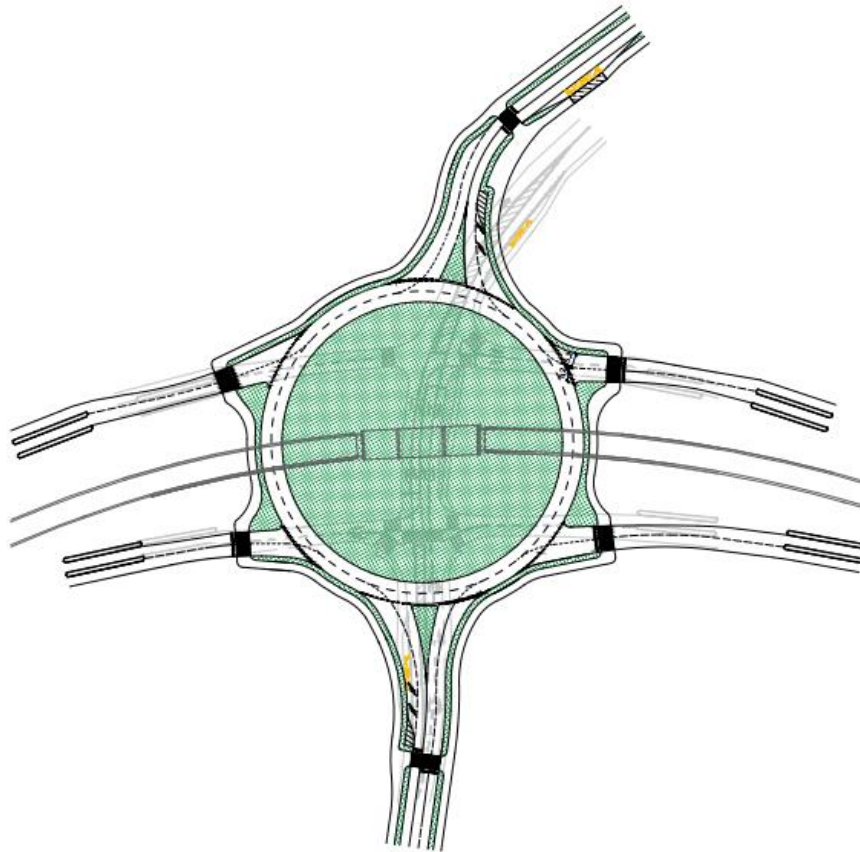
- vanjski radijus – 21 m
- radijus središnjeg otoka – 13,2 m
- širina kružnog kolnika – 5,5 m
- širina povoznog dijela središnjeg otoka – 2,3 m
- ulazni radijus – 15 m
- izlazni radijus – 17 m
- ulazni kut – 41-43 °
- širina ulaza – 5-6 m
- širina izlaza – 6-7 m
- duljina izdignutog dijela razdjelnog otoka – 11/15 m

Predložena kružna raskrižja se međusobno minimalno razlikuju u pojedinim elementima. Budući da se dopušteni smjerovi kretanja na raskrižju ne mijenjaju, predviđena su četverokraka kružna raskrižja, pri čemu su dva kraka raskrižja dvosmjerna, a dva jednosmjerna (privoz i odvoz). Središnji otok predviđa se kao zelena površina, dok je njegov povozni dio deniveliran s ciljem da taj dio kružnog raskrižja koriste vozila većih gabarita radi lakše provoznosti. Ulazni radijus je prema preporukama smjernica manji od izlaznog kako bi se na ulazu brzina smanjila, a na izlazu povećala s ciljem da vozila što prije napuste kružno raskrižje. Na privozima gdje postoji promet u oba smjera nalaze se trokutasti razdjelni otoci.

Konstruktivni početak površine za usmjeravanje prometa je na udaljenosti 25 m od vanjskog ruba kružnog kolnika. Razdjelni otoci su najveće širine 3,3 m, odnosno 1,9 m, a na mjestima pješačkih prijelaza osigurana je minimalna širina od 2 m. Udaljenost pješačkih prijelaza od vanjskog radijusa kružnog kolnika je 6 m. Između prometnih trakova i nogostupa predviđa se zaštitni zeleni pojas minimalne širine 1,5 m u čitavom području raskrižja. Ovim je rješenjem nogostup predviđen s obje strane raskrižja minimalne širine 3 m. Također je izmijenjena lokacija autobusnih stajališta čiji su elementi usklađeni s Pravilnikom o autobusnim stajalištima. Situacijski nacrt varijante 2 prikazan je kao *grafički prilog 2* u mjerilu M 1:1000.

4.3 Varijanta 3 – veliko kružno raskrižje

Trećom varijantom predloženo je veliko izvan urbano kružno raskrižje vanjskog radijusa 60 m čija je funkcija zamijeniti dva razmaknuta raskrižja. Prednosti ove varijante su veliki kapacitet raskrižja i veće brzine koje osigurava ovakva veličina vanjskog radijusa. Osim toga, zbog kraćeg čekanja na privozima smanjuje se emisija štetnih plinova i razina buke. Na *slici 43* prikazana je varijanta 3 gdje je blagom sivom bojom označeno postojeće stanje.



Slika 43: Varijanta 3

Osnovni elementi kružnog raskrižja prikazani su u nastavku:

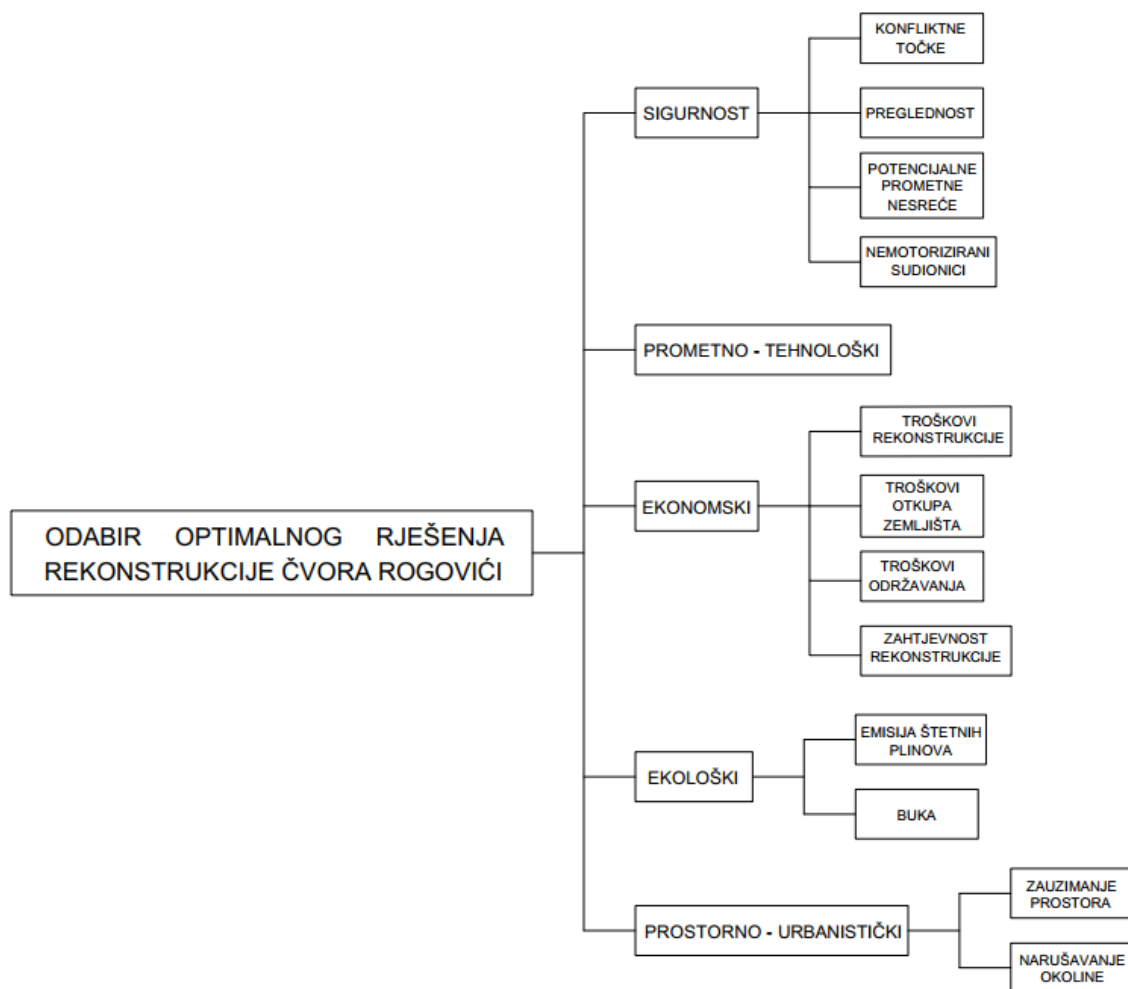
- vanjski radijus – 60 m
- radijus središnjeg otoka – 52 m
- širina kružnog kolnika – 8 m (širina prometnog traka 4 m)
- ulazni radijus – 22 m

- izlazni radijus – 25 m
- ulazni kut – 34-39 °
- širina ulaza – 5-6 m
- širina izlaza – 6-7 m
- duljina izdignutog dijela razdjelnog otoka – 25 m

Budući da se radi o dvotračnom kružnom raskrižju, predviđena su dva prometna traka na svim krakovima raskrižja. Dodatni prometni trak južnog privoza otvara se na trokrakom raskrižju u neposrednoj blizini promatranog čvora. Središnji otok predviđen je kao zelena površina bez povoznog dijela. Predviđeni su ljevkasti razdjelni otoci koji dopuštaju veće brzine vozila. Pješački prijelazi su izmaknuti u odnosu na prethodnu varijantu u cilju smanjenja duljine prijelaza i konfliktnih točaka s vozilima. Predviđena je pješačko-biciklistička staza s obje strane raskrižja, a zbog predviđenih većih brzina razdjelni pojas između pješaka i kolnika iznosi 2 m. Širina prometnih trakova iznosi 3,5 m na krakovima raskrižja i 4 m u kružnom kolniku. Lokacija autobusnih stajališta je izmijenjena i pomaknuta u šire područje raskrižja. Pri rekonstrukciji ovom varijantom potrebno je obaviti određene zahvate na nadvožnjaku te izmaknuti objekte za naplatu cestarine. U sklopu provođenja rekonstrukcije ovom varijantom, potrebno je sjeverni privoz uklopiti u postojeću prometnu mrežu u širem području raskrižja što nije predmet ovog rada. Situacijski nacrt varijante 3 prikazan je kao grafički prilog 3 u mjerilu M 1:1000.

5. VREDNOVANJE VARIJANTNIH RJEŠENJA PRIMJENOM AHP METODE

Moguće varijante rekonstrukcije čvora Rogovići prikazane u prethodnom poglavlju potrebno je vrednovati kako bi došli do optimalnog rješenja. Budući da svi od kriterija prikazanih u nastavku nisu kvantitativni, potreban nam je alat koji u obzir uzima i kvalitativne kriterije. U ovom radu korištena je AHP metoda kao pomoć pri odabiru najboljeg rješenja. Kako bi odabrali optimalno rješenje potrebno je najprije definirati hijerarhijsku strukturu, zatim rangirati kriterije i potkriterije nakon čega slijedi vrednovanje varijanti i analiza rezultata vrednovanja. Na *slici 44* prikazana je hijerarhijska struktura za model rekonstrukcije čvora Rogovići.

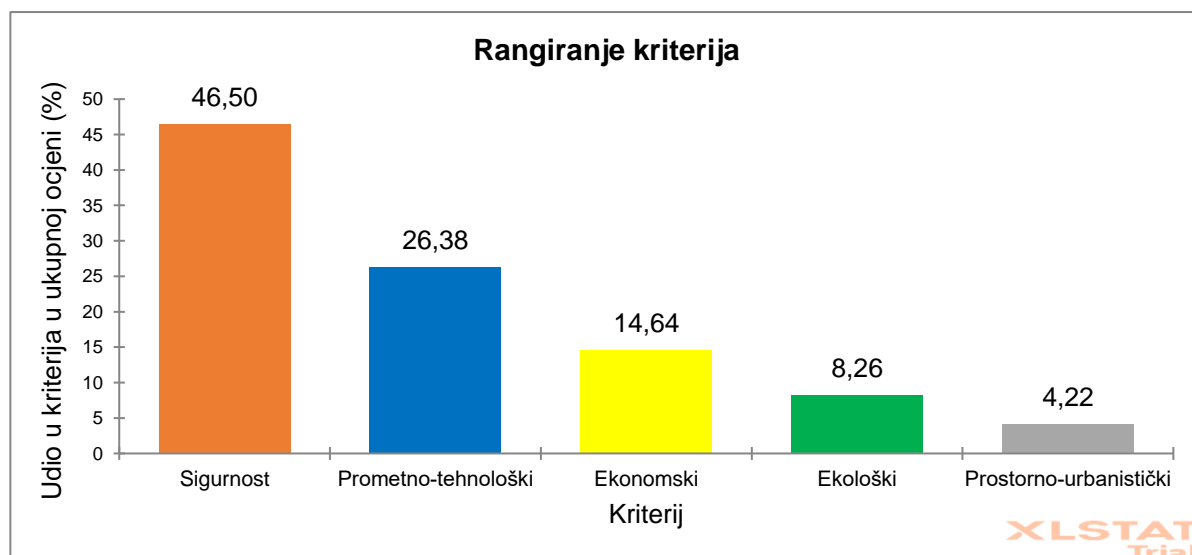


Slika 44: Hijerarhijska struktura modela

Prikazana struktura na *slici 44* sastoji se od pet kriterija i jedanaest potkriterija. U nastavku teksta objasniti će se svaki kriterij i potkriterij te njihova važnost i udio u cjelokupnoj analizi.

