



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Славко Давидовић

**УТИЦАЈ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА
НА УСЛОВЕ ОДВИЈАЊА САОБРАЋАЈА
НА ГРАДСКИМ АРТЕРИЈАМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2021. година

НАВЕСТИ НАЗИВ ФАКУЛТЕТА ИЛИ ЦЕНТРА

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	СЛАВКО ДАВИДОВИЋ
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	Др Вук Богдановић, редовни професор
Наслов рада:	Утицај кружних раскрсница на услове одвијања саобраћаја на градским артеријама
Језик публикације (писмо):	Српски (латиница)
Физички опис рада:	Унети број: Страница 135 Поглавља 9 Референци 115 Табела 47 Слика 81 Графикона - Прилога 4
Научна област:	Саобраћајно инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Планирање, пројектовање и безбедност саобраћаја
Кључне речи / предметна одредница:	Кружна раскрсница, брзина, геометријски параметри, градска артерија
Резиме на језику рада:	Српски и енглески
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	29.10.2020. год

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истовестности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: др Валентина Мировић, ванредни професор Члан: др Силвиа Гилезан, редовни професор Члан: др Биљана Ивановић, доцент Члан: др Зоран Папић, ванредни професор Члан: др Ненад Рушкић, ванредни професор
Напомена:	

UNIVERSITY OF NOVI SAD

FACULTY OR CENTER

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	SLAVKO DAVIDOVIĆ
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Ph.D. Vuk Bogdanović, Full Professor
Thesis title:	Roundabout influence on the arterials traffic conditions
Language of text (script):	Serbian language (latin script)
Physical description:	Number of: Pages 135 Chapters 9 References 115 Tables 47 Illustrations 81 Graphs - Appendices 4
Scientific field:	Traffic engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Planning, design, and traffic safety
Subject, Key words:	Roundabout, speed, geometry, traffic flow
Abstract in English language:	yes
Accepted on Scientific Board on:	29.10.2020.
Defended: (Filled by the faculty service)	

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at he faculty and are not included into the printed thesis.

Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	President: Valentina Mirović, PhD, Associate Professor Member: Silvia Gilezan, PhD, Full Professor Member: Biljana Ivanović, PhD, Assistant Professor Member: Zoran Papić, PhD, Associate Professor Member: Nenad Ruškić, PhD, Associate Professor
Note:	

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujem onima koji su uvijek iskreno i bezrezervno bili moja najveća podrška svih ovih godina, majci Mileni i ocu Jovi, kao i mom bratu.

Takođe se zahvaljujem mentoru, profesoru dr Vuku Bogdanoviću za nesebičnu pomoć i podršku koju mi je pružio tokom izrade doktorske disertacije.

Najiskenije se zahvaljujem dragom kolegi Nemanji Garunoviću, za sve savjete i pomoć koji su mi značajno pomogli u izradi disertacije.

Slavko Davidović

REZIME

Gradski ulični sistem se sastoji od dva osnovna elementa, raskrsnica i segmenata koji ih povezuju. Više uzastopnih segmenata gradskih saobraćajnica koje pripadaju primarnoj uličnoj mreži zajedno sa raskrsnicama predstavlja gradske arterije. Kružne raskrsnice sve češće predstavljaju dio gradskih arterija, a njihov uticaj na uslove odvijanja saobraćaja je specifičan u poređenju sa drugim tipovima površinskih raskrsnica.

Istraživanja koja su vršena u zadnjim decenijama pokazala su da postoje značajne varijacije brzina na kružnim raskrsnicama u zavisnosti od geometrijskih elemenata. Zbog karakteristika kružnih raskrsnica i načina kretanja vozila dolazi do smanjenja brzine, ne samo u zoni kruženja, nego i na prilazima raskrsnice. Varijacije, odnosno smanjenje brzine utiče na povećanje vremena putovanja, što utiče na produženje vremena putovanja arterijama, čak i u uslovima slobodnog toka.

U okviru doktorske disertacije je analiziran uticaja različitih tipova kružnih raskrsnica kao jednog od elemenata uličnog sistema, na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama sa posebnom pažnjom na brzinu kao jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka koji definiše funkcionalnost i kvalitet uslova odvijanja saobraćaja na arterijama u okviru ulične mreže. Istraživanje brzina vršeno je po karakterističnim segmentima kružne raskrsnice, za koje su primjenom rezultata istraživanja i matematičkih alata formirani modeli koji su zasnovani na geometrijskim karakteristikama kružnih raskrsnica i osobenostima i karakteristikama saobraćajnog toka.

Definisani modeli su integrisani u predloženi koncept analize uslova odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama, koji je, kao i postojeće metodologije, zasnovan na vremenu putovanja i brzini na odsjeku arterije.

ABSTRACT

The city street system consists of two basic elements, intersections and segments that connect them. Several consecutive segments of the city streets that belong to the primary street network together with intersections form the city arteries. Roundabouts are increasingly becoming a part of the city's arteries, and their impact on traffic conditions is specific compared to other types of surface intersections.

Researches conducted in recent decades have shown that there are significant velocity variations at roundabouts depending on the geometric elements. Due to the characteristics of roundabouts and the way vehicles move, the speed is reduced, not only in the roundabout zone, but also at the approaches to the intersection. Variations, or a decrease in speed, increase the time of travel, prolonging the time of travel through arteries, even under the conditions of free flow.

Dissertation analyzes the impact of different types of roundabouts as one of the elements of the street system, on the conditions of traffic on city arteries with special attention to speed as one of the basic parameters of traffic flow that defines the functionality and quality of traffic on arteries within the street networks. Speed research was conducted on the basis of the characteristic segments of a roundabout. By applying the results of the research and mathematical tools models were created based on the geometric characteristics and features of roundabouts and the traffic flow.

Same as the existing methodologies, defined models are integrated into the proposed concept of traffic analysis in the city arteries, which is based on the travel time and speed at the artery section.

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
SPISAK SLIKA	III
SPISAK TABELA	V
SPISAK PRILOGA	VI
SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA	VII
1 UVODNA RAZMATRANJA	1
1.1 Definisane probleme i cilja istraživanja	2
1.2 Polazne hipoteze	4
1.3 Primjenjene metode	5
1.4 Struktura doktorske disertacije	7
2 FUNCIONALNE KARAKTERISTIKE ULIČNE MREŽE	9
2.1 Gradske arterije	10
2.2 Pregled metodologije za utvrđivanje nivoa usluge gradskih arterija prema HCM 2016	14
2.3 Ulazni parametri za određivanje nivoa usluge	15
2.4 Postupni metodološki koraci	18
3 KARAKTERISTIKE KRUŽNIH RASKRSNICA	27
3.1 Kratak historijski prikaz	27
3.2 Opšte karakteristike kružnih raskrsnica	29
3.3 Osnovni elementi kružnih raskrsnica	31
3.4 Podjela kružnih raskrsnica	33
3.5 Način regulisanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama	42
3.6 Bezbednost saobraćaja kad kružnih raskrsnica	44
3.7 „Turbo“ kružne raskrsnice	45
3.8 Prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica	46
3.9 Kapacitet kružnih raskrsnica	48
3.10 Nivo usluge kružnih raskrsnica	52
4 ANALIZA REZULTATA POSTOJEĆIH ISTRAŽIVANJA	53
4.1 Istraživanja brzine na kružnim raskrsnicama	53
4.2 Geometrija ulaza	56
4.3 Putanja kretanja vozila	60
5 DEFINISANJE PODRUČJA I METODOLOGIJE ISTRAŽIVANJA	65
5.1 Područje i vrijeme istraživanja	65
5.2 Metodologija merenja i istraživanja brzina na kružnim raskrsnicama u realnom saobraćajnom toku	71

6 ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA BRZINA VOZILA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA	76
6.1 Karakteristike uzorka	79
6.2 Deskriptivna statistika uzorka	80
6.3 Analiza distribucije uzorka.....	87
7 MODEL ZA UTVRĐIVANJE BRZINA VOZILA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA	92
7.1 Izbor mjerodavnih prediktora	92
7.2 Izbor potencijalnih prediktora	100
7.2.1 Analiza uticaja tipa prolaska vozila	100
7.2.2 Izbor potencijalnih prediktora formiranjem regresije najboljeg podskupa merodavnih prediktora	104
7.3 Formiranje modela	104
7.4 Model srednje brzine toka na prilazu (S_app)	106
7.5 Model srednje brzine toka na ulivnom grlu (S_ent).....	107
7.6 Model srednje brzine toka u zoni kruženja(S_crc).....	108
7.7 Model srednje brzine toka na izlivnom grlu (S_ext).....	110
7.8 Ograničenja modela.....	111
7.9 Testiranje modela	112
8 PRIMJENA MODELA NA GRADSKIM ARTERIJAMA	120
8.1 Primjer primjene koncepta ukupnog vremena putovanja.....	122
9 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	127
LITERATURA	129
PRILOG	136
Prilog 1 Rezultati statističke obrade brzina na raskrsnicama – deskriptivna statistika	136
Prilog 2 Grafički prikaz saglasnosti uzorka sa Normalnom raspodelom	147
Prilog 3 Faktori korelacije brzina i geometrijskih parametara raskrsnice	159
Prilog 4 Regresiona analiza zavisnosti brzina i geometrijskih parametara	161