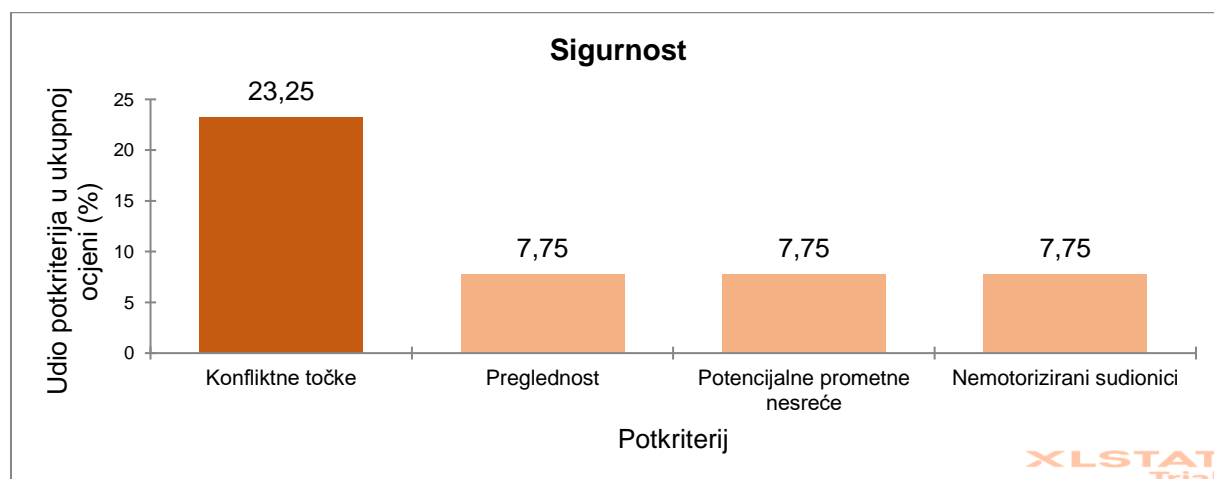
5.1 Rangiranje kriterija i potkriterija

Sljedeći korak u provođenju AHP metode je rangiranje kriterija i potkriterija. Provi se usporedbom kriterija odnosno potkriterija u parovima na temelju određivanja preferencije pomoću Saatyjeve skale (*tablica 7*). U nastavku će grafički i numerički biti prikazani relativni udjeli kriterija i potkriterija u ukupnoj ocjeni varijanti. Na *grafikonu 1* prikazane su relativne težine kriterija.



Grafikon 1: Rangiranje kriterija

Kao što je spomenuto na početku rada, kriterij sigurnost predstavlja osnovni kriterij koji mora biti zadovoljen pri projektiranju raskrižja. Ovom je kriteriju dodijeljena najveća važnost, odnosno 46,5%. U sklopu kriterija sigurnosti razmatrani su potkriteriji: konfliktne točke, preglednost, potencijalne prometne nesreće i sigurnost nemotoriziranih sudionika raskrižja. Relativne težine potkriterija prikazane su na *grafikonu 2*.



Grafikon 2: Rangiranje potkriterija sigurnosti

Konfliktne točke su mjesta smanjene prometne sigurnosti i mogućeg nastanka prometnih nesreća. Povećanjem broja konfliktnih točaka raste i vjerojatnost od nastanka prometne nesreće pa ovaj kriterij sudjeluje sa 23,3% ukupne ocjene. Uz broj konfliktnih točaka važan je i tip konflikta koji se pojavljuje na raskrižju. Potkriterij potencijalne prometne nesreće podrazumijeva težinu posljedica u slučaju eventualnih prometnih nesreća. Naime, za svaki tip raskrižja postoji veća vjerojatnost pojave određene vrste prometnih nesreća koje se razlikuju u posljedicama (frontalni, bočni, sudar u stražnji dio vozila, itd.). Udio ovog potkriterija iznosi 7,8% ukupne ocjene. Dovoljna preglednost na raskrižju osigurava vozačima pravovremenu reakciju na nepredvidive situacije u prometu te čini bitan element sigurnosti. Potkriteriju preglednost dodijeljena je relativna težina od 7,8%. Posljednji potkriterij u sklopu sigurnosti je sigurnost nemotoriziranih sudionika prometa koji se vrednuje na temelju broja njihovih konflikata s vozilima. Dodijeljena mu je težina od 7,8%.

Drugi po važnosti s 26,4% je prometno-tehnološki kriterij. U sklopu ovog kriterija određuje se kapacitet te uz njega nema drugih potkriterija. Određivanje kapaciteta provedeno je analitičkim softverom *SIDRA Intersection*. Unose se osnovni tehnički podaci koji opisuju vrstu raskrižja, podaci o planiranom prometnom opterećenju, geometrija raskrižja, udaljenost do susjednih raskrižja, podaci o pješačkim tokovima i sl.

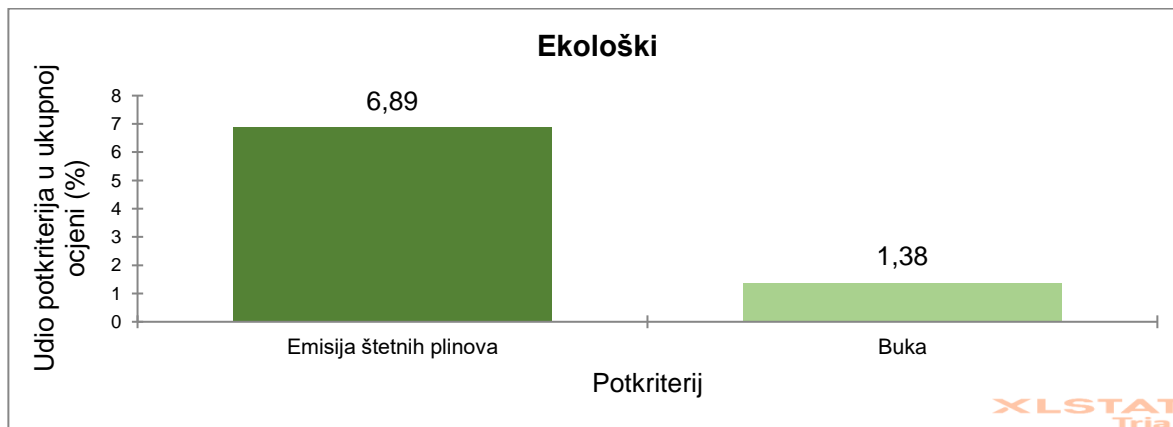
Ekonomskim kriterijem utvrđuje se isplativost određenog projekta, a dodijeljena mu je relativna težina od 14,6%. U sklopu ovog kriterija razmatraju se troškovi rekonstrukcije, otkupa zemljišta i održavanja te zahtjevnost rekonstrukcije. Relativne težine potkriterija prikazane su na *grafikonu 3*.



Grafikon 3: Rangiranje ekonomskih potkriterija

Troškovima rekonstrukcije i otkupa zemljišta dana je jednaka važnost pri formiranju ukupne ocjene pojedine varijante. Troškovi rekonstrukcije podrazumijevaju novčanu vrijednost koja mora biti utrošena za realizaciju pojedine varijante. Budući da se radi o većem iznosu u odnosu na troškove održavanja, ovi potkriteriji imaju udio od 6,1%. S druge strane, prilikom otkupa zemljišta postoji izgledna mogućnost nailaska na probleme uslijed formiranja cijene otkupa ili dogovora s vlasnikom, što može značajno usporiti napredak projekta. Troškovi održavanja su puno manji od troškova otkupa zemljišta i rekonstrukcije, no uzevši u obzir projektni period od 10 godina i da ova vrsta troškova raste s vremenom, potrebno ih je uzeti u obzir. Relativna težina ovog potkriterija iznosi 0,8%. S obzirom na to da je čvor Rogovići izrazito važan u prometnoj mreži tog područja potrebno je u obzir uzeti i vrijeme potrebno za rekonstrukciju. Zahtjevnost rekonstrukcije promatra se upravo s tog aspekta i sudjeluje u formiranju ukupne ocjene s 1,8%.

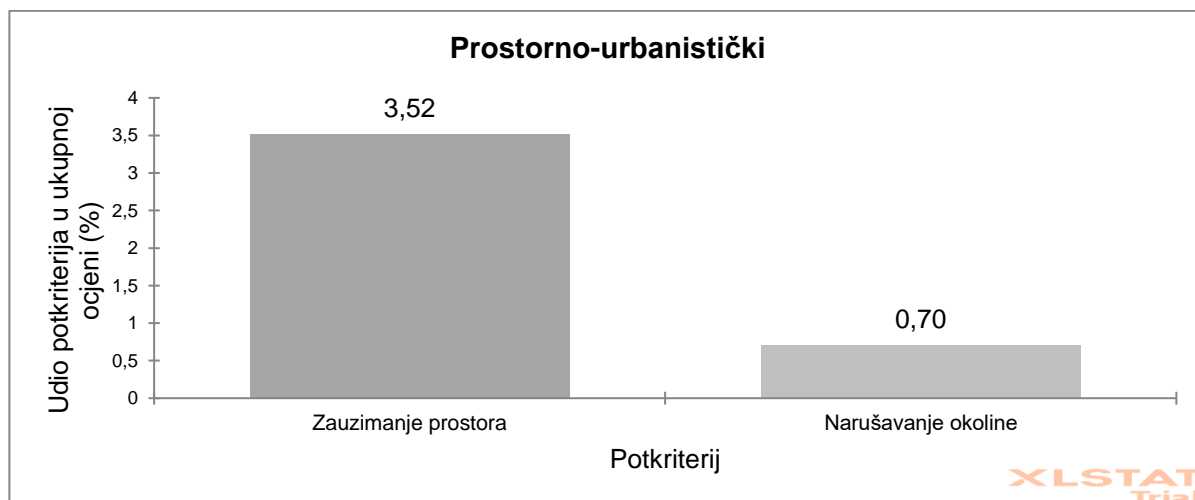
Zagađenje okoliša je kriterij koji se sve više uzima u obzir pri projektiranju, stoga je i ovom analizom u obzir uzet kroz ekološki kriterij s udjelom od 8,3%. Potkriteriji su emisija štetnih plinova i buka s relativnim težinama prikazanim na *grafikonu 4*.



Grafikon 4: Rangiranje ekoloških potkriterija

Emisija štetnih plinova iz automobila predstavlja ozbiljan problem s ekološkog aspekta pa s obzirom na to ima relativni udio od 6,9%. To potkrjepljuju razne direktive i ograničenja usmjerena na proizvođače, ali i vlasnike automobila, kao i mjere poticanja korisnika da koriste alternativne oblike prijevoza. Razina buke također predstavlja problem u urbanim sredinama te se osim objekata za zaštitu od buke, implementiraju i materijali proizvedeni u cilju smanjenja buke. Promatrano raskrižje nalazi se na samom rubu naselja zbog čega ne predstavlja značajan problem te ima relativni udio od 1,4%.

Prostorno-urbanistički kriterij treba uzeti u obzir prilikom projektiranja zato što cestovna infrastruktura zauzima veliku količinu vrijednog prostora. Potkriteriji prikazani na *grafikonu 5* su zauzimanje prostora i narušavanje okoline, a zajedno čine 4,6% ukupne ocjene.



Grafikon 5: Rangiranje prostorno-urbanističkih potkriterija

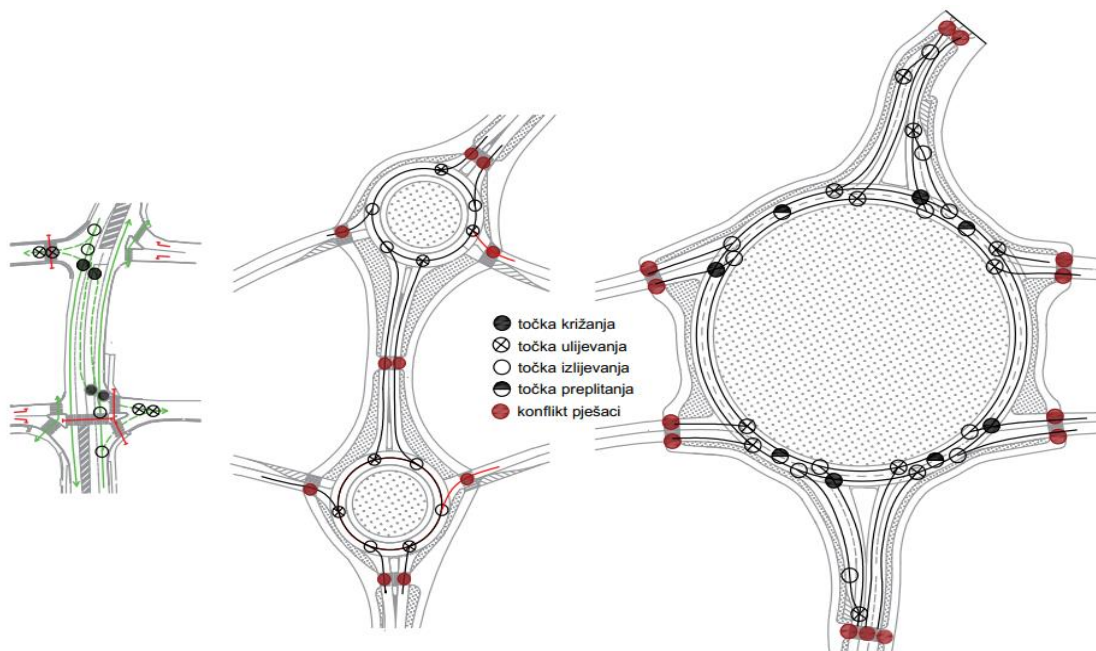
U vrijeme velike urbanizacije vrlo je bitno koliko prostora zauzima određeno rješenje, stoga zauzimanje prostora ima relativnu težinu od 3,5%. Narušavanje okoline je manjim dijelom vezano uz ovaj potkriterij, no pošto je subjektivan, ne postoji alat kojim bi ga mogli izmjeriti. Ovom potkriteriju dodijeljena je težina od 0,7%.

5.2 Vrednovanje varijanata

Vrednovanje varijanata provodi se istim principom kao i rangiranje kriterija, pomoću Saatyjeve skale se provodi usporedba svih varijanti po navedenim kriterijima. U nastavku je prikazano vrednovanje po svakom kriteriju zasebno, a kao rezultat vrednovanja dobivena je ukupna ocjena svake alternative.

5.2.1 Kriterij sigurnosti

Podaci potrebni za vrednovanje varijanata potkriterijima konfliktne točke, potencijalne prometne nesreće i sigurnost nemotoriziranih sudionika prikazani su na *slici 45* i *tablici 15*.