SPISAK SLIKA

Slika 2.1 Karakteristični korisnici gradske saobraćajnice (NACTO, 2012)	10
Slika 2.2 Šematski prikaz odsjeka gradske saobraćajnice.....	11
Slika 2.3 Trajektorije vrijeme-prostor vozila uzduž jedne trake arterije (Kuzović, Lj., 2000) 12	12
Slika 2.4 Postupak utvrđivanja nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama	18
Slika 2.5 Raspodjela dolaska ukupnog broja vozila tokom ciklusa	23
Slika 3.1 „Columbus circle“ u Njujorku, na Menhetnu	27
Slika 3.2 Saobraćajni plan Pariza	28
Slika 3.3 „Carrefours à girations“	28
Slika 3.4 Trajektorije kretanja u kružnoj raskrsnici	30
Slika 3.5 Osnovni elementi kružnih raskrsnica	32
Slika 3.6 Geometrijski elementi kružne raskrsnice	33
Slika 3.7 Šematski prikaz klasične kružne raskrsnic.....	34
Slika 3.8 Zvonasta kružna raskrsnica	35
Slika 3.9 Kružna raskrsnica u Banjaluci (ukrštanje ulica Knjaza Miloša – Ivana G. Kovačića)	36
Slika 3.10 Rotor Jadranska avenija, Zagreb, Hrvatska	36
Slika 3.11 Semaforisana kružna raskrsnica, Cape Town, Western Cape, South Africa	37
Slika 3.12 Kružne raskrsnice sekundarne putne mreže.....	37
Slika 3.13 Šematski prikaz mini kružne raskrsnice.....	38
Slika 3.14 Mini kružna raskrsnica, Banjaluka (BiH), ukrštanje ulica Aleja svetog Save – Vase Pelagića	39
Slika 3.15 Šematski prikaz jednotračne kružne raskrsnice	39
Slika 3.16 Jednotračna kružna raskrsnica, Banjaluka (BiH), ukrštanje ulica Cara Lazara – Isaije Mitrović.....	40
Slika 3.17 Šematski prikaz dvotračne kružne raskrsnice	40
Slika 3.18 Šematski prikaz trotračne kružne raskrsnice.....	41
Slika 3.19 Dvotračna kružna raskrsnica, Banja Luka (BiH), ukrštanje ulica Krajiških brigada - Karadorđeva	41
Slika 3.20 Saobraćajni znakovi za regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama	42
Slika 3.21 Kretanje na trokrakoj i kružnoj raskrsnici.....	43
Slika 3.22 Potencijalne konfliktne tačke na klasičnoj četverokrakoj prioritetnoj raskrsnici i .	45
Slika 3.23 <i>Razlike između termina „gap“ i „headway“</i>	49
Slika 4.1 Šematski prikaz elemenata R, U i L.....	55
Slika 4.2 Radijusi putanja kretanja.....	56
Slika 4.3 Prirodna putanja vozila	57
Slika 4.4 Preklapanje putanja vozila	57
Slika 4.5 Tehnika provjere preklapanja putanja prema KDOT i WisDOT	58
Slika 4.6 Tehnika povećavanja unutrašnjeg prečnika	58
Slika 4.7 Geometrijski vremenski gubici u zavisnosti od veličine kružne raskrsnice	59
Slika 4.8 Najbrže putanje kod dvotračnih kružnih raskrsnica.....	61
Slika 4.9 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za kretanja pravo	62
Slika 4.10 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za skretanje desno ..	62

Slika 4.11 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za skretanje lijevo ..	63
Slika 5.1 Pozicije analiziranih raskrsnica na uličnoj mreži grada Banja Luka	66
Slika 5.2 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Gundulićeva – Aleja svetog Save (oznaka R1)	67
Slika 5.3 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Majke Jugovića – Bul. Desanke Maksimović (oznaka R2)	68
Slika 5.4 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića (oznaka R3).....	69
Slika 5.5 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića (oznaka R4).....	70
Slika 5.6 Istraživanje Bruce Greenshields, 1933.....	71
Slika 5.7 Dron "DJI Mavic 2 Pro".....	72
Slika 5.8 Prikaz prikupljanja podataka za jedan prilaz sa definisanim referentnim presjecima (eng. gate).....	73
Slika 5.9 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na prilazu.....	73
Slika 5.10 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na ulazu u kružni tok.....	73
Slika 5.11 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku unutar kružnog toka	74
Slika 5.12 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na izlazu	74
Slika 5.13 Prikaz tabele sa podacima o brzini za raskrsnicu R1	74
Slika 5.14 Prikaz tabele sa objedinjenim podacima za sve kružne raskrsnice	75
Slika 6.1 Ometana vozila	76
Slika 6.2 Neometana vozila.....	76
Slika 6.3 Prilaz sa jednom saobraćajnom trakom	79
Slika 6.4 Prilaz sa dvije saobraćajne trake	79
Slika 6.5 Zone posmatranja brzina (primjer za raskrsnicu R1 Gundulićeva – Aleja svetog Save, za jedan prilaz)	80
Slika 6.6 Zamišljeni presjek na kojem je mjerena brzina vozila na prilazu.....	81
Slika 7.1 Uopšteni postupak formiranja modela karakterističnih brzina	92
Slika 7.2 Geometrijski parametri koji potencijalno mogu uticati na brzinu vozila.....	94
Slika 7.3 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R1: Gundulićeva – Aleja svetog Save	95
Slika 7.4 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R2: Majke Jugovića –	96
Slika 7.5 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R3: Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića.....	97
Slika 7.6 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R4: Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića.....	98
Slika 7.7 Oblasti prihvatanja i odbacivanja nulte hipoteze H_0 u slučaju dvosmjernog testa..	101
Slika 7.8 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_{app}	102
Slika 7.9 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_{ent}	102
Slika 7.10 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_{crc}	103
Slika 7.11 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_{ext}	103
Slika 7.12 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{app}	107
Slika 7.13 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ent}	108
Slika 7.14 Grafički prikaz razlike brzina S_{crc} u zavisnosti od izlaznog kraka	109
Slika 7.15 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{crc}	110
Slika 7.16 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ext}	111
Slika 7.17 Odnos modelovanih i izmjerenih vrijednosti prosječnog vremena putovanja kroz raskrsnicu	115
Slika 7.18 Odnos modelovanih i izmjerenih vrijednosti srednje brzine toka na raskrsnici ...	115
Slika 7.19 Rezultat testa saglasnosti uzorka prosječnog vremena putovanja kroz raskrsnicu sa Normalnom raspodjelom.....	116

Slika 7.20 Rezultat testa saglasnosti uzorka srednje brzine toka na raskrsnici sa Normalnom raspodjelom	117
Slika 8.1 Princip definisanja odsjeka gradske arterije prema postojećoj metodologiji HCM-a	120
Slika 8.2 Princip definisanja odsjeka gradske arterije prema konceptu ukupnog vremena putovanja	121
Slika 8.3 Dispozicija svetlosnih signala na raskrsnici Bulevar Vojvode Stepe-Majke Jugovića	124
Slika 8.4 Plan tempiranja svjetlosnih signala na raskrsnici Bulevar Vojvode Stepe-Majke Jugovića.....	124

SPISAK TABELA

Tabela 1.1 Naučne metode koje su korišćenje prilikom izrade doktorske disertacije	6
Tabela 2.1 Funkcionalna klasifikacija gradske putne mreže.....	9
Tabela 2.2 Podjela gradskih arterija	13
Tabela 2.3 Nivo usluge u zavisnosti od brzine i odnosa protoka i kapaciteta (v/c).....	14
Tabela 2.4 Granične vrijednosti brzine putovanja za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica	25
Tabela 3.1 Podjela kružnih raskrsnica u zavisnosti od veličine i broja saobraćajnih traka	38
Tabela 3.2 Učestalost događanja saobraćajnih nezgoda u kružnim raskrsnicama	44
Tabela 3.3 Prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica	46
Tabela 3.4 Vrijednost parametara za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica prema HCM 2010 i HCM 6.....	51
Tabela 3.5 Nivo usluge i prosječni vremenski gubici	52
Tabela 4.1 Vrijednosti parametara Ln , αn , rn i vn u zavisnosti od veličine kružne raskrsnice	63
Tabela 5.1 Podaci o poziciji analiziranih raskrsnica	71
Tabela 6.1 Veličina uzorka, podjela po raskrsnicama.....	76
Tabela 6.2 Veličina uzorka, podjela po raskrsnicama, prilazima i tipu prolaska	77
Tabela 6.3 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R1	77
Tabela 6.4 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R2	78
Tabela 6.5 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R3	78
Tabela 6.6 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R4	78
Tabela 6.7 Karakteristike brzine toka na prilazu (S_{app}), neometana vozila (CON).....	82
Tabela 6.8 Karakteristike brzine toka na prilazu (S_{app}), ometana vozila (DIS)	82
Tabela 6.9 Karakteristike brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent}), neometana vozila (CON).....	83
Tabela 6.10 Karakteristike brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent}), ometana vozila (DIS).....	83
Tabela 6.11 Karakteristike brzine toka u kruženju (S_{crc}), neometana vozila (CON).....	84
Tabela 6.12 Karakteristike brzine toka u kruženju (S_{crc}), ometana vozila (DIS)	85
Tabela 6.13 Karakteristike brzine toka na izlivnom kraku (S_{ext}), neometana vozila (CON) 86	
Tabela 6.14 Karakteristike brzine toka na izlivnom kraku (S_{ext}), ometana vozila (DIS)	86
Tabela 6.15 Rizici greške kod testiranja hipoteza (Petz, 1985)	88
Tabela 6.16 Saglasnost uzorka brzina na prilazu raskrsnici (S_{app}) sa normalnom raspodjelom	89
Tabela 6.17 Saglasnost uzorka brzina na ulivnom grlu (S_{ent}) sa normalnom raspodjelom ..	89
Tabela 6.18 Saglasnost uzorka brzina u kruženju (S_{crc}) sa normalnom raspodjelom.....	90

Tabela 6.19 Saglasnost uzorka brzina na izlivnom grlu (S_{ext}) sa normalnom raspodjelom .	91
Tabela 7.1 Geometrijski parametri raskrsnice R1: Gundulićeva – Aleja svetog Save	94
Tabela 7.2 Geometrijski parametri raskrsnice R2: Majke Jugovića – Bulevar Desanke Maksimović.....	95
Tabela 7.3 Geometrijski parametri raskrsnice R3: Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića	96
Tabela 7.4 Geometrijski parametri raskrsnice R4: Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode	97
Tabela 7.5 Koeficijenti korelacije između karakterističnih brzina i parametara geometrije ...	98
Tabela 7.6 Koeficijenti korelacije između karakterističnih brzina	99
Tabela 7.7 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_{app}	102
Tabela 7.8 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_{ent}	102
Tabela 7.9 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_{erc}	103
Tabela 7.10 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_{ext}	103
Tabela 7.11 Rezultati izmerenih i modelovanih vrednosti vremena putovanja toka i srednje brzine toka	114
Tabela 7.12 Rezultati uparenog t-testa za vrijeme putovanja kroz kružnu raskrsnicu.....	118
Tabela 7.13 Rezultati uparenog t-testa za srednju brzinu toka na raskrsnici	118
Tabela 8.1 Kriterijumi za definisanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama (BFFS = 55 km/h)	125
Tabela 8.2 Ključni rezultati analize uslova odvijanja saobraćaja na posmatranoj dionici prema postojećoj metodologiji	125
Tabela 8.3 Ključni rezultati analize uslova odvijanja saobraćaja na posmatranoj dionici prema konceptu ukupnog vremena putovanja.....	126

SPISAK PRILOGA

Prilog 1 Rezultati statističke obrade brzina na raskrsnicama – deskriptivna statistika.....	136
Prilog 2 Grafički prikaz saglasnosti uzorka sa Normalnom raspodelom	147
Prilog 3 Faktori korelacije brzina i geometrijskih parametara raskrsnice.....	159
Prilog 4 Regresiona analiza zavisnosti brzina i geometrijskih parametara	161

SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA

A	
AWSC	Način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama sa obavezom zaustavljanja na svim prilazima (eng. <i>All-Way Stop Control</i>)
APP	Prilaz kružnoj raskrsnici
AD	Anderson-Darling test
C	
CON	Tip prolaska - vozila koja nisu ometana u saobraćajnom toku
D	
DIS	Tip prolaska - vozila koja su ometana u saobraćajnom toku
DEP	Izlaz iz kružne raskrsnice
D1	Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)
D2	Prečnik centralnog ostrva (m)
E	
En_lane	Parametar kojim se definiše kretanje vozila na prilazu, ulivnom grlu, kruženju i izlazu
F	
FVS	Faktor vršnog sata (eng. <i>Peak Hour Factor – PHF</i>)
G	
g	Gustina saobraćajnog toka (voz/km) (eng: <i>Density – d</i>)
H	
HCM 2016	Priručnik za proračun kapaciteta i nivoa usluge, izdanje iz 2016 godine (eng. <i>Highway Capacity Manual 6th edition</i>)
I	
IPP	Izdvojeni pješački prelaz
INT	Oznaka raskrsnice
L	
LOS	Nivo usluge (eng. <i>Level of service</i>)

L_ent	Dužina pređenog puta na ulivnom grlu (m)
L_crc	Dužina pređenog puta u kruženju (m)
L_ext	Dužina pređenog puta na izlivnom kraku (m)

M

Mean	Srednja vrijednost uzorka
Min	Minimalna vrijednost uzorka
Max	Maksimalna vrijednost realizovanog uzorka
Med	Medijana, vrijednost koja se nalazi na polovini

N

N	Veličina uzorka
N_lne	Broj saobraćajnih traka na prilazu
N_lnx	Broj saobraćajnih traka na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila
N_cr	Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza

R

R_en	Radijus ulaza (m)
R_ex	Radijus izlaza na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m)

P

PAJ	Jedinice putničkih automobila (<i>eng. Passenger car units - PCU</i>)
P	P-vrijednost izvršenog testa

S

SE Mean	Standardna greška srednje vrijednosti
StDev	Standardna devijacija uzorka (<i>eng. Standard Deviation</i>)
Svk_model	Modelovana srednja brzina toka kroz raskrnicu (km/h)
S_h	Rastojanje sljeđenja između vozila (m)
S_app	Brzina vozila na prilazu (km/h)
S_ent	Brzina vozila na ulivnom grlu raskrsnice (km/h)
S_crc	Brzina vozila u kruženju (kružnom toku) (km/h)
S_ext	Brzina vozila na izlivnom kraku (km/h)

T

t	Vrijeme putovanja vozila (s; min; h)
t_{h_veh}	Interval sljeđenja vozila u toku (s)
t_{h_ped}	Interval sljeđenja između pješaka (s)
t_v	Vrijeme vožnje vozila u toku (s; min)
TV(%)	Procenat teretnih vozila u toku

TWSC	Način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama sa obavezom zaustavljanja samo na dva prilaza odnosno na prilazima sporednog putnog pravca (eng. <i>Two-Way Stop Control</i>)
Tvk_model	Modelovano prosječno vrijeme putovanja toka kroz raskrsnicu (s)

W

W_lne	Širina saobraćajne trake na prilazu (m)
W_en	Širina ulaza (m)
W_lnc	Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m)
W_cr	Širina kružnog kolovoza (m)
W_lnx	Širina saobraćajne trake na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m)
W_ex	Širina izlaza na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m)

1 UVODNA RAZMATRANJA

Gradski ulični sistem se sastoji od dva osnovna elementa, raskrsnica i segmenata koji ih povezuju. Više uzastopnih segmenata gradskih saobraćajnica koje pripadaju primarnoj uličnoj mreži zajedno sa raskrsnicama predstavlja gradske arterije. Zbog složenih uslova odvijanja saobraćaja raskrsnice predstavljaju kritična mjesta na gradskim arterijama i značajno utiču na uslove odvijanja saobraćaja. Raskrsnice mogu biti površinske, odnosno u jednom nivou i one su najšire zastupljene i denivelisane (u više nivoa). Uzimajući u obzir način regulisanja saobraćaja, raskrsnice možemo podjeliti u dvije grupe: nesignalisane i signalisane (Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., & Han, L. D., 2013). Na raskrsnicama dolazi do presjecanja i povremenog prekidanja saobraćajnih tokova zbog ustupanja prioriteta vozilima koja se kreću prioritetnim putnim pravcem ili zbog rada svjetlosne saobraćajne signalizacije. Analiza uslova odvijanja saobraćaja podrazumjeva analizu gradske arterije kao složenog sistema, iako generalno gledajući, okvir analize određuje analitičar. U slučaju kada se analiza vrši za putovanja po gradu, analiza mora obuhvatiti sve elemente gradskih arterija kako bi se dobili parametri na osnovu kojih se može izvršiti ocjena sistema (Bonneson, J. A., M. P. Pratt, and M. A. Vandehey, 2008).