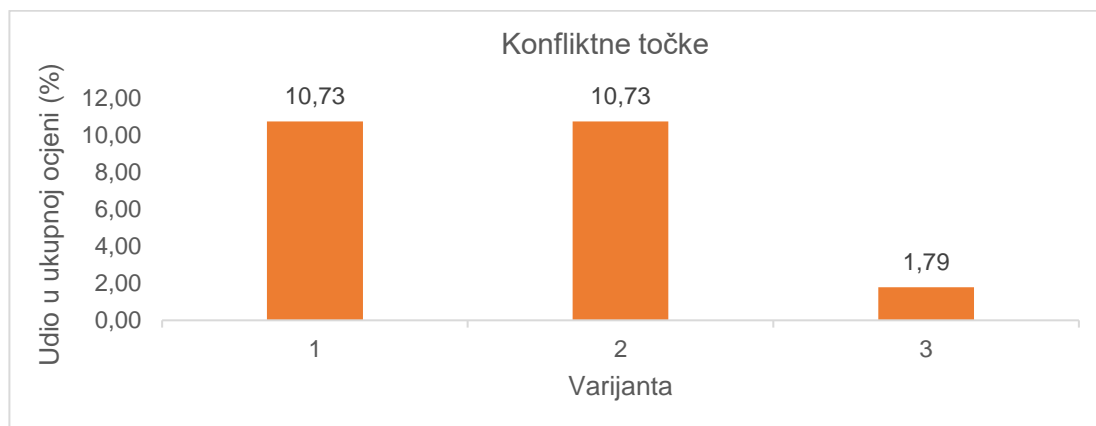


Slika 45: Konfliktne točke svake varijante

Tablica 15: Broj i vrsta konfliktnih točaka varijanti

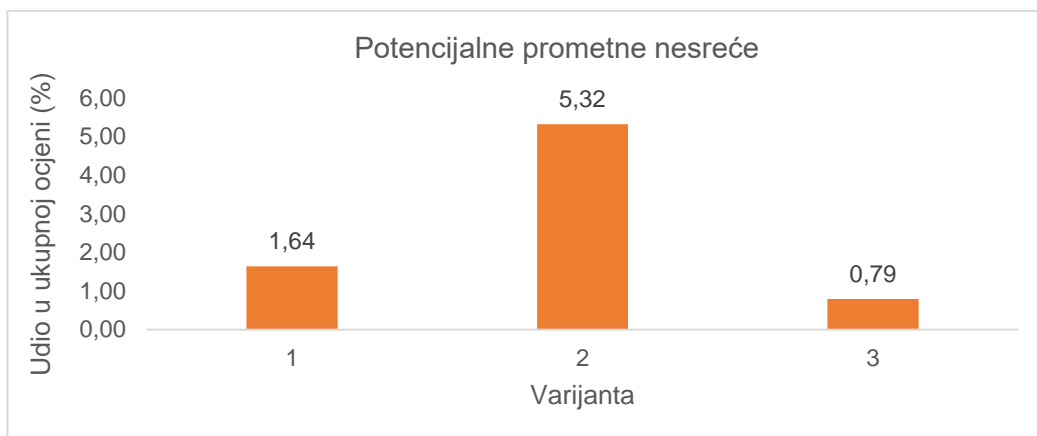
Vrsta konflikta	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3
Križanje	4	0	4
Uplitanje	4	6	11
Isplitanje	4	6	11
Preplitanje	0	0	4
Zbroj	12	12	30
Pješaci	0	10	13

Iz tablice 15 vidljivo je kako se u varijantama 1 i 2 pojavljuje 12, a u varijanti 3 čak 30 konfliktnih točaka između vozila. Što je manji broj konfliktnih točaka, veća je razina sigurnosti pa su u skladu s time vrednovane varijante.



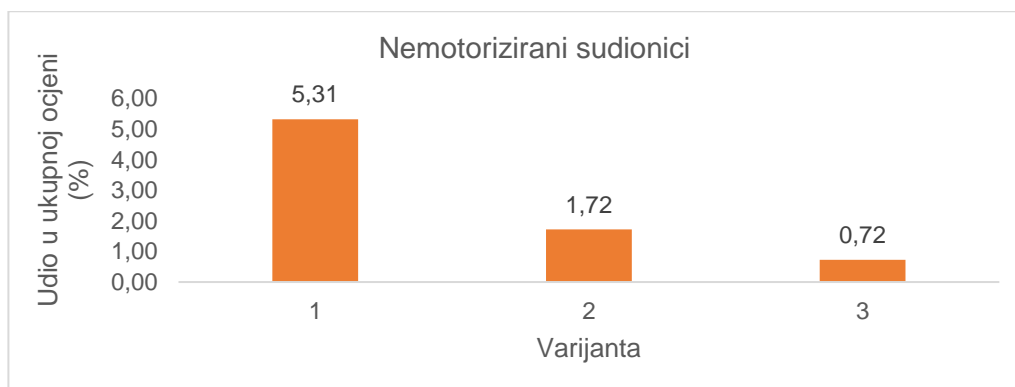
Grafikon 6: Vrednovanje varijanata potkriterijem konfliktne točke

Na temelju prikazane vrste konfliktnih točaka iz *tablice 15*, zaključuje se kako je u prvoj i trećoj varijanti veća mogućnost frontalnog sudara i bočnih sudara pod pravim kutem uzrokovanih križanjem. Njihove su posljedice uglavnom ozbiljnije nego kod prometnih nesreća koje se pojavljuju uslijed ostalih konfliktnih točaka. U slučaju jednostranih kružnih raskrižja sudari među vozilima se uglavnom događaju pod oštrim kutem jer nema točaka križanja. S obzirom na to, varijanta 2 predstavlja bolje rješenje po ovom potkriteriju. Varijante 2 i 3 imaju isti broj točaka križanja, ali je ukupni broj konfliktnih točaka najveći u varijanti 3 zbog čega ima najnižu ocjenu (*grafikon 7*).



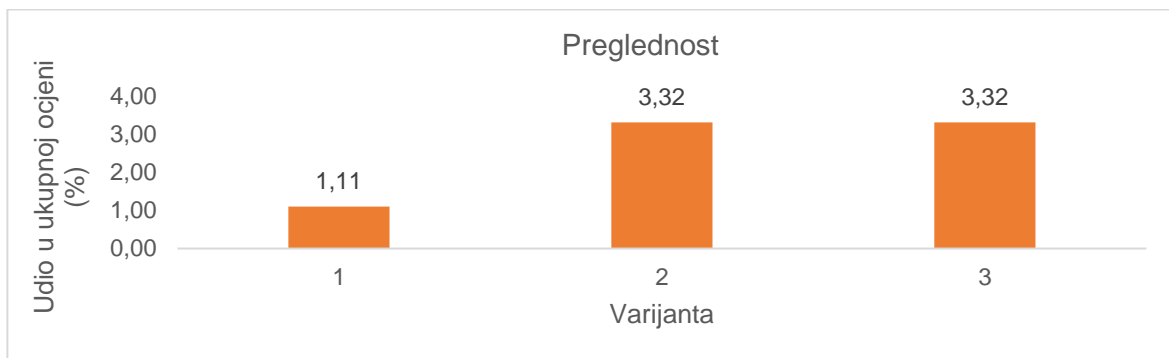
Grafikon 7: Vrednovanje varijanata potkriterijem potencijalne prometne nesreće

U varijanti 1 vremenskim razdvajanjem pješaka i vozila eliminiran je njihov konflikt i time je postignuta najveća sigurnost prilikom prelaska preko kolnika. Iz *tablice 15* vidljivo je kako se konflikt između pješaka i vozila pojavljuje na 12 različitih točaka raskrižja u varijanti 2. Kombinacija većih brzina i 13 konfliktnih točaka između pješaka i vozila daje varijanti 3 najnižu ocjenu po ovom potkriteriju.



Grafikon 8: Vrednovanje varijanata potkriterijem nemotorizirani sudionici

Preglednost je jedan od elemenata koje je potrebno osigurati na raskrižju u vidu sigurnosti. Semaforizacijom raskrižja potrebna razina preglednosti se smanjuje uslijed vremenskog razdvajanja prometnih tokova. Međutim, u slučaju isključenja semafora uslijed kvarova ili održavanja i kontrole raskrižja prometnim znakovima, razina preglednosti odgovara onoj prikazanoj u sklopu analize postojećeg stanja (*slika 37*), što znači da nije zadovoljena. Na kružnim raskrižjima državnih cesta potrebno je osigurati sljedeće preglednosti: ulaznu, preglednost u kružnom toku, preglednost ulijevo, prilaznu preglednost privozu, preglednost biciklističkog/pješačkog prijelaza na ulazu te preglednost iz kružnog kolnika. Preglednosti kružnih raskrižja su prikazane na *grafičkim priložima 4 i 5*. S obzirom na to da su sve preglednosti u varijantama 2 i 3 zadovoljene, one predstavljaju bolje rješenje po pitanju ovog potkriterija. Vrednovanje varijanata s obzirom na preglednost prikazano je na *grafikonu 9*.



Grafikon 9: Vrednovanje varijanata potkriterijem preglednost

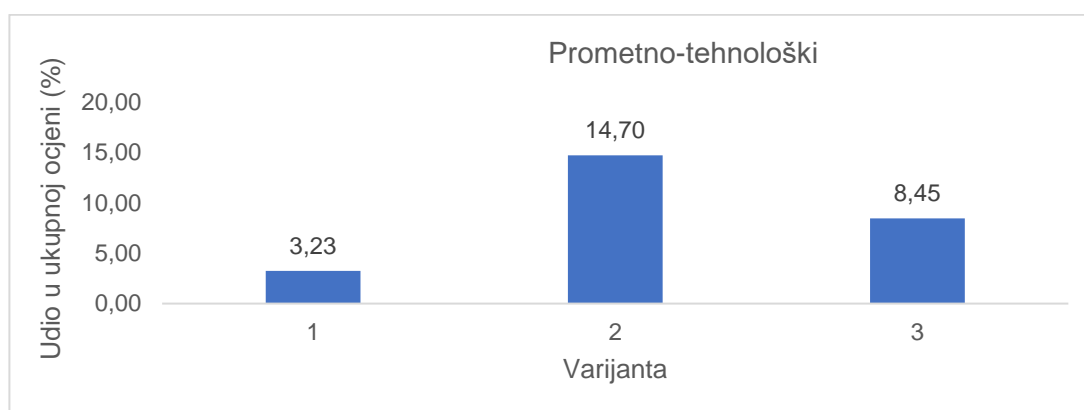
5.2.2 Prometno-tehnološki kriterij

U svrhu vrednovanja prometno-tehnološkog kriterija određen je kapacitet. *Tablica 16* daje prikaz razine uslužnosti svakog prometnog traka privoza raskrižja.

Tablica 16: Razina uslužnosti novih rješenja

Varijanta	Privoz	Razina uslužnosti
1	1	A
	2a	B
	3	A,B
	4a	B
2	1	A
	2a	A
	3	A
	4a	A
3	1	A,A
	2a	A,A
	3	A,A
	4a	A,B

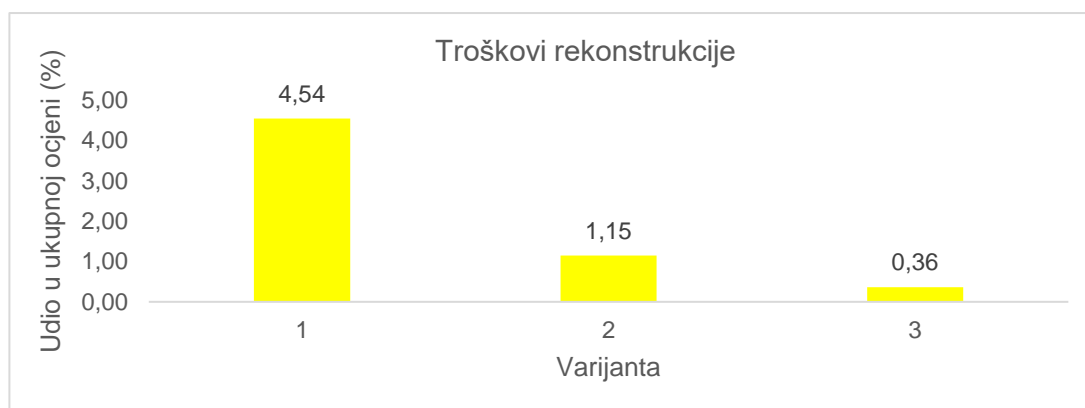
Na temelju gornje tablice možemo zaključiti kako sve varijante imaju zadovoljavajuću razinu uslužnosti u slučaju planiranog prometnog opterećenja. Ipak, među njima postoje razlike stoga je varijanta 2 ocijenjena kao najbolja, a slijedi je varijanta 3. Varijanta 1 predstavlja najlošije rješenje. Razina uslužnosti ove varijante je niža zbog kratkog trajanja druge faze semafora u vremenu.



Grafikon 10: Vrednovanje varijanata prometno-tehnološkim kriterijem

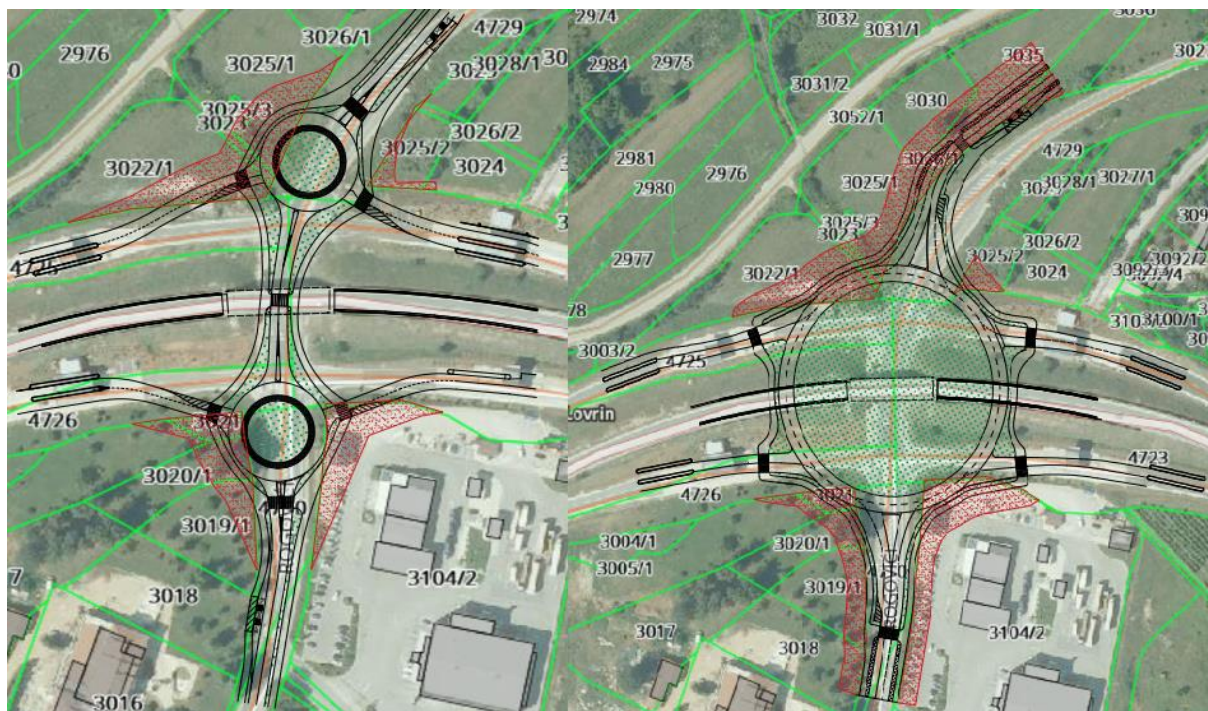
5.2.3 Ekonomski kriterij

Pri vrednovanju varijanata potkriterijem troškova rekonstrukcije, ocjene su dodijeljene na temelju grupa radova koje je potrebno provesti. Varijanta 1 predstavlja najpovoljnije rješenje budući da se radi o semaforizaciji postojećeg čvora. Geometrija raskrižja se ne mijenja, potrebno je postaviti svjetla za upravljanje prometom te djelomično prilagoditi postojeću vertikalnu i horizontalnu signalizaciju. Za provođenje varijante 2 potrebno je izgraditi 2 kružna raskrižja što uključuje zemljane, građevinske i asfalterske radove. Nakon toga je potrebno u cijelosti izvesti novu horizontalnu i vertikalnu signalizaciju. Za izvođenje treće varijante potrebno je provesti određene radove na postojećem nadvožnjaku i objektima za naplatu cestarine kako bi bilo moguće izvesti raskrižje ovakve veličine. Nakon toga treba provesti iste grupe radova kao u varijanti 2, ali u većem obimu, stoga predstavlja najskuplje rješenje.