Kružne raskrsnice sve češće predstavljaju dio gradskih arterija, a njihov uticaj na uslove odvijanja saobraćaja je specifičan u poređenju sa drugim tipovima raskrsnica. Od kraja prošlog vijeka, na gradskim saobraćajnicama dominiraju kružne raskrsnice regulisane znacima prioriteta kojima se obezbjeđuje prioritet za vozila u zoni kruženja u odnosu na ulivna grla koja predstavljaju sporedne putne pravce. Za razliku od drugih tipova raskrsnica, kružne raskrsnice zbog svoje specifične geometrije značajno utiču na brzinu saobraćajnog toka za sva kretanja i manevre, na svim prilazima. Još od prvih naučnih i stručnih radova, utvrđena je funkcionalna veza između geometrijskih i konstruktivnih karakteristika funkcionalnih dijelova putne i ulične mreže i brzine saobraćajnog toka (HCM, 1950), samim tim i uslova odvijanja saobraćaja. S obzirom na funkcionalnu zavisnost brzine i ostalih parametara saobraćajnog toka, jasno je da varijacija brzine na nekom dijelu gradskih saobraćajnica utiče na promjenu uslova odvijanja saobraćaja na kompletnoj arteriji, s tim da prostorna i vremenska distribucija uticaja zavisi od veličine varijacije. Za razliku od svih drugih tipova raskrsnica, brzina vozila prilikom prolaska kroz kružnu raskrsnicu je uvek manja od brzine vozila na segmentu koji joj prethodi. Naime, pored distribucije tokova po smjerovima vožnje, kružna raskrsnica ima i funkciju usporivača brzine. Za dobro kontrolisan prolazak kružnom raskrsnicom, geometrijskim elementima se smanjuje brzina vozila na prilazu raskrsnici, ograničava brzina u kružnom toku i omogućava postizanje normalne brzine nakon izlaska iz kružnog toka (Trueblood, M., Dale, J., 2003). Međutim, zbog složenih geometrijskih karakteristika i složenosti manevara brzina prolaska vozila kroz kružnu raskrsnicu nije konstantna. Ona zavisi od geometrije elemenata kružne raskrsnice, odnosno njenih konstruktivnih karakteristika.

U mnogim radovima su istraživani odnosi između određenih geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica i prosječne brzine, koju su definisali kao prosječnu vrijednost ulazne brzine, brzine unutar kružne raskrsnice i izlazne brzine (Chen, Y., Persaud, B., Lyon, C., 2011). Međutim, pored geometrije, brzina na kružnim raskrsnicama zavisi od uslova odvijanja saobraćaja, odnosno od parametara saobraćajnog toka. U mnogim istraživanjima je pokazano da postoji veza između geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica, brzine i kapaciteta, parametra saobraćajnog toka i uslova odvijanja saobraćaja (Vincenzo, G., Rosolino, V., Teresa, I., 2014), (Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., & O'Brien, A., 2010). Kombinacija uticaja geometrije, parametara saobraćajnog toka i ponašanja vozača čini uslove odvijanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama veoma složenim sa značajnim varijacijama brzine i drugih parametara saobraćajnog toka.

U okviru doktorske disertacije biće analiziran uticaja različitih tipova kružnih raskrsnica kao jednog od elemenata, na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama. U okviru analize posebna pažnja biće usmjerena na brzinu kao jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka koji definiše funkcionalnost i kvalitet uslova odvijanja saobraćaja na arterijama u okviru ulične mreže, odnosno formiranje modela koji će prikazati funkcionalnu vezu između geometrijskih i konstruktivnih karakteristika puta i elemenata saobraćajnog toka.

Analiziraće se uticaj geometrijskih elemenata različitih tipova i vrsta kružnih raskrsnica, utvrditi funkcionalna zavisnost i definisati model uticaja kružnih raskrsnica na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama. Pored toga, analiziraće se i uticaj lokalnih uslova i specifičnosti, koji pre svega zavise od ponašanja vozača, na uslove odvijanja saobraćaja.

1.1 Definisane problema i cilja istraživanja

Osnovni cilj istraživanja je definisanje i modeliranje uticaja geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica na brzinu i druge parametare saobraćajnog toka, odnosno uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama. Radi realizacije postavljenog cilja neophodno je sprovesti istraživanja u realnim uslovima odvijanja saobraćaja, analizirati i definisati zavisnost između geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica i brzine saobraćajnog toka i izvršiti kalibraciju i modeliranje.

Modeli za analizu uslova odvijanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama se razvrstavaju u dvije kategorije: regresioni modeli i analitički modeli (Highway Capacity Manual 6, 2016). Regresioni modeli na osnovu prikupljenih i statistički obrađenih podataka formiraju odnos između geometrijskih karakteristika kružne raskrsnice i kapaciteta, vremenskih gubitaka, odnosno uslova i načina odvijanja saobraćaja. Analitički modeli se zasnivaju na teoriji saobraćajnog toka simulirajući pojedinačna vozila kombinovano sa parametrima vezanim za ponašanje vozača, što rezultira analitičkom formulacijom koja prikazuje vezu između ovih parametara i pokazatelja saobraćajne usluge. Posljednje studije rađene u SAD-u pokazuju da kombinacija različitih modela, uz određena kalibrisanja na osnovu istraživanja u realnim uslovima odvijanja saobraćaja daje najbolje rezultate. Kalibracija bilo kog od modela ili kombinacije različitih modela je od suštinske važnosti za postizanje realnih rezultata. Kalibracija pojedinih parametara može biti veoma izazovna jer se iskustva primjene na drugim

dijelovima ulične mreže ne mogu direktno primjeniti na kružnim raskrscima, pa su neophodna dodatna istraživanja (npr. geometrija, ponašanje vozača i dr). Priručnik HCM (Highway Capacity Manual 6, 2016) u preporuci za primjenu alata predviđa 5 koraka od kojih je prvi „Identifikacija ograničenja“ pa onda slijedi odluka između makroskopskog ili mikroskopskog pristupa, razvoj prilagođene konfiguracije za analizu HCM procedura, analiza alternativnog alata i interpretacija rezultata.

U mnogim radovima naglašava se značaj istraživanja parametara saobraćajnog toka u uslovima realnog saobraćajnog toka za kalibraciju teorijskih, matematičkih modela za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica. Radovi (Brilon, W., Koenig, R., Troutbeck, R. J., 1999), (Weinert, A., 2000), kao i priručnici za proračun kapaciteta (Highway Capacity Manual, 2010), (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016) ističu značaj i potrebu lokalnih istraživanja i mjerenja. Dosadašnja istraživanja pokazala su da postoji značajan uticaj lokalnih uslova odvijanja saobraćaja na vrijednost parametara saobraćajnog toka, samim tim i na vrijednost kapaciteta svih tipova prioriternih raskrsnica, u koje spadaju i kružne prioritne raskrsnice (Bogdanović, V., 2005) (Cheng, J., Yang, X., Deng, W., & Huang, X., 2008), (Gazzarri, A., Martello, M. T., Pratelli, A., Souleyrette, R. R., 2013). Ovi radovi pokazali su da uticaj geometrije, ponašanja vozača i drugih parametara posebno dolaze do izražaja u uslovima saobraćajnog toka bliskim zasićenom toku. U skladu sa tim, posebna pažnja je usmjerena ka lokaciji i vremenu istraživanja. Pod geometrijskim karakteristikama kružnih raskrsnica podrazumjeva se broj saobraćajnih traka na ulivnom grlu, širina ulaza, veličina upisanog prečnika kruga i dr (Guichet B., 1997) (Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, 2009).

Prilikom utvrđivanja uslova odvijanja saobraćaja na svim tipovima nesignalisanih raskrsnica, uobičajeno se koriste „Harders“ ili „Siegloch“ modeli, zasnovani na verovatnoći prihvatanja intervala sljeđenja koji se javljaju u prioriternom toku od strane vozača koji vrše sporedne manevre. Ovi modeli ne uzimaju u obzir geometrijske karakteristike raskrsnice, odnosno njihov uticaj na parametre saobraćajnog toka, kapacitet i uslove odvijanja saobraćaja. Od kraja prošlog vijeka, uslovi odvijanja saobraćaja na kružnim raskrscima kod kojih prioritet imaju vozila u zoni kruženja, takođe se utvrđuju na osnovu pomenutih „Harders“ ili „Siegloch“ modela. Međutim, uvažavajući modele zasnovane na prihvatljivim intervalima sljeđenja, u mnogim istraživanjima je pokazano da postoji veza između geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica i ponašanja vozača sa brzinom saobraćajnog toka, kapacitetom i uslovima odvijanja saobraćaja na kružnim raskrscima (Vaiana R., Gallelli V., Iuele T., 2013), (B. W. Robinson, L. Rodegerds, W. Scarborough, W. Kittelson, R. Troutbeck, W. Brilon, L. Bondizo, K. Courage, M. Kyte, J. Mason, W. Flannery, E. Myers, J. Bunker and G. Jacquemart, 2000). U skladu sa tim, određeni simulacioni modeli omogućavaju prostornu raspodjelu brzine, odnosno definisanje zone smanjivanja brzine na prilazima kružne raskrsnice, brzine u zoni kruženja i ubrzanja do uobičajenih vrijednosti na izlivnim grlima, odnosno linkovima (Vaiana R., Gallelli V., Iuele T., 2013).

Lokalna mjerenja se realizuju u svijetu još od polovine XX vijeka, jer je poznato da lokalni uslovi odvijanja saobraćaja mogu značajno uticati na izmjenu preporučenih vrijednosti parametara kod proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica (Vasconcelos, Seco, & Silva, 2013), ili semaforisanih raskrsnica (Zhou, Lu, Mierzejewski, & Le, 2000) i dr. Istraživanja (Rodegerdts, L. A., A. Malinge, P. S. Marnell, S. G. Beard, M. J. Kittelson, and Y. S. Mereszczak, 2015)

koja su vršena neposredno prije pisanja Priručnika HCM 2016 (Highway Capacity Manual 6) otkrila su značajne razlike uslova odvijanja saobraćaja na kružnim raskrscima širom SAD, za vrlo slične veličine zahtjeva za protokom. Kao mogući uzroci navode se različite geometrijske karakteristike kružnih raskrscima ili lokalna kulturološka ponašanja vozača.

U dosadašnjim istraživanjima nisu definisani uticaji geometrije kružne raskrsnice na varijaciju brzine i uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama u lokalnim uslovima odvijanja saobraćaja. Poboljšanjem i kalibracijom postojećih modela koji bi uvažio uticaj geometrije kružne raskrsnice značajno bi se unaprijedili postupci za analizu uslova odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama.

U skladu sa postavljenim ciljem, očekivanja su da će se istraživanjem u realnim uslovima odvijanja saobraćaja omogućiti poboljšanje modela za utvrđivanje uslova odvijanja saobraćaja gradskih arterija sa kružnim raskrscima. Ispunjenjem ciljeva omogućilo bi se primjena rezultata u analitičkim postupcima za analizu uslova saobraćaja na gradskim arterijama, odnosno regulisanja i upravljanja saobraćajem na uličnoj mreži.

1.2 Polazne hipoteze

Uticaj geometrije na kapacitet saobraćajnica prepoznat je i dokazan još u prvim radovima, odnosno postupcima za proračun kapaciteta i utvrđivanja nivoa usluge (Hammond, H. F. and Sorenson, L. J., 1941.). Praktično ne postoji ni jedna metodologija za proračun parametara saobraćajnog toka, kapaciteta i nivoa usluge koja se odnosi na dijelove ulične mreže na kojoj vladaju uslovi neprekinutih saobraćajnih tokova (HCM2010, Volume 2, Uninterrupted Flow, Transportation Research Board, Washington DC, 20210) u kojima nije obuhvaćen i kroz različite parametre valorizovan, uticaj geometrije saobraćajnice. Geometrijske karakteristike su takođe veoma važne za određivanje parametara saobraćajnog toka i uslova odvijanja saobraćaja na signalisanim raskrscima (HCM2010, Volume 3, Interrupted Flow, Transportation Research Board, Washington DC, 20210). Međutim, u postupcima za određivanje uslova odvijanja saobraćaja na nesignalisanim raskrscima, u koje spadaju i kružne raskrsnice na kojima je saobraćaj regulisan znacima prioriteta, geometrija raskrsnice se ne uzima u obzir. Razlog za to su modeli za proračun kapaciteta koji su prvenstveno bazirani na vjerovatnoći prolaska vozila koja vrše manevar kroz središte raskrsnice, odnosno vjerovatnoći pojave dovoljno velike vremenske praznine u prioritenom toku koja omogućava izvršenje sporednog manevra. Od geometrijskih karakteristika, prema „Harders“ ili „Siegloch“ modelu jedino je bitan broj prilaza i broj saobraćajnih traka na prilazima raskrsnice.

Mnoga dosadašnja istraživanja i iskustva koja su implementirana u postupke za druge tipove raskrsnica, kao i opšti zakoni kinematike i dinamike, ukazuju da postoji uticaj geometrije kružnih raskrscima na parametre saobraćajnog toka. U skladu sa tim, istraživanja i definisanje modela da bi se realizovali postavljeni ciljevi izvršeno je u skladu sa sljedećim hipotezama:

Hipoteza 1:	Geometrija kružne raskrsnice utiče na parametre saobraćajnog toka, posebno na brzinu i uslove odvijanja saobraćaja.
Hipoteza 2:	Brzina vozila prilikom prolaska vozila kroz kružnu raskrsnicu nije konstantna i osim geometrije raskrsnice zavisi od prostorne distribucije zahteva za protokom i vrste sporednog manerva.
Hipoteza 3:	Promena brzine na kružnoj raskrsnici utiče na uslove odvijanja saobraćaja na gradskoj arteriji kojoj kružna raskrsnica pripada.

U postupcima dokazivanja postavljenih hipoteza koristiće se baza podataka koja će se formirati na osnovu istraživanja, u uslovima realnog saobraćajnog toka. Baza podataka biće formirana na osnovu mjerenja brzine pojedinačnih vozila na karakterističnim djelovima prilaza, izlaza i unutar kružnog kolovoza izabраних kružnih raskrsnica, u različitim uslovima odvijanja saobraćaja. Ukoliko se analizom dokažu postavljene hipoteze, formiraće se jedan ili više modela, pri čemu će se uzeti u obzir:

- geometrijske karakteristike prilaza i zone kruženja,
- vrsta sporednog manevra, odnosno da li skreće desno, kreće se pravo ili na kružnoj raskrsnici skreće lijevo,
- način prolaska vozila u zavisnosti iz koje saobraćajne trake vozilo ulazi u zonu kruženja,
- način prolaska vozila kroz raskrsnicu, odnosno da li se vozilo zaustavljalo na prilazu radi propuštanja vozila u zoni kruženja ili ne.

Zbog potrebe da se analizira uticaj geometrije raskrsnice na parametre saobraćajnog toka u najslabijim uslovima odvijanja saobraćaja i vremenskim neravnomjernostima protoka, baza podataka biće formirana na osnovu istraživanja koja su sprovedena na kružnim raskrsnicama u gradu. Zbog malog uzorka teretnih vozila, s obzirom da je njima zabranjen saobraćaj u centralnim delovima grada, formiranje modela biće moguće samo za automobile, što bi ujedno predstavljalo i potencijalno ograničenje modela.

1.3 Primjenjene metode

U postupku izrade doktorske disertacije, u skladu sa definisanim problemom, postavljenim ciljevima i polaznim hipotezama, korišćene su različite naučne metode, u skladu sa poznatim pravilima i metodama izrade naučnog rada. U narednoj tabeli prikazana je i objašnjena konkretna primjena najvažnijih naučnih metoda koje su korišćene prilikom izrade doktorske disertacije:

Tabela 1.1 Naučne metode koje su korišćenje prilikom izrade doktorske disertacije

Metoda kompilacije	Primenjena prilikom analize literature iz oblasti koja je bila predmet istraživanja, odnosno preuzimanje tuđih stavova, zaključaka i saznanja.
Metode indukcije i dedukcije	Primenjene da bi se na osnovu pojedinačnih činjenica i saznanja, odnosno analize opštih obelježja došlo do uopštavanja i formiranja hipoteze o zakonitostima i definisali predmet istraživanja i ciljevi, definisanja ciljeva i polaznih hipoteza, ali i izveli zaključci i tvrdnje.
Metode analize i sinteze	Primenjene prilikom definisanja načina i postupka istraživanja i mjerenja na kružnim raskrscima u uslovima realnog saobraćajnog toka, odnosno prilikom izbora parametara koji će biti predmet mjerenja i istraživanja. Pored toga, ove metode su korišćene u postupku obrade rezultata mjerenja, raščlanjivanjem složenih cijelina na jednostavnije sastavne dijelove i spajanju prostih cjelina u složenije forme.
Metoda mjerenja	Primenjena prilikom merenja i istraživanja u realnom saobraćajnom toku za formiranje baze podataka. Ova metoda će biti posebno obrazložena u narednim poglavljima.
Metode klasifikacije	Primenjene u postupku obrade rezultata mjerenja i istraživanja odnosno uočavanjem i definisanje skupova podataka sa sličnim svojstvima.
Metoda generalizacije	Primenjena u postupku izbora parametara za definisanje modela, izvođenjem uopštenih zaključaka na osnovu pojedinačnih opažanja.
Statističke metode	Primenjene u postupku formiranja modela, primjenom različitih matematičkih alata.
Komparativna metoda	Primenjena za vrednovanje i kalibraciju modela poređenjem istih ili srodnih činjenica i uticaja na parametre saobraćajnog toka, odnosno utvrđivanje njihove sličnosti i razlika u intenzitetu.
Metoda deskripcije	Primenjena za pojašnjenja i jednostavno opisivanje činjenica, procesa i predmeta i opisa predmeta istraživanja, primenjenih metoda i procesa, kao i prikaz rezultata sprovedenih analiza.