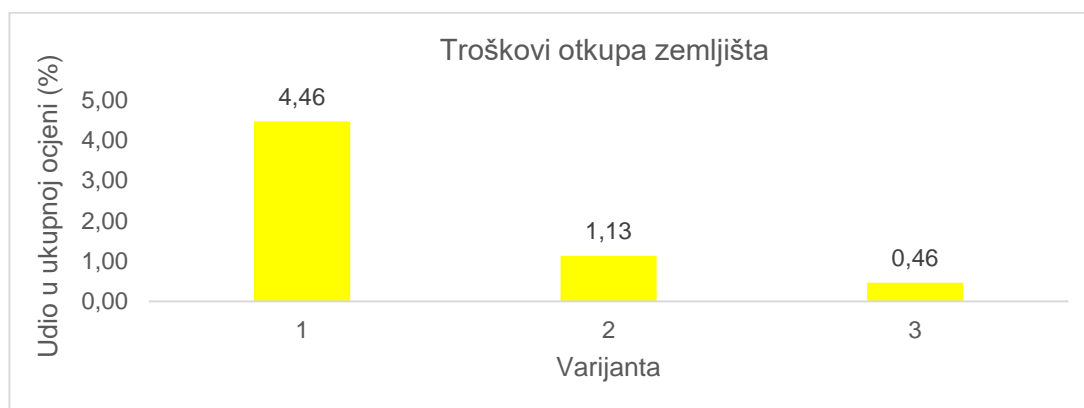
Grafikon 11: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi rekonstrukcije

Vrednovanje potkriterijem troškova otkupa zemljišta vrši se preklapanjem situacijskog nacrtu varijanata 2 i 3 s digitalnim katastarskim planom. Uzeta je širina pojasa 10 m od vanjskih rubova raskrižja na temelju čega je određena površina za otkup koja je prikazana crvenom bojom na slici 46.



Slika 46: Površina zemljišta za otkup

Za rekonstrukciju varijantom 1 ne postoji potreba za otkupom zemljišta. Varijanta 2 iziskuje dodatnih 4.069 m², dok je za varijantu 3 potrebno otkupiti 7.646 m². S obzirom na navedene vrijednosti ocjene varijanata prikazane su na *grafikonu 12*.



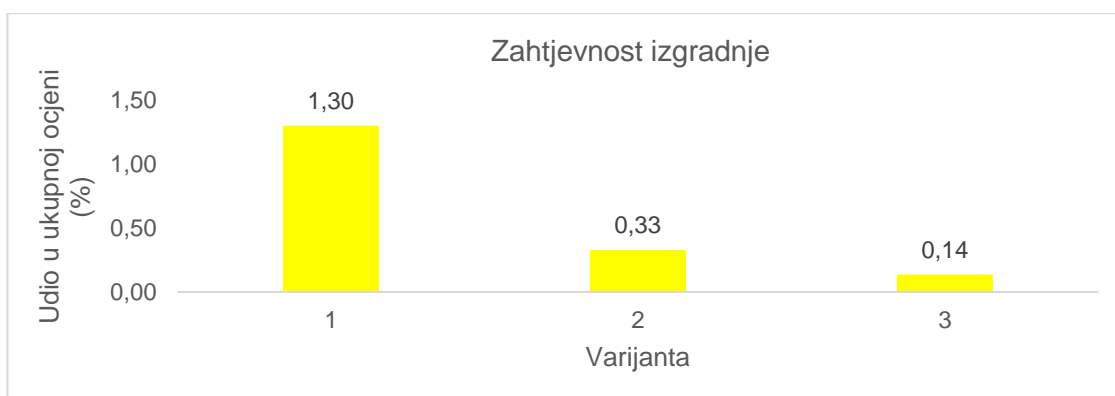
Grafikon 12: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi otkupa zemljišta

U sklopu održavanja semaforских sustava potrebno je održavanje i servis uređaja, komponenti i signalne semaforске opreme. Održavanje kružnog raskrižja s ekonomskog aspekta je puno povoljnije. U skladu s time varijanta 1 predstavlja lošije rješenje od ostalih. Varijanta 2 je ocijenjena kao bolje rješenje u odnosu na varijantu 3 zbog manje površine, a samim time i jednostavnijeg održavanja. Vrednovanje ovim potkriterijem prikazano je na *grafikonu 13*.



Grafikon 13: Vrednovanje varijanata potkriterijem troškovi održavanja

Kao što je gore spomenuto, zahtjevnost rekonstrukcije promatra se s aspekta vremenskog trajanja projekta. U interesu svih korisnika ovog prometnog čvora je što kraće vrijeme trajanja rekonstrukcije. Uzevši u obzir sve prethodno navedeno, jasno je da varijanta 1 predstavlja najjednostavnije rješenje u smislu izrade i provedbe projekta rekonstrukcije. Varijanta 2 podrazumijeva izvedbu jednotračnih kružnih raskrižja, što je mnogo kompleksnije nego varijanta 1, stoga je razlika u preferenciji između te dvije varijante značajna. Varijantom 3 predviđena je izgradnja dvotračnog kružnog raskrižja vanjskog radijusa 60 m pa je u skladu s time potrebno izvesti prethodno spomenute zahvate za njegovo uklapanje što ovu varijantu čini najkompleksnijim rješenjem rekonstrukcije.



Grafikon 14: Vrednovanje varijanata potkriterijem zahtjevnost izgradnje

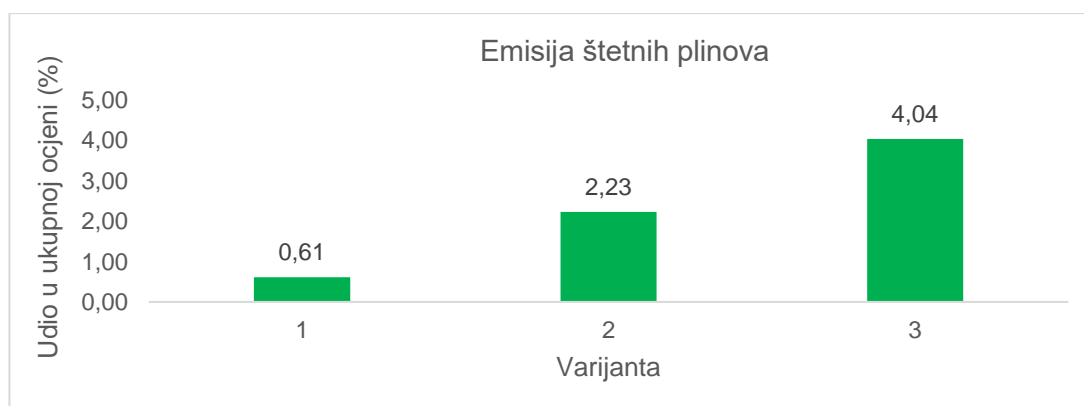
5.2.4 Ekološki kriterij

Za vrednovanje varijanata s obzirom na potkriterij emisije štetnih plinova korišteni su podaci iz računalnog programa SIDRA. Dostupni podaci prikazuju emisiju ugljikovog oksida (CO), ugljikovodika (HC) i dušikovih oksida (NOX). Emisija štetnih prikazana je u *tablici 17*.

Tablica 17: Emisija štetnih plinova

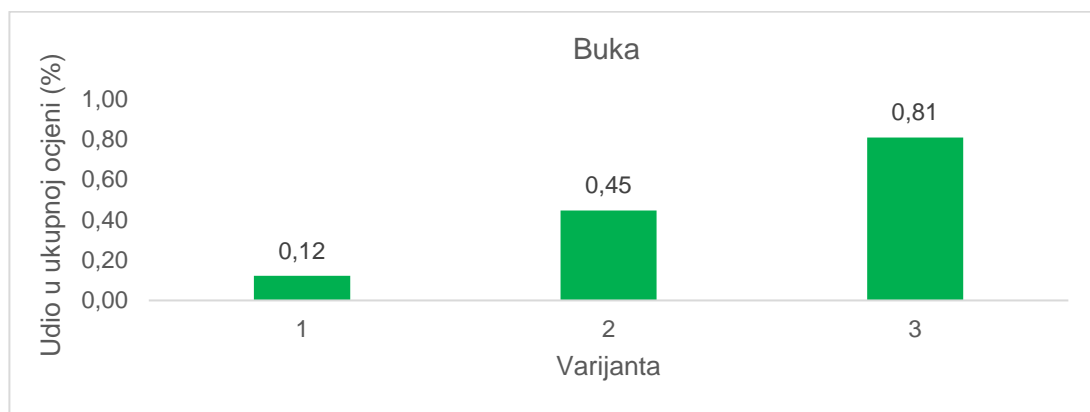
Varijanta	Privoz	CO (kg/h)		HC (kg/h)		NOX (kg/h)		Ukupna emisija štetnih plinova (kg/h)
		Količina po privozu	Zbroj	Količina po privozu	Zbroj	Količina po privozu	Zbroj	
1	1	0.23	0.53	0.02	0.04	1.11	2.99	3.56
	2a	0.01		0.00		0.67		
	3	0.23		0.02		0.82		
	4a	0.06		0.01		0.39		
2	1	0.17	0.38	0.02	0.06	0.91	2.54	2.98
	2a	0.01		0.02		0.58		
	3	0.14		0.02		0.65		
	4a	0.06		0.01		0.40		
3	1	0.12	0.31	0.01	0.02	0.58	1.48	1.81
	2a	0.01		0.00		0.01		
	3	0.12		0.01		0.45		
	4a	0.06		0.00		0.44		

Najveća emisija štetnih plinova pojavljuje se u varijanti 1 što je čini najlošijim rješenjem po pitanju ovog potkriterija. U odnosu na nju, u varijanti 2 dolazi do smanjenja ukupne emisije štetnih plinova za 27%. Varijanta 3 predstavlja najbolje rješenje jer je emisija štetnih plinova manja za 50% u odnosu na varijantu 1.



Grafikon 15: Vrednovanje varijanata potkriterijem emisija štetnih plinova

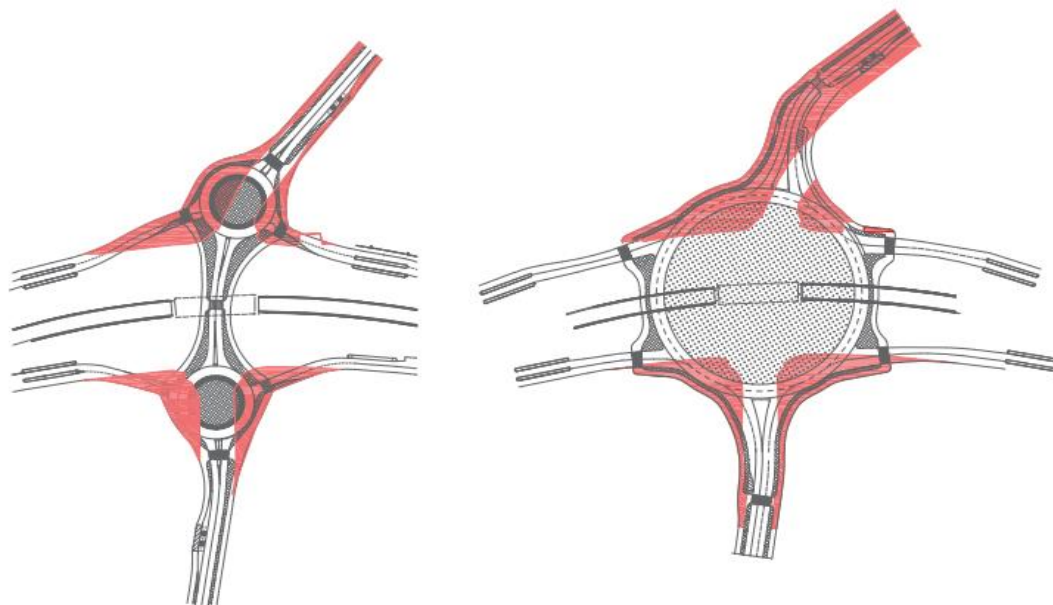
Prema [1], buka i emisija štetnih plinova mogu se smanjiti ako se između ostalog smanje izrazita ubrzanja i broj zastoja u raskrižju te ako se dobro uskladi rad svjetlosne signalizacije. Na razinu buke također utjecaj ima i brzina kretanja vozila. S obzirom na to da nisu provedene simulacije, vrednovanje po kriteriju buke je subjektivna procjena temeljena na prethodnim navodima. Najveća razina buke očekuje se u varijanti 1 zbog čekanja na privozima, izrazitih ubrzanja i zaustavljanja u raskrižju što znači da ona predstavlja najlošije rješenje. Varijanta 2 ocijenjena je kao bolje rješenje u odnosu na varijantu 1. Najbolje je ocijenjena varijanta 3 zbog toga što su implementacijom jednog raskrižja zamijenjena dva izmaknuta raskrižja čime je smanjen broj ubrzanja i zastoja u području raskrižja i osiguran kontinuitet vožnje.