1.4 Struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija sastoji se od devet logički povezanih poglavlja i priloga. U okviru Poglavlja 1 – Uvod, dati su osnovni podaci o sadržini disertacije, uvod u analiziranu problematiku, kao i predmet i cilj istraživanja.

U okviru Poglavlja 2, u četiri nezavisne cjeline, opisane su opšte karakteristike ulične mreže, s posebnim osvrtom na gradske arterije, te pregled metodologije i način određivanja nivoa usluge. Cilj ovog dijela disertacije je upoznavanje sa osnovnim parametrima ulične mreže s obzirom da su kružne raskrsnice, koje su predmet ove disertacije, sastavni dio istih.

Kako se predmet disertacije odnosi na kružne raskrsnice, u Poglavlju 3 dat je kratak pregled osnovnih karakteristika kružnih raskrsnica, istorijat njihovog razvoja i primjene, osnovnih elemenata, prednosti i nedostataka do kapaciteta i kriterijuma za određivanje nivoa usluge.

U Poglavlju 4 sumiran je pregled literature odnosno postojećih istraživanja sa posebnim osvrtom na brzinu, geometriju ulaza i putanju kretanja vozila kroz kružne raskrsnice.

Sadržaj Poglavlja 5 odnosi se na metodologiju istraživanja. U prvom dijelu poglavlja ukratko su opisani matematički i statistički alati koji su korišćeni za potrebe sprovođenja predmetne analize. Nakon toga opisan je način izbora lokacija na kojima je istraživanje vršeno i detaljan opis parametara kružnih raskrsnica. U poslednjem dijelu ovog poglavlja opisana je metodologija prikupljanja podataka i principi koji su usvojeni prilikom obrade podataka.

U Poglavlju 6 opisani su rezultati istraživanja koje je sprovedeno na kružnim raskrsnicama. Analiza rezultata rađena je u programskom paketu „Data From Sky“, a nakon prethodno formirane baze podataka u okviru koje su utvrđene karakteristične vrijednosti brzina na izabranim presjecima na 4 kružne raskrsnice i to karakteristike brzine toka na ulivnom grlu, unutar kružnog toka između svakog susjednog izlaza iz kružnog toka i brzine toka na izlivnom kraku, za ometana i neometana vozila. Podaci prikazani u ovom poglavlju korišćeni su kao ulazni parametri za kreiranje modela za utvrđivanje funkcionalne veze između geometrijskih i konstruktivnih karakteristika puta i elemenata saobraćajnog toka.

Poglavlje 7 predstavlja jednu od ključnih cjelina ovog rada u okviru koje je prikazan postupak definisanja modela za utvrđivanje brzina vozila na kružnim raskrsnicama u zavisnosti od geometrijskih karakteristika. Postupak definisanja modela opisan je kroz sljedeće metodološke korake:

1. Formiranje polazne osnove i definisanje prediktora;
2. Utvrđivanje i ocjena uticaja geometrijskih i konstruktivnih karakteristika na parametre saobraćajnog toka;
3. Formiranje modela;
4. Testiranje modela.

U Poglavlju 8 prikazan je način implementacije modela za određivanje brzina na kružnim raskrsnicama u postojeći model za određivanje brzine na gradskim arterijama.

U poglavlju 9 dat je zaključak disertacije sa pravcima daljih istraživanja.

Nakon poslednjeg poglavlja dat je spisak korišćene i citirane literature.

Sastavni deo doktorske disertacije su prilozi koji u najvećoj mjeri predstavljaju detaljne izveštaje statističke obrade podataka koji su korišćeni kao ulazni parametri za formiranje modela.

2 FUNCIONALNE KARAKTERISTIKE ULIČNE MREŽE

Gradska ulična mreža je složena i čine je saobraćajnice različitih namjena i profila, koje imaju zadatak da zadovolje potrebe mobilnosti življenja stanovništva u gradovima, odnosno da omoguće funkcionalan i efikasan prevoz i transport. Funkcionalna podjela ulične saobraćajne mreže, može se izvršiti (Maletin, M., 2009) na osnovu karaktera saobraćajnog povezivanja dijelova gradske teritorije i funkcije opsluživanja lokacija i objekata neposredno uz saobraćajnicu (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 Funkcionalna klasifikacija gradske putne mreže

		Tabela 2.1 Funkcionalna klasifikacija gradske putne mreže	
PRIMARNA MREŽA	Gradski autoput	Služe za direktnu vezu grada sa međunarodnom, državnom i međuregionalnom putnom mrežom, kao i za brzo povezivanje udaljenih dijelova grada sa centralnom gradskom zonom.	
	Gradska magistrala	Prolaze kroz gradsko aktivno područje, velikog su kapaciteta i vežu se sa vangradskim saobraćajnicama visokog ranga. Predstavljaju vezu između gradskih cjelina različitih namjena (poslovne zone, zone stanovanja, centralne gradske zone).	
	Gradska saobraćajnica	Povezuju dijelove grada sa centralnim zonama i ostalim zonama aktivnosti, mogu se oslanjati na puteve regionalnog ranga. Služe prevshodno za javni i individualni putnički saobraćaj.	
	Sabirne ulice	Imaju funkciju povezivanja primarne i sekundarne gradske putne mreže, sa zadatkom da vrše distribuciju ciljnog i izvornog saobraćaja u okviru kompaktnih urbanističkih zona.	
SEKUNDARNA MREŽA	Pristupna ulice	Direktno opslužuju urbanističke sadržaje i namjenjene su isključivo individualnom saobraćaju i saobraćaju u funkciji snabdjevanja.	
	Parkirališta	Površina koja predstavlja sastavni dio puta, namjenjena, uređena i označena za parkiranje vozila, a koji se sastoji od jednog ili više parking mesta.	

Ključnu ulogu u funkcionisanju grada i zadovoljavanja potreba za mobilnošću stanovnika imaju gradske saobraćajnice. Ove javne površine, koje služe za odvijanje motorizovanog i nemotorizovanog saobraćaja, prema određenim izvorima (NACTO, 2012) zauzimaju oko 80,0% cjelokupne javne gradske površine koju zauzimaju saobraćajnice. Generalno, gradsku saobraćajnicu punog saobraćajnog profila, moguće je podjeliti na sljedeće funkcionalne cjeline:

- površine za kretanje pješaka,
- površine za kretanje biciklista,
- površine za kretanje motornih vozila (privatna individualna vozila, privredna vozila i vozila javnog gradskog prevoza putnika),
- površine za stacionarni saobraćaj i
- površine namjenjene za ostale gradske aktivnosti.



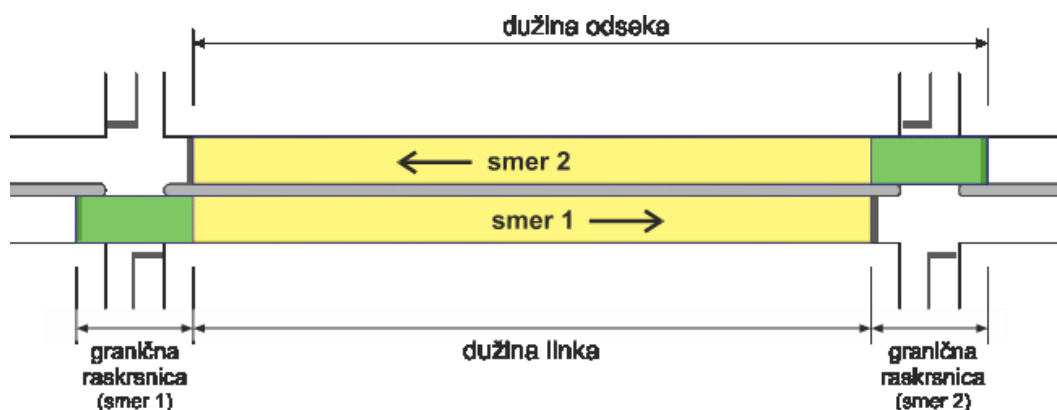
Slika 2.1 Karakteristični korisnici gradske saobraćajnice (NACTO, 2012)

Međutim, ulični profili nekada ne omogućavaju formiranje gradskih saobraćajnica punog profila, pa se on prilagođava prostornim mogućnostima i potrebama mobilnosti.