Grafikon 16: Vrednovanje varijanata potkriterijem buka

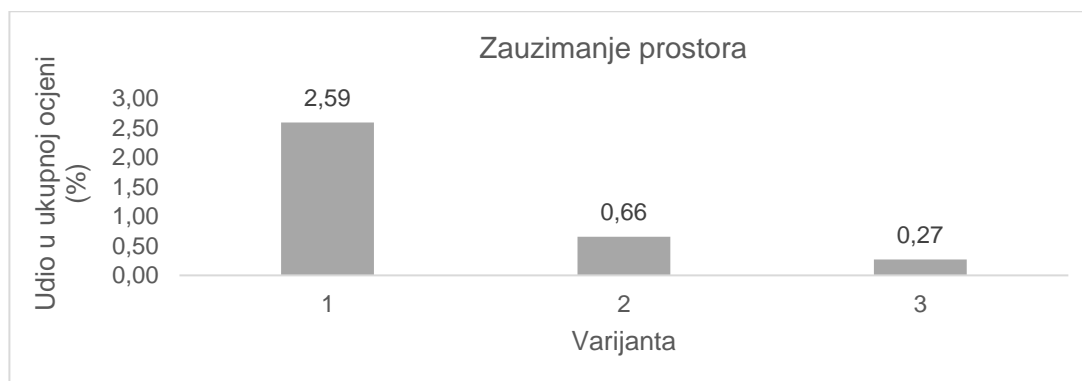
5.2.5 Prostorno-urbanistički kriterij

Ocjenjivanje varijanata u sklopu potkriterija zauzimanje prostora provodi se na temelju podataka o potrebnoj površini za njihovu izgradnju. Varijanta 1 predstavlja najbolje rješenje vrednovanjem ovog potkriterija jer pri rekonstrukciji ne dolazi do promjene geometrije raskrižja. Potrebna površina za rekonstrukciju varijantama 2 i 3 prikazana je na slici 47.



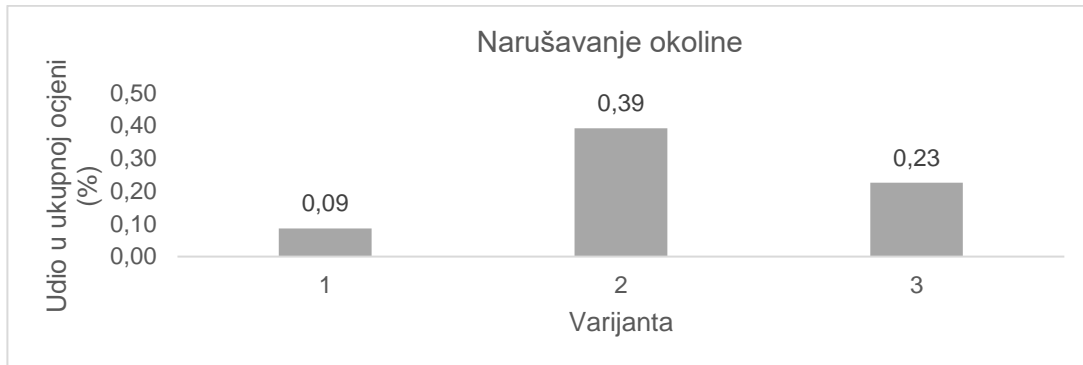
Slika 47: Dodatna površina potrebna za izgradnju varijanata 2 i 3

Dodatna potrebna površina mjerena je s vanjskih strana postojećeg raskrižja. Razlog tome je što se područje raskrižja između uzlaznih i silaznih rampi ne može prenamijeniti ili iskoristiti u druge svrhe. Dodatna površina potrebna za izgradnju varijante 2 iznosi 4.501 m² te 7.360 m² za provedbu rekonstrukcije varijante 3.



Grafikon 17: Vrednovanje varijanata potkriterijem zauzimanje prostora

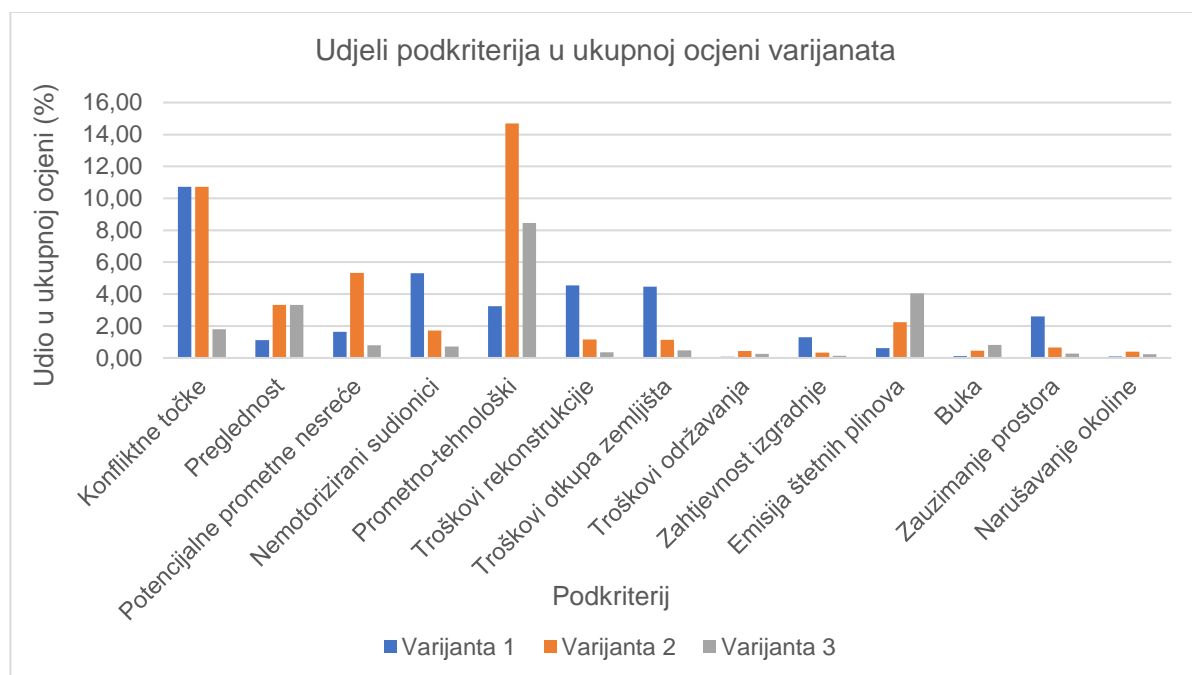
Potkriterij narušavanja okolnog prostora je subjektivan. U ovom slučaju, bolju ocjenu imaju varijante 2 i 3 iz razloga što neiskorišten prostor središnjeg otoka pruža mogućnost oblikovanja upotrebom različitih arhitektonskih elemenata.



Grafikon 18: Vrednovanje varijanata potkriterijem narušavanje okoline

5.3 Analiza rezultata vrednovanja i izbor optimalnog rješenja

Vrednovanje varijanata vrši se po svakom kriteriju odnosno potkriteriju, a optimalno predstavlja ono rješenje koje ima najveću ukupnu ocjenu. Na *grafikonu 19* prikazane su vrijednosti dobivene ocjenjivanjem svih varijanata po svakom potkriteriju.



Grafikon 19: Udjeli potkriterija u ukupnoj ocjeni varijanata

Visoke ocjene varijanata 1 i 2 po pitanju sigurnosti daje puno manji broj konfliktnih točaka u odnosu na varijantu 3. Uz to, u slučaju varijante 1, puno je veća sigurnost nemotoriziranih sudionika, dok varijanta 2 ima dobru preglednost i manje posljedice potencijalnih prometnih nesreća. Varijanta 3, osim preglednosti, slabije zadovoljava ostale potkriterije sigurnosti pa je u skladu s time i ocijenjena.

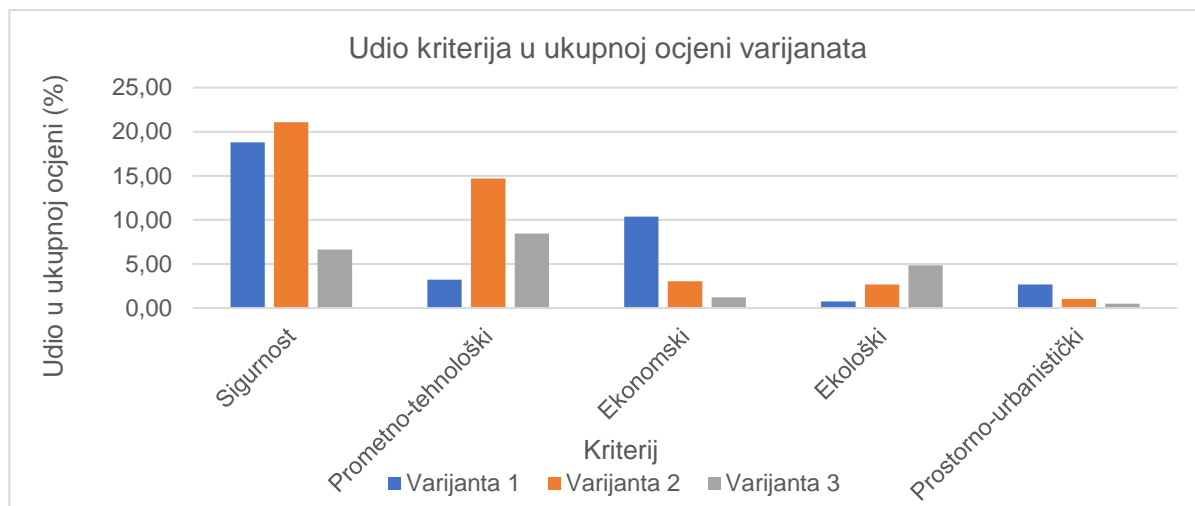
Prometno-tehnološki kriterij iskazan je kapacitetom, a ocjene su dodijeljene na temelju razine uslužnosti. Varijanta 2 ima najveću ocjenu zbog razine uslužnosti A na svim privozima. U slučaju varijanata 1 i 3 razina uslužnosti je niža, što im donosi lošiju ocjenu po ovom kriteriju.

Ekonomski kriterij najviše zadovoljava varijanta 1 zbog puno nižih troškova rekonstrukcije, otkupa zemljišta i vremena trajanja rekonstrukcije. Slijedi varijanta 2, dok je varijanta 3 najlošije ocijenjena zbog količine troškova zahvata koje je potrebno provesti u slučaju implementacije ove varijante.

S ekološkog aspekta varijanta 3 predstavlja najbolje rješenje zbog toga što ova varijanta ima najmanji broj usporavanja i ubrzanja, što ujedno najviše utječe na emisiju štetnih plinova i razinu buke. Do smanjenja tog broja dolazi implementacijom velikog kružnog raskrižja jer zamjenjuje dva izmaknuta raskrižja na relativno maloj udaljenosti.

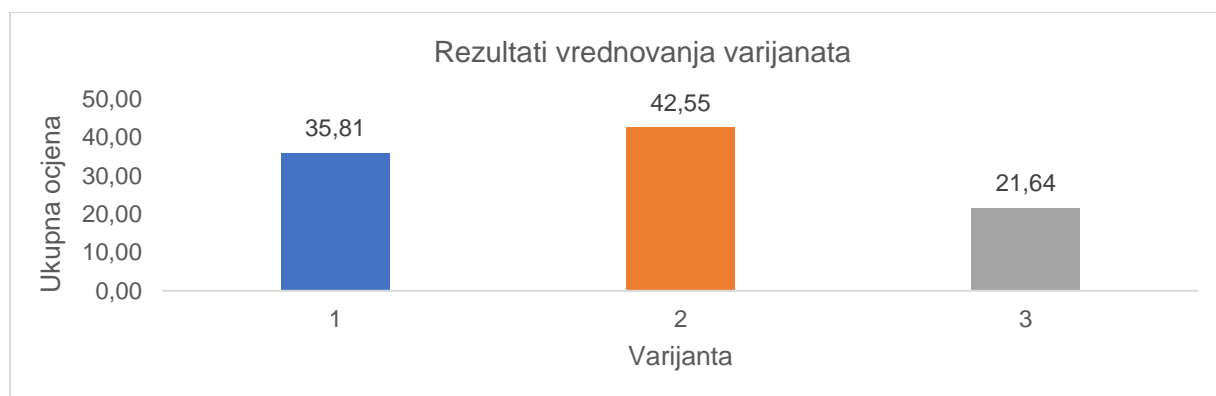
Po pitanju prostorno-urbanističkog kriterija najveća ocjena dodijeljena je varijanti 1. Razlog tome je što se ovim rješenjem ne zauzima dodatni prostor u odnosu na postojeće stanje za razliku od druge dvije varijante. Potkriterijem narušavanja okoline prednost je dodijeljena varijantama 2 i 3 zbog središnjeg otoka koje ostavlja mogućnost uređenja raznim arhitektonskim elementima.

Na *grafikonu 20* su prikazane ocjene svake varijante po kriterijima. Po pitanju sigurnosti i kapaciteta najbolje je ocijenjena varijanta 2. Varijanta 1 ima najbolju ocjenu s ekonomskog i prostorno-urbanističkog aspekta, dok je varijanta 3 najbolje ocijenjena s obzirom na ekološki kriterij.



Grafikon 20: Udjeli kriterija u ukupnoj ocjeni varijanata

Sumom ocjena svih kriterija odnosno potkriterija formirane su ukupne ocjene varijanata (grafikon 21). Provođenje višekriterijske analize dovodi do zaključka da je optimalno rješenje varijanta 2, odnosno implementacija dva srednje velika kružna raskrižja s ocjenom 42,3%. Nakon toga slijedi varijanta 1- semaforizacija postojećeg raskrižja ukupne ocjene 35,8%, a najnepovoljnije rješenje predstavlja varijanta 3- veliko kružno raskrižje (21,64%).



Grafikon 21: Rezultati vrednovanja varijanata

Prethodno spomenuta konzistentnost predstavlja još jednu bitnu karakteristiku AHP metode koja pridonosi njenom učestalom korištenju. Kod provođenja višekriterijske analize omjer konzistentnosti (CR) mora biti manji od 0,1 odnosno 10%. Pri provođenju ove analize najveći CR iznosio je 6,13%, što je unutar dozvoljenih granica i znači da je odluka procjenitelja bila konzistentna.

6. ZAKLJUČAK

Pojava različitih vidova prometa na području raskrižja rezultira mnogobrojnim konfliktnim točkama. S obzirom na smanjenu sigurnost i kapacitet čvora/raskrižja u odnosu na ostale dijelove prometne mreže, potrebno je odabrati optimalno rješenje pri njihovoj izgradnji ili rekonstrukciji.