Kako se predmetna disertacija bavi kružnim raskrsnicama kao sastavnim segmentom gradskih arterija, u nastavku će biti opisane karakteristike navedena dva funkcionalna elementa gradske ulične mreže, gradskih arterija, a u posebnom poglavlju kružnih raskrsnica.

2.1 Gradske arterije

Gradske arterije su složeni funkcionalni dijelovi primarne ulične mreže koji se sastoje od linkova i raskrsnica. Link je dio dionice koji spaja dve susjedne raskrsnice i čine ga jedna ili više saobraćajnih traka namenjenih za kretanje učesnika u saobraćaju u istom smjeru. Više linkova čini dionicu, koja predstavlja jasno definisan (u fizičkom smislu) element gradske saobraćajnice, sa karakteristikom da kao zaseban element opslužuje učesnike u saobraćaju (motorna vozila, pješake, bicikliste). Raskrsnice se nalaze između krajeva susjednih linkova i imaju karakter graničnih elementa dionice.



Slika 2.2 Šematski prikaz odseka gradske saobraćajnice

Osnovna razlika između arterija i ostalih dijelova ulične mreže ogleda se prije svega u funkciji i karakteru putovanja koja se na njoj realizuju, ali i načinu regulisanja saobraćaja. Naime, gradske arterije su po pravilu prioritetni putni pravci u odnosu na ostale saobraćajnice ulične mreže sa kojima se ukrštaju.

Gradske arterije, po pravilu, spadaju u kategoriju gradskih saobraćajnica i prvenstveno služe za duža unutargradska putovanja. U mnogim gradovima koji nemaju izgrađene obilaznice, gradske arterije prihvataju dio ili cjelokupan tranzitni saobraćaj. Osnovna funkcija gradskih arterija je približavanje, odnosno spajanje komercijalnih (poslovnih) i dijelova grada koji su namjenjeni stanovanju. Gradske arterije se mogu definisati kao saobraćajnice sa ukrštanjima, često semaforisanim, na međurastojanjima kraćim od 3 kilometra. Međutim, u gradovima sa naslijeđenom uličnom mrežom, rastojanja između raskrsnica su značajno manja. Skretanja na raskrsnicama gradskih arterija obično ne prelaze 20% od ukupnih saobraćajnih tokova (Kuzović, Lj., 2000). U zavisnosti od uličnog profila, arterije mogu biti: višetračne sa fizički razdvojenim kolovoznim trakama, višetračne sa nerazdvojenim kolovoznim trakama, dvotračne dvosmjerne i jednosmjerne.

Na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama, koji se reflektuju prije svega na brzinu vožnje, vrijeme putovanja, kao i na kapacitet i nivo usluge, utiču sljedeći faktori:

- okolina arterije,
- interakcija između vozila i
- regulisanje saobraćaja.

Karakteristike saobraćajnog toka se ogledaju pre svega kroz veličinu zahtjeva za protokom, vremenskoj neravnomjernosti protoka i strukturi saobraćajnog toka.

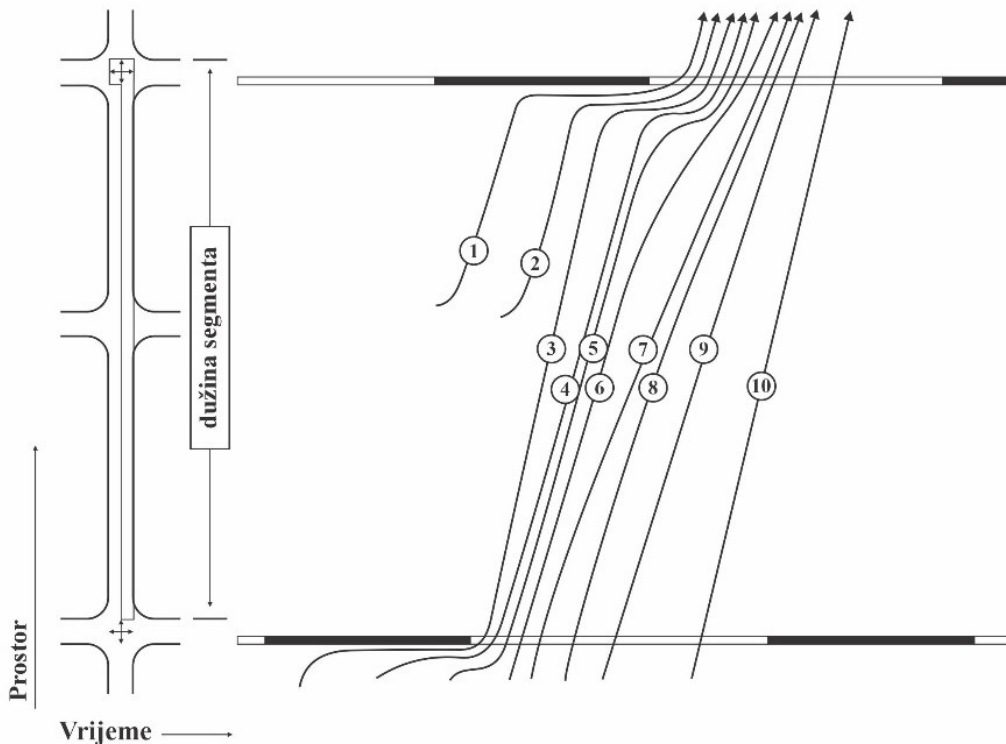
Okolina arterije uključuje geometrijske karakteristike saobraćajnice i korišćenje susjednog zemljišta, broj i širinu saobraćajnih traka, tip središnjeg razdjelnog pojasa, veličinu toka na ukrštanju, rastojanja između ukrštanja, parkiranje, intezitet pješačkog i drugog nemotorizovanog saobraćaja, ograničenje brzine i veličinu grada po broju stanovnika. Okolina arterije utiče na razvijanje vozačevog stava o bezbjednoj brzini, čak i ako su efekti ostalih faktora zanemarljivi.

Interakcija između vozila je određena gustom toka, veličinom zahtjeva i vremenskim neravnomjernostima protoka, učešćem teških teretnih vozila i autobusa u toku, kao i

distribucijom tokova po smjerovima na mjestima ukrštanja, odnosno veličinom toka u skretanju. Interakcija prvenstveno utiče na parametre saobraćajnog toka na ukrštanjima, u manjoj mjeri i na linkovima. Prosječna brzina vozila na određenoj dužini arterije ili „brzina vožnje“, obično je niža od željene brzine zbog negativnih efekata interakcije koja zavisi od gustine i restriktivno djeluje na brzinu saobraćajnog toka.

Način regulisanja saobraćaja (semafor, saobraćajni znakovi, opšte pravilo) utiču da jedan deo vozila uspori ili da se zaustavi na nekom dijelu arterije. Promjene brzine uzrokovane načinom regulisanja saobraćaja utiču na smanjenje kapaciteta arterija, indirektno na nivo usluge.

Slika 2.3 prikazuje pojednostavljene trajektorije vrijeme-prostor reprezentativnih vozila duž jedne trake arterije, na kojoj je ukrštanje regulisano semaforom uređajem (Kuzović, Lj., 2000) i to:



Slika 2.3 Trajektorije vrijeme-prostor vozila uzduž jedne trake arterije (Kuzović, Lj., 2000)

Gradske arterije se mogu podijeliti u zavisnosti od funkcije koju obavljaju i projektovanih elemenata (Highway Capacity Manual 6, 2016). S obzirom na funkciju koju obavljaju gradske arterije se dijele na glavne arterije i sporedne arterije. Sa aspekta projektovanih elemenata podjela je izvršena u četiri kategorije i to: arterije u kojima je moguće razviti velike brzine, arterije koje opslužuju prigradske zone, sabirne arterije i klasične gradske saobraćajnice (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 Podjela gradskih arterija

	Funkcija			
	Glavne arterije		Sporodne arterije	
Saobraćajna	Veoma važna		Važna	
Pristupna	Manje bitno		Bitno	
Povezanost na	Autoputeve, važne gradski centre		Glavne arterije	
Opsluživanje	Relativno duga putovanja između glavnih tačaka u gradu, putovanja koja ulaze, izlaze ili prolaze kroz gradsko područje		Relativno kratka putovanja unutar gradskih naselja	
	Geometrijske karakteristike			
	Arterije velikih brzina	Osplužuju prigrad. zone	Sabirne	Gradske saobraćajnice
Gustina	Veoma mala	Mala	Umjerena	Velika
Tip	Fizički ili punom linijom razdvojene kolovozne trake	Fizički ili punom linijom razdvojene kolovozne trake	Kolovozne trake ne moraju biti razdvojene, jednosmjerne ili dvosmjerne	Kolovozne trake s 1 ili više saobraćajnih traka koje nisu razdvojene, jednosmjerne, dvosmjerne,
Parking	Ne	Ne	Rijetko	Veoma često
Posebna traka za lijeva skretanja	Da	Da	Obično	Rijetko
Saobraćajni znaci/ km	0.3 – 1.2	0.6 – 3.0	2 - 6	4 - 8
Ograničenje brzine (km/h)	75 - 90	65 - 75	50 - 65	40 - 55
Prisustvo pješaka	Veoma malo	Malo	Srednje	Veliko
Izgrađenost pored puta	Mala	Mala do srednja	Srednja do umjerena	Velika

2.2 Pregled metodologije za utvrđivanje nivoa usluge gradskih arterija prema HCM 2016

Uslovi i način odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama definisani su vladajućim uslovima na pojedinačnom odsjeku, a koji predstavljaju kombinacija uslova odvijanja saobraćaja na linku i graničnim raskrsnicama odsjeka za posmatrani smjer kretanja.