Cilj ovog diplomskog rada je na temelju analize postojećeg stanja utvrditi probleme na čvoru, predložiti varijante rekonstrukcije i odabrati optimalno rješenje. Istaknuti problemi postojećeg raskrižja su velika brzina na glavnom pravcu i nedovoljna razina preglednosti sporednih privoza. Imajući u vidu spomenute probleme na raskrižju i planirano prometno opterećenje, predložena su tri varijantna rješenja. Prvo rješenje je semaforizacija postojećeg čvora u sklopu kojeg se ne mijenjaju gabariti postojećeg raskrižja. Druga varijanta je implementacija dva srednje velika kružna raskrižja umjesto klasičnih raskrižja. Treća varijanta je rekonstrukcija jednim velikim kružnim raskrižjem.

Odabiru optimalnog rješenja pristupilo se korištenjem višekriterijske analize. Za rješavanje problema korištena je AHP metoda, koja slovi za jednu od najčešće korištenih. U sklopu ove metode potrebno je bilo unaprijed definirati kriterije i podkriterije. Nakon definiranja hijerarhijske strukture prethodno spomenutim elementima vršilo se njihovo rangiranje, a potom i vrednovanje varijanata. Za odabir optimalnog rješenja rekonstrukcije čvora Rogovići korišteno je pet kriterija: sigurnost, prometno-tehnološki, ekonomski, ekološki i prostorno-urbanistički.

Varijanta 1 predstavlja najbolje rješenje po pitanju ekonomskog i prostorno-urbanističkog kriterija s obzirom na to da se radi o jednostavnom zahvatu semaforizacije postojećeg čvora koji ne zauzima dodatan prostor. Varijanta 2 predstavlja najbolje rješenje po pitanju kriterija sigurnosti i prometno-tehnološkog kriterija. Smanjenje broja konfliktnih točaka i posljedica potencijalnih prometnih nesreća te povećanje preglednosti ovoj varijanti donosi najbolju ocjenu po kriteriju sigurnosti. U svrhu prometno-tehnološkog kriterija izračunava se kapacitet kojeg također najbolje zadovoljava varijanta 2. Varijanta 3 je najbolje ocijenjena po pitanju ekološkog kriterija zbog toga što su dva raskrižja zamijenjena jednim. To smanjuje broj usporavanja i naglih ubrzanja te umanjuje emisiju štetnih plinova i razinu buke. S druge strane, po pitanju sigurnosti, prostorno-urbanističkog i ekonomskog kriterija ne predstavlja zadovoljavajuće

rješenje. Razlozi za to su veliki broj konfliktnih točaka, zauzimanje velike površine i velika ulaganja pri rekonstrukciji.

Nakon formiranja ukupne ocjene, utvrđeno je kako varijanta 2 predstavlja najbolje rješenje. Rekonstrukcija spomenutom varijantom podrazumijeva izgradnju dva srednje velika kružna raskrižja vanjskog radijusa 21 m. U odnosu na postojeće stanje, primjenom ove varijante smanjuje se broj i „težina“ konfliktnih točaka te se poboljšava preglednost u zoni čvora. Osim toga, razvija se pješačka infrastruktura u čitavoj zoni raskrižja. Pješački nogostupi udaljeni su od prometnih traka i samih kružnih raskrižja primjenom razdjelnih zelenih površina. Zbog veće širine pješačkog područja raskrižja postoji mogućnost implementacije biciklističke staze ako se za to u budućnosti ukaže potreba. Ova varijanta najviše zadovoljava zahtijevane kriterije što joj u konačnici donosi najbolju ocjenu i čini ju optimalnim rješenjem rekonstrukcije.

7. LITERATURA

- [1] Legac, I.: *Raskrižja javnih cesta*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
- [2] Kundid, I., Šego, D.: *Cestovna raskrižja u gradu Šibeniku*, Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku, No. 3-4/ 2014 Šibenik, 2014.
- [3] Deluka-Tibljaš, A.: kolegij *Cestovna čvorišta*, predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2018.
- [4] *Highway capacity manual*, Preuzeto: travanj 2019. https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacity_manual.pdf , 2010.
- [5] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: *Teorija prometnog toka*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [6] Koralet, Ž.: *Uvod u projektiranje i građenje cesta*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1995.
- [7] Narodne novine: *Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa*, Narodne novine, Zagreb, 2001.
- [8] Hrvatske ceste d.o.o: *Smjernice za projektiranje kružnih raskrižja na državnim cestama*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2014.
- [9] Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S: *Utjecaj projektnih elemenata na prometnu uslužnost kružnih raskrižja*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2011.
- [10] Omazić, I., Dimter, S., Barišić, I.: *Kružna raskrižja - suvremeni način rješavanja prometa u gradovima*, Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek 1/2010, Osijek 2010.
- [11] Tolazzi, T., Mauro, R., Guerrieri, M., Renčelj, M.: Comparative analysis of four new alternative types of roundabouts: “turbo”, “flower”, “target” and “four-flyover” roundabout, *Periodica Polytechnica*,51-60 2016, Budimpešta, 2016.
- [12] “Hamburger” kružno raskrižje, Preuzeto: travanj 2019. <https://road.cc/content/news/176958-heres-benidorms-new-cyclist-friendly-roundabout-what-do-you-think?fbclid=IwAR3bcWg3STLniFbfBDY4q7cFn1OfMWyBdYiF3EMtKi3DXhrTmoeZKRBEws>

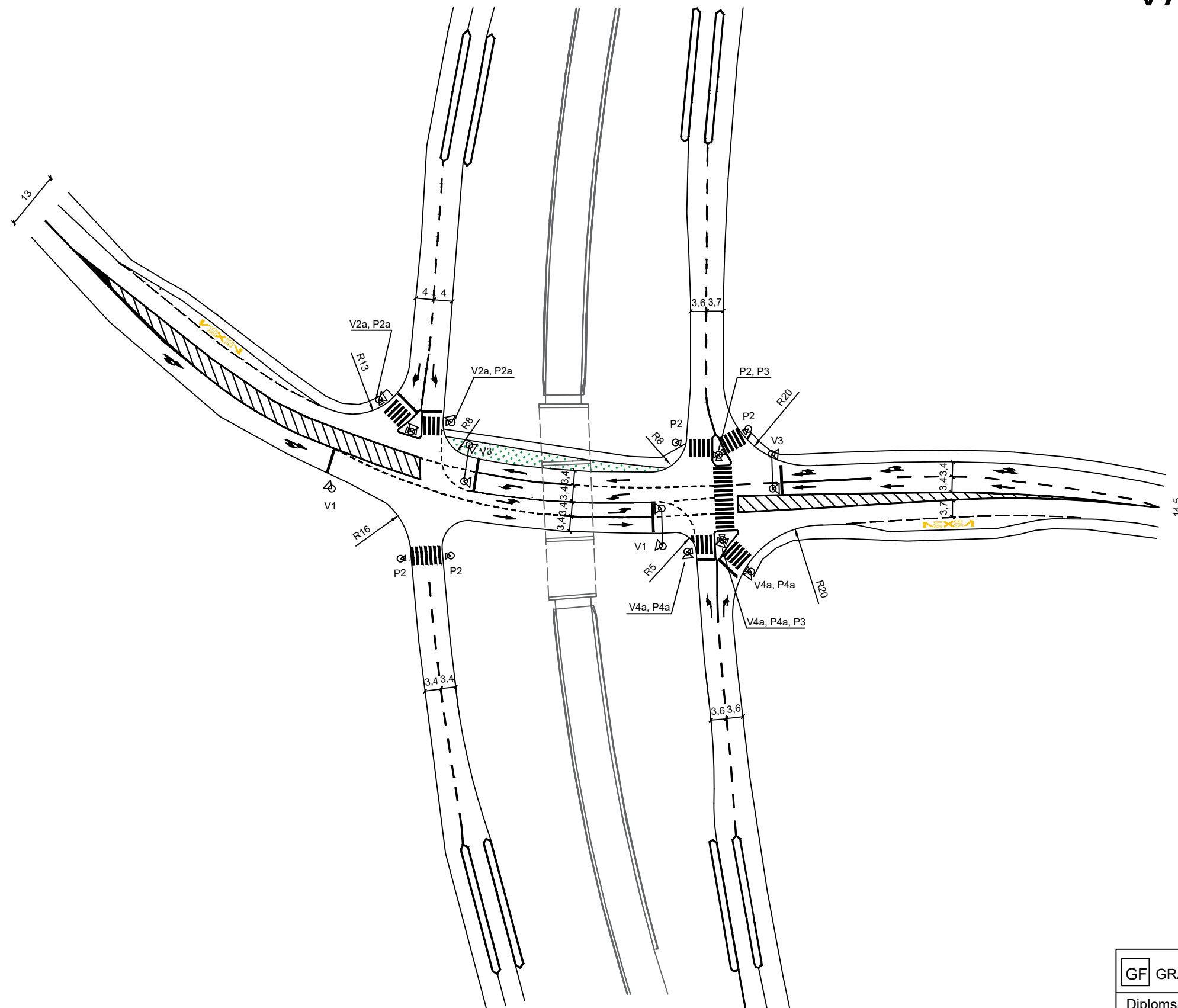
- [13] Raskrižje izvan razine, tip “djetelina”, Preuzeto: travanj 2019.
<http://www.hotelsinsouth.com/the-most-prominent-cloverleaf-interchanges-in-india/>
- [14] Tolazzi, T.: *Experiences with alternative types of roundabouts in Slovenia*, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering and Architecture, Maribor, 2015.
- [15] Kovačić, B.: *Višekriterijsko odlučivanje u prometu*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [16] Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Dragičević, N.: *Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi*, Elektronički časopis Građevinar 7/2013, Zagreb, 2013.
- [17] Barić, D.: *Model planiranja prometno-tehnoloških projekata u funkciji razvoja željeznice*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [18] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode RH, *IPA 2010 projekt “Jačanje kapaciteta za provedbu strateške procjene utjecaja na okoliš (SPUO) na regionalnoj i lokalnoj razini*, Prilog II.- Smjernice za primjenu pogodnih alata za analizu, Zagreb, 2014.
- [19] Dražić, J., Dunjić, D., Mučenski, V., Peško, I.: *Multi-criteria analysis of variation solutions for the pipeline route by applying the PROMETHEE method*, Tehnički vjesnik br. 23-2, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2016.
- [20] Krpan, LJ.: *Integralni prostorno-prometni model urbanističkog planiranja*, doktorski rad, Pomorski fakultet, Rijeka, 2010.
- [21] Beria, P., Maltese, I., Mariotti, I.: *Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility*, European Transport Research Review, Elektronički časopis Springer, Vol.4, No.3, 2012.
- [22] Allah Bukhsh, Z., Stipanovic Oslakovic, I., Klanker, G., Hoj, NP., Imam, B., Xenidis, Y.: *Multi-criteria decision making: AHP method applied for network bridge prioritization*, Repozitorij Građevinskog fakulteta, Zagreb, 2017.
- [23] Barić, D.: *Nastavni materijali iz kolegija Vrednovanje cestovnih projekata*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [24] Begičević, N.: *Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja*, Fakultet organizacije i informatike Varaždin, Zagreb, 2008.

- [25] Klanac, J., Perkov, J., Krajnović, A.: *Primjena AHP I PROMETHEE metode na problem diverzifikacije*, Oeconomica Jadertina, Vol.3, No.2, 2013.
- [26] Vukušić, D.: *Određivanje najpovoljnijih biciklističkih ruta za pojedine scenarije metodom višekriterijalne analize*, Split, 2016.
- [27] Vinovrški, D.: *Primjena metode višekriterijske analize pri donošenju odluka*, Fakultet za ekonomiju i turizam, Pula, 2016.
- [28] Mance, I., Fabac, R.: *Primjena metode ELECTRE za određenje dominirajuće inačice CRM sustava u sektoru zaštite na radu*, časopis Sigurnost, Vol. 55, No. 4, Varaždin, 2013.
- [29] Kosijer, M., Ivić, M., Marković, M., Belošević, I.: *Višekriterijsko odlučivanje u planiranju i projektiranju trase željezničke pruge*, Elektronički časopis Građevinar 3/2012, Zagreb, 2012.
- [30] Puška, A.: *Rangiranje investicionih projekata korišćenjem VIKOR metode*, Singidunum Revija, Vol. 8, No. 2, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.
- [31] Jutarnji list, Preuzeto: travanj 2019.,
<https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/infrastrukturni-megaprojekt-siri-se-istarski-ipsilon-krece-gradnja-punog-profila-autoceste-sve-do-tunela-ucke-evo-koliko-ce-to-kostati/7820742/>
- [32] <https://www.google.hr/maps/> Preuzeto: travanj 2019.,
- [33] Deluka-Tibljaš, A.: kolegij *Prometna tehnika*, predavanja, Građevinski fakultet, Rijeka, 2018.
- [34] Policijska postaja Pazin

8. GRAFIČKI PRILOZI

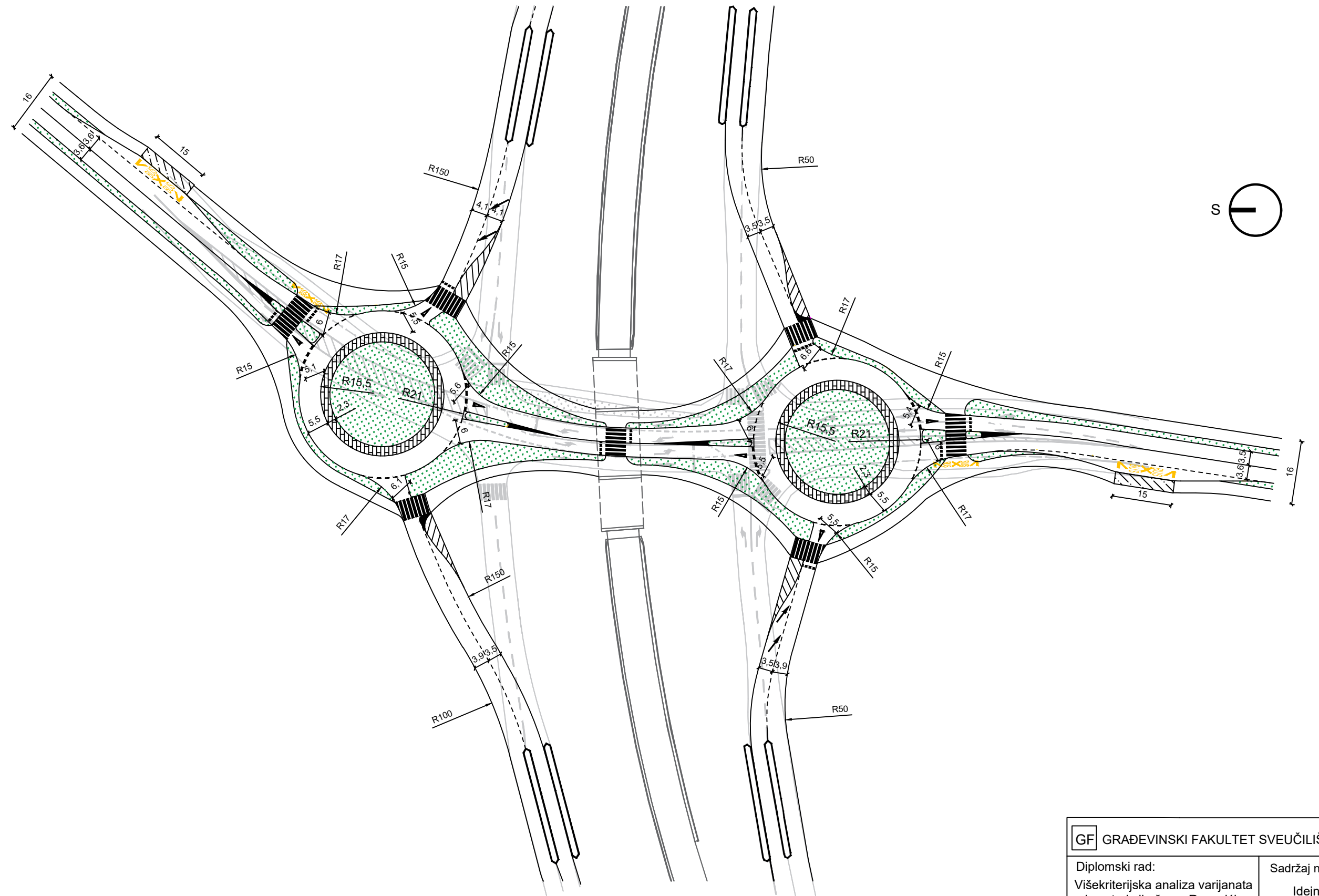
1. Idejno rješenje varijante 1	M 1:1000
2. Idejno rješenje varijante 2	M 1:1000
3. Idejno rješenje varijante 3	M 1:1000
4. Preglednost varijante 2	M 1:1000
5. Preglednost varijante 3	M 1:1000

VARIJANTA 1



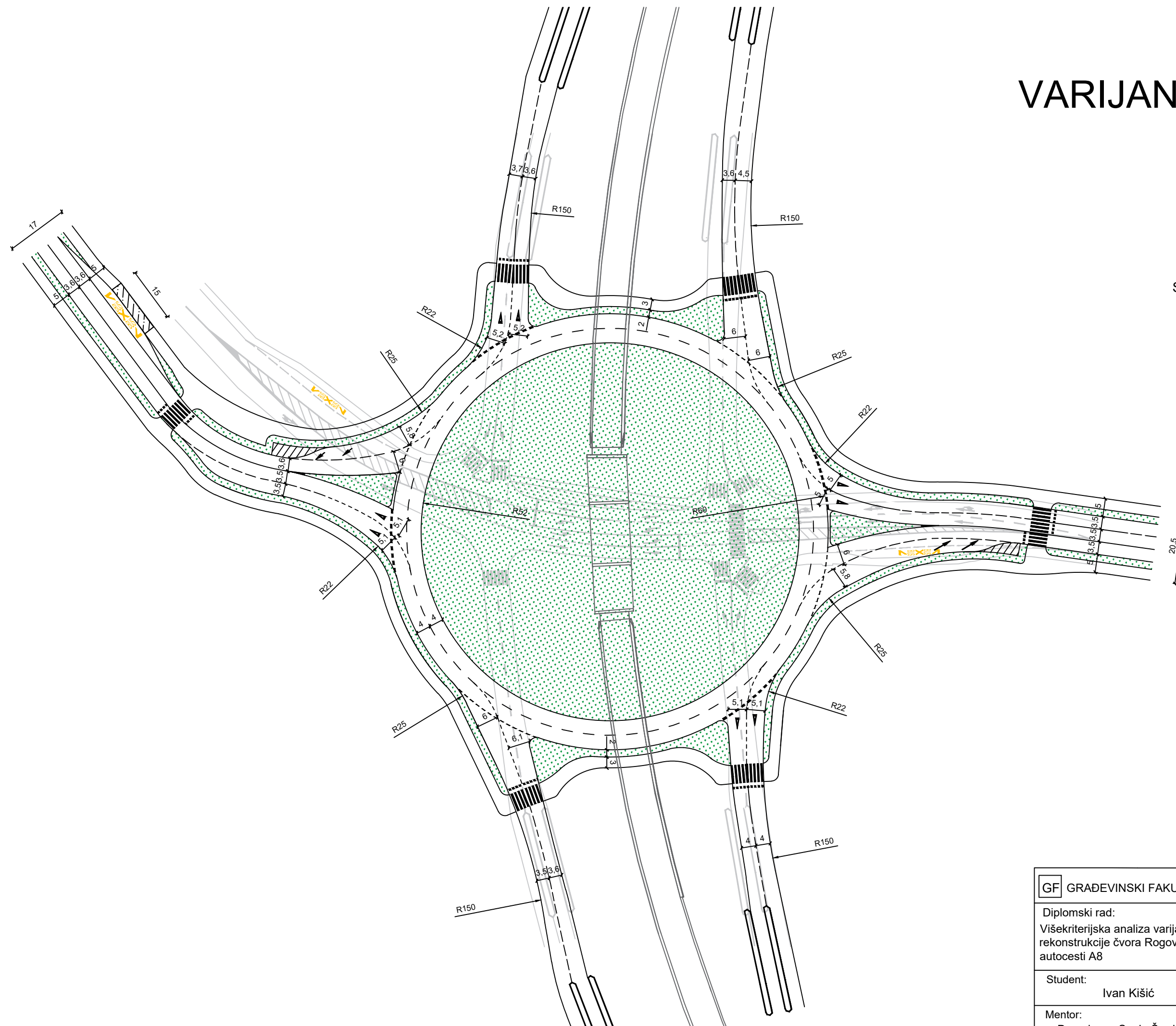
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8		Sadržaj nacрта: Idejno rješenje varijante 1	
Student: Ivan Kišić		Kolegij: Diplomski rad	
Mentor: Doc. dr. sc. Sanja Šurdonja	Datum: 06.2019.	Mjerilo: 1:1000	List: 1

VARIJANTA 2



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovici na autocesti A8		Sadržaj nacрта: Idejno rješenje varijante 2	
Student: Ivan Kišić		Kolegij: Diplomski rad	
Mentor: Doc. dr. sc. Sanja Šurdonja	Datum: 06.2019.	Mjerilo: 1:1000	List: 2

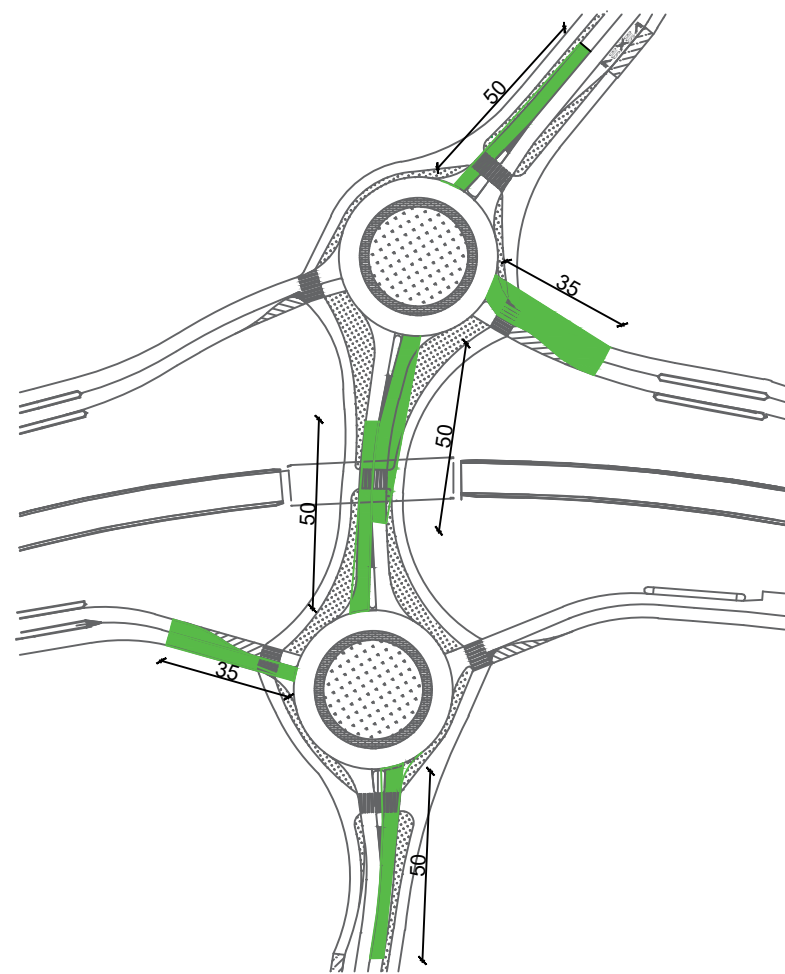
VARIJANTA 3



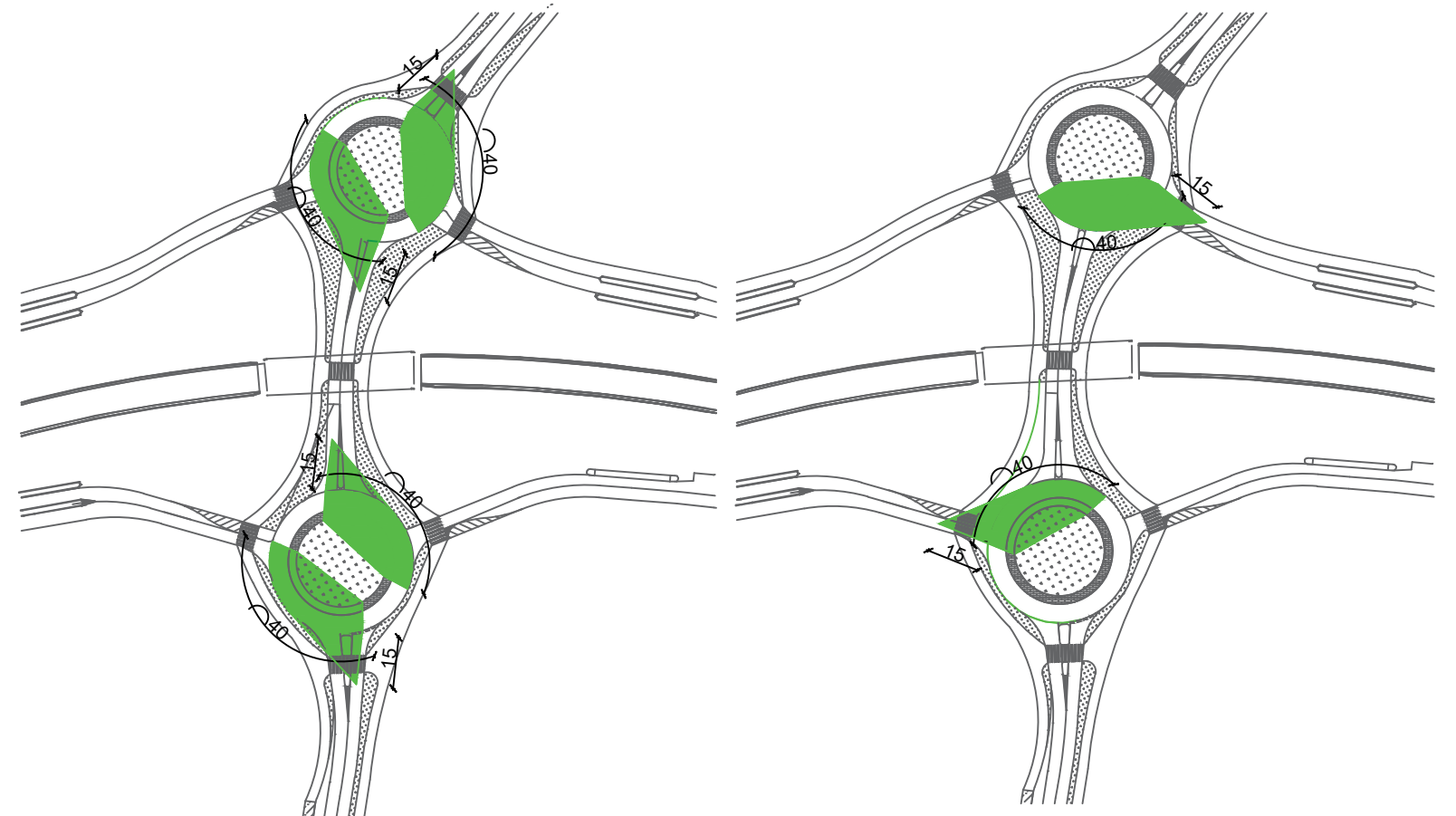
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8		Sadržaj nacрта: Idejno rješenje varijante 3	
Student: Ivan Kišić		Kolegij: Diplomski rad	
Mentor: Doc. dr. sc. Sanja Šurdonja	Datum: 06.2019.	Mjerilo: 1:1000	List: 3