Kriterijumi za definisanje nivoa usluge određeni su metodologijom koja se razlikuje u zavisnosti od tipa elementa na putnoj mreži (raskrsnice, ulivno-izlivne rampe, gradske saobraćajnice, vangradske dionice, itd.). HCM 2016 (Transportation research board, 2016b) za proračun nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama za motorni saobraćaj, definiše dva ključna parametra:

- a) Brzina putovanja vozila prolaznog toka. Ovaj parametar direktno opisuje uticaj vremena putovanja vozila duž linka i vremenskih gubitaka koji nastaju u tokovima koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici analiziranog odsjeka i
- b) Odnos protoka i kapaciteta (v/c) za tokove koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici analiziranog odsjeka.

Tabela 2.3 Nivo usluge u zavisnosti od brzine i odnosa protoka i kapaciteta (v/c)

Brzina putovanja kao % brzine slobodnog saobraćajnog toka	Nivo usluge prema odnosu protoka i kapaciteta (v/c)	
	≤ 1.0	> 1.0
>85	A	F
>67-85	B	F
>50-67	C	F
>40-50	D	F
>30-40	E	F
≤ 30	F	F

U cilju vrednovanja i opisivanja uslova odvijanja saobraćaja uveden je pojam nivoa usluge – LOS (*eng. Level of Service*), na osnovu koga se vrši kvalitativno vrednovanje uslova odvijanja saobraćaja koje je definisano kroz šest nivoa, označenih slovima od A do F, gdje svaki nivo opisuje karakteristične uslove odvijanja saobraćaja (HCM 2016 - Transportation research board, 2016b):

- Nivo usluge A (LOS A) opisuje prevashodno uslove slobodnog toka. Između vozila u toku skoro da ne postoji interakcija, vozila su neometana i imaju potpunu slobodu i mogućnost za vršenje manevra u okviru saobraćajnog toka. Brzina putovanja prelazi 85% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je blizak 0. Vremenski gubici na izlaznoj graničnoj raskrsnici su minimalni.
- Nivo usluge B (LOS B) opisuje postojanje manje interakcije između vozila, sa blago ograničenom mogućnošću vršenja manevra u saobraćajnom toku. Brzina putovanja je

između 67% i 85% bazne brzine slobodnog toka, dok je odnos v/c manji od 1,0. Vremenski gubici na izlaznoj graničnoj raskrsnici nisu značajni.

- Nivo usluge C (LOS C) opisuje uslove stabilnog stanja toka. Mogućnost vršenja manevara i promjene traka duž odsjeka su većim stepenom ograničene nego u uslovima koji vladaju pri nivou usluge B. Brzina putovanja je između 50% i 67% bazne brzine slobodnog toka, dok je odnos v/c manji od 1,0. Duži redovi čekanja na izlaznoj graničnoj raskrsnici mogu uticati na smanjenje brzine putovanja.
- Nivo usluge D (LOS D) opisuje uslove manje stabilnog stanja saobraćajnog toka u kojima mala povećanja veličine protoka mogu prouzrokovati značajna povećanja vremenskih gubitaka i smanjenje brzine putovanja. Ovakvi uslovi mogu se javiti zbog neadekvatnog sistema koordinacije svjetlosnih signala, visokih zahtjeva za protokom ili neusklađenosti signalnih planova na graničnim raskrsnicama. Brzina putovanja je između 40% i 50% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je od 1,0.
- Nivo usluge E (LOS E) opisuje uslove nestabilnog saobraćajnog toka i značajnih vremenskih gubitaka. Ovakvi uslovi mogu se javiti zbog neadekvatnog sistema koordinacije svjetlosnih signala, visokih zahtjeva za protokom, neusklađenosti signalnih planova na graničnim raskrsnicama, rastegnutim redovima na kritičnim ukrštanjima ili nekom kombinacijom navedenih faktora. Brzina putovanja je između 30% i 40% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je od 1,0.
- Nivo usluge F (LOS F) opisuje uslove odvijanja saobraćaja sa ekstremno niskom brzinom toka koja iznosi 30% i manje od bazne brzine slobodnog toka. U ovom slučaju najčešće dolazi do stvaranja zastoja na raskrsnicama, praćenih visokim vremenskim gubicima i stvaranjem dugih redova čekanja. Odnos v/c veći od 1,0.

2.3 Ulazni parametri za određivanje nivoa usluge

Ulazni parametri za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica za motorni saobraćaj mogu se razvrstati u četiri osnovne grupe:

1. Podaci o veličini toka,
2. Geometrijske karakteristike odsjeka,
3. Podaci o uslovima odvijanja saobraćaja i
4. Ostali relevantni podaci.

Podaci o veličini toka opisuju obim saobraćajnog toka, odnosno veličinu protoka vozila na posmatranom odsjeku u određenom vremenskom periodu. Obuhvataju:

- protok vozila na graničnim raskrsnicama (*veličina protoka na ulaznoj i izlaznoj graničnoj raskrsnici, prikazuju se po smjerovima kretanja, izražavaju se najčešće u vozilima na čas (voz/h)*),
- protok vozila na pristupnim tačkama (*mjestima gde se pristupna ulica ili kolski prilaz kao sporedna saobraćajnica ukršta sa glavnom saobraćajnicom – odsjekom, prikazuje se prema svim smjerovima kretanja, najčešće se izražava u vozilima na čas (voz/h)*),
- protok vozila na odsjeku (*broj vozila koja prođu duž odsjeka u određenom vremenskom periodu*).

Geometrijske karakteristike odsjeka podrazumjevaju:

- Broj saobraćajnih traka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (za sve dozvoljene smjerove kretanja na prilazu izlazne granične raskrsnice. Kao trake za skretanje uzimaju se u obzir samo trake za isključivo lijeva ili desna skretanja. Ukoliko na prilazu figurišu zajedničke trake one se razmatraju kao trake za pravo),
- Širina ulazne granične raskrsnice (kod dvosmjernih saobraćajnica predstavlja rastojanje između zaustavnih linija na naspramnim prilazima dva susjedna odsjeka, mjereno duž ose kolovoza ili razdjelne linije. Kod jednosmjernih saobraćajnica jednaka je rastojanju između zaustavne linije prethodnog odsjeka i zamišljenog produžetka najudaljenije ivice kolovoza sporedne ulice koja sa glavnom saobraćajnicom čini posmatranu raskrsnicu),
- Dužina saobraćajne traka za skretanje na izlaznoj graničnoj raskrsnici (predstavlja dužinu dijela saobraćajne trake za skretanja sa punom širinom trake, na kom je moguće formiranje reda čekanja, a mjeri se paralelno sa osom kolovoza),
- Broj saobraćajnih traka za pravo na odsjeku (ukoliko se duž posmatranog odsjeka nalazi saobraćajna traka namjenjena isključivo za tokove koji skreću onda se ona prilikom proračuna ne uzima u obzir. Ukoliko postoji suženje kolovoza na središnjem dijelu odsjeka kao mjerodavan broj traka za pravo uzima se onaj broj traka koje su na mjestu suženja otvorene za saobraćaj),
- Broj saobraćajnih traka na pristupnom prilazu (za sve prilaze, glavne i sporedne, na aktivnim pristupnim prilazima (prilaz na kom veličina toka koji se uključuje na glavnu saobraćajnicu iznosi više od 10 voz/h na odsjeku),
- Dužina saobraćajne traka za skretanje na pristupnom prilazu (dužina dijela saobraćajne trake za skretanja sa punom širinom, na kom je moguće formiranje reda čekanja. Ovaj podatak se utvrđuje samo za aktivne pristupne prilaze na glavnom toku),
- Dužina odsjeka (predstavlja rastojanje između dvije granične raskrsnice koje definišu odsjek, mjeri se paralelno sa