PREGLEDNOST - VARIJANTA 2

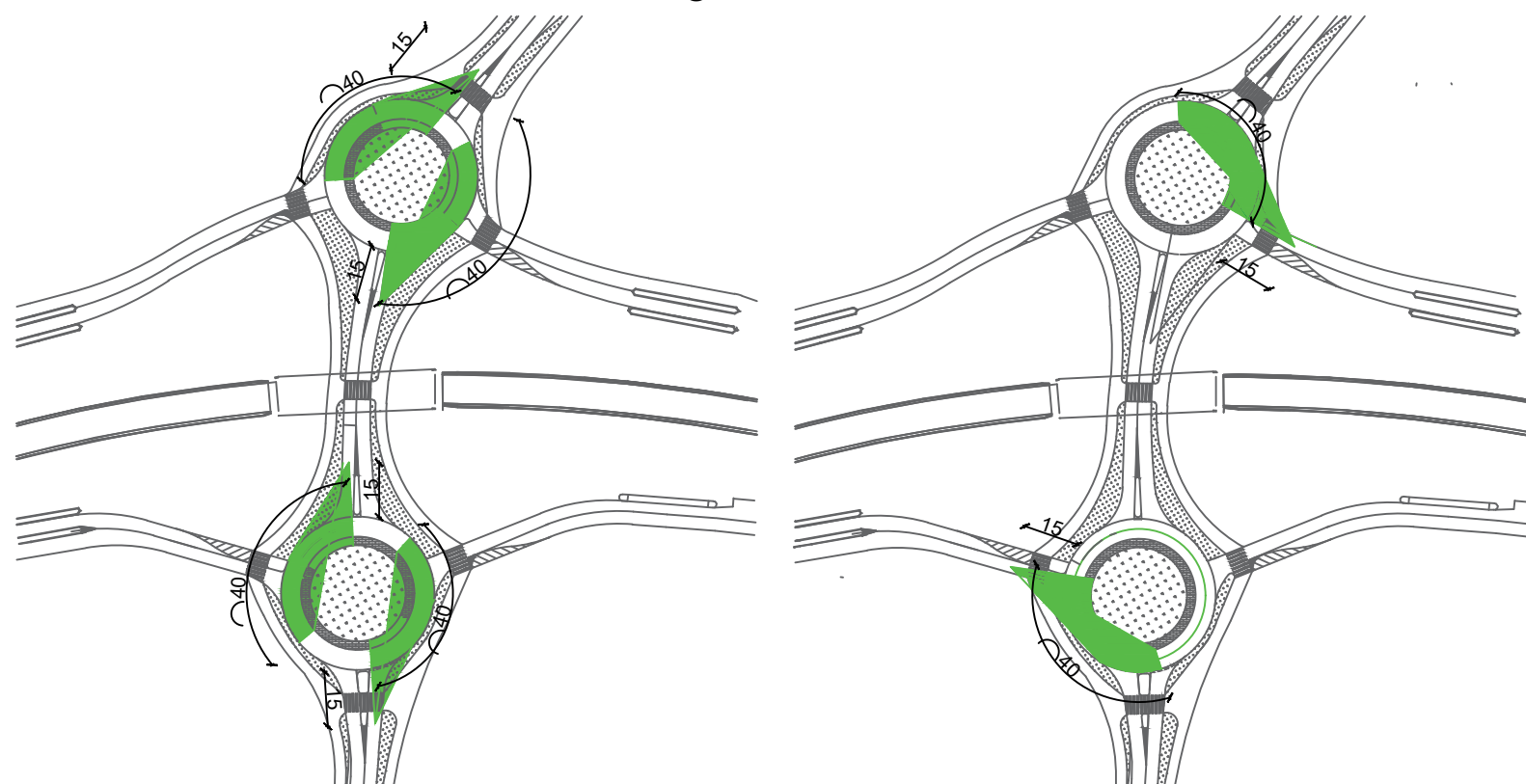
Prilazna preglednost



Preglednost ulijevo i u kuržnom kolniku



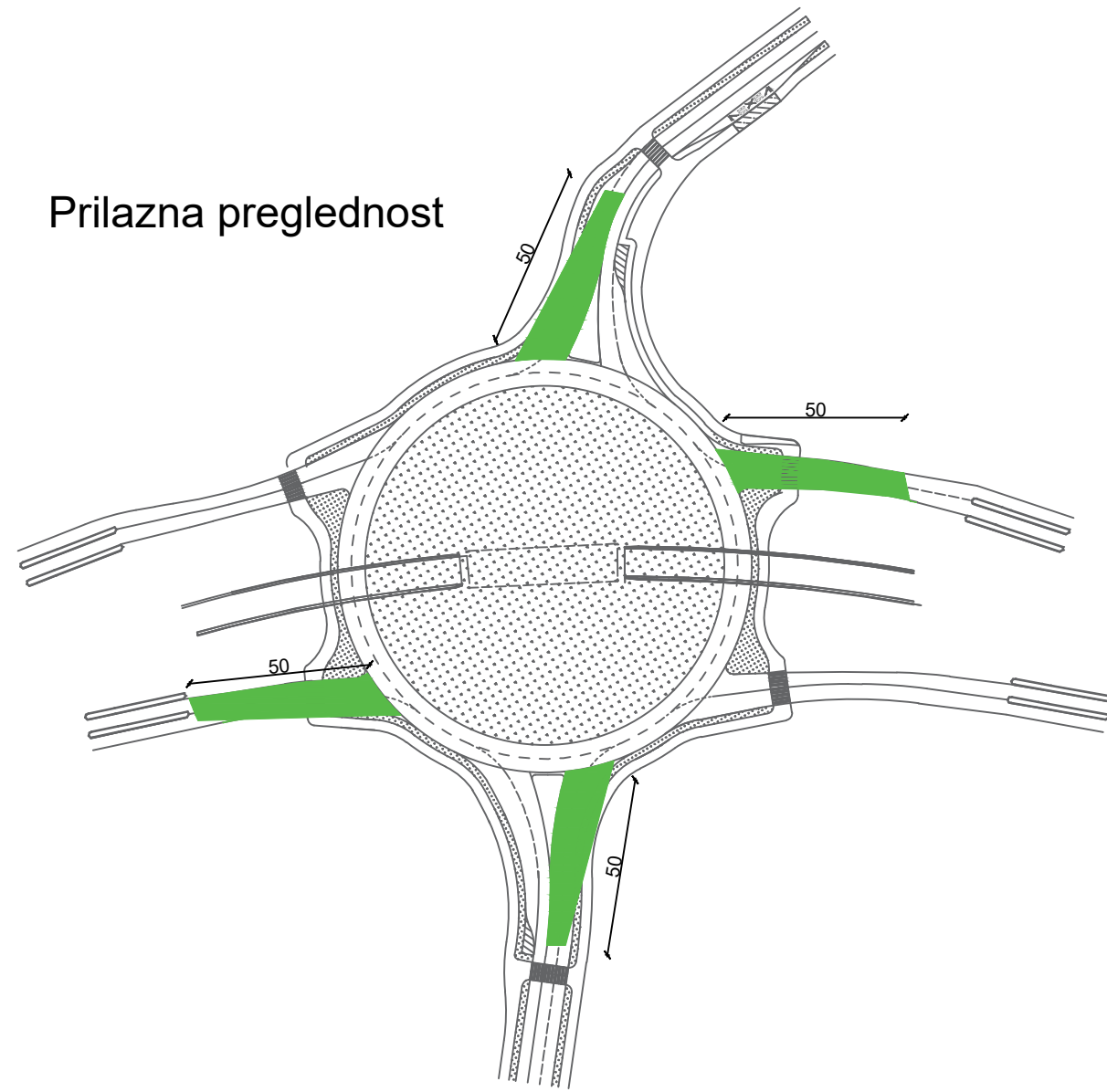
Preglednost na ulazu



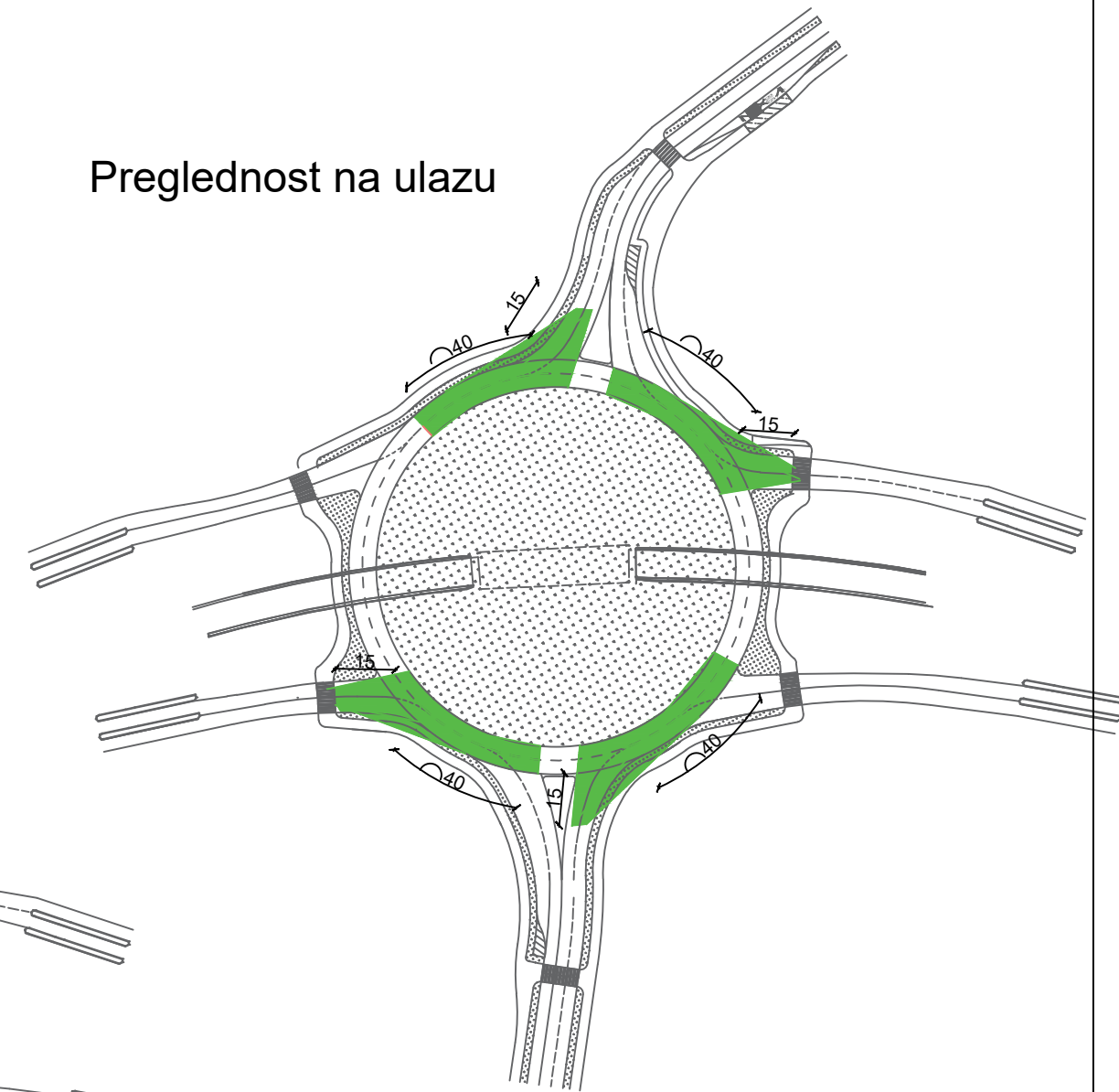
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8		Sadržaj nacрта: Preglednost varijante 2	
Student: Ivan Kišić		Kolegij: Diplomski rad	
Mentor: Doc. dr. sc. Sanja Šurdonja	Datum: 06.2019.	Mjerilo: 1:2000	List: 4

PREGLEDNOST - VARIJANTA 3

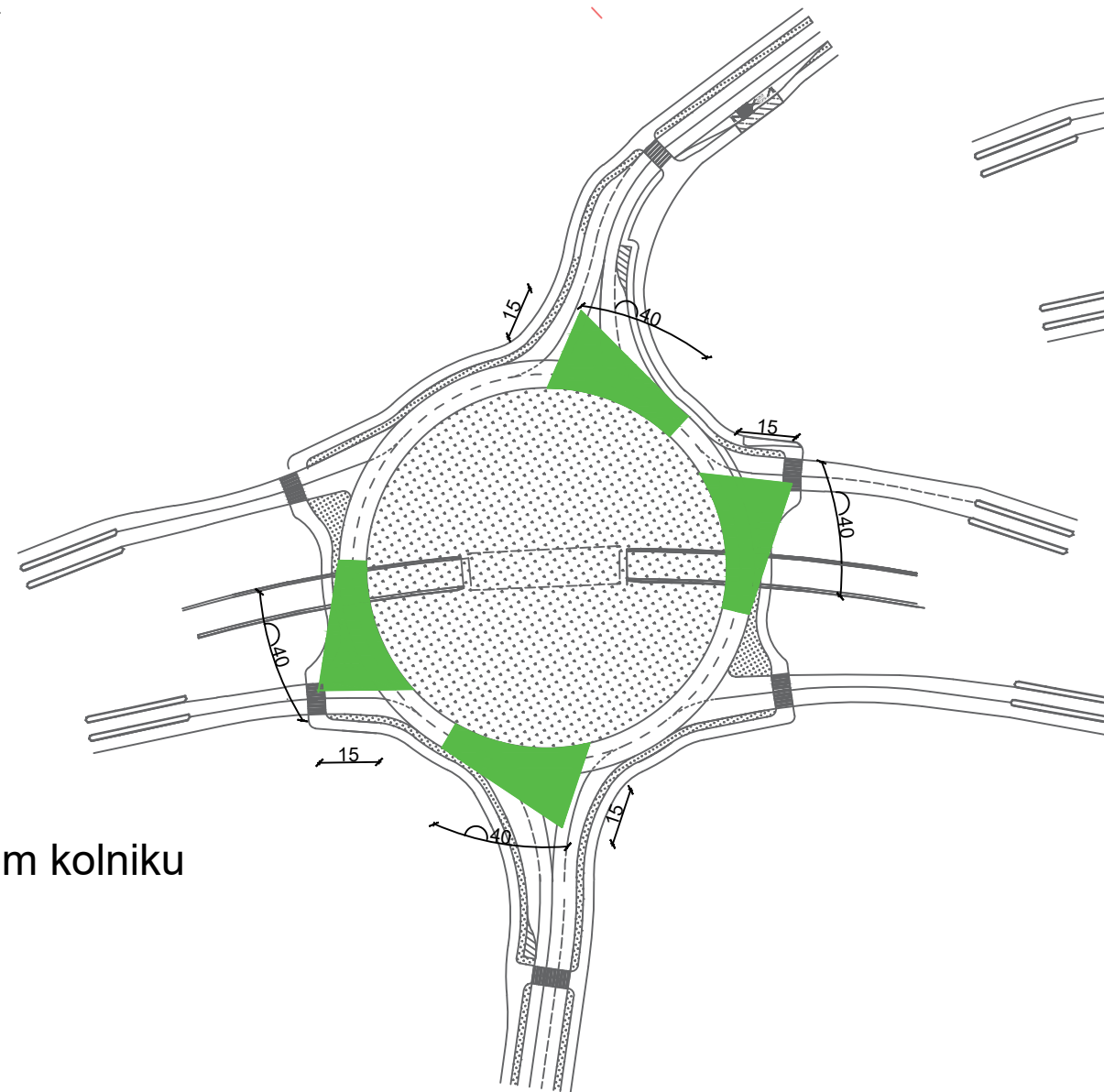
Prilazna preglednost



Preglednost na ulazu



Preglednost ulijevo i u kružnom kolniku



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
Diplomski rad: Višekriterijska analiza varijanata rekonstrukcije čvora Rogovići na autocesti A8		Sadržaj nacrt: Preglednost varijante 3	
Student: Ivan Kišić		Kolegij: Diplomski rad	
Mentor: Doc. dr. sc. Sanja Šurdonja	Datum: 06.2019.	Mjerilo: 1:2000	List: 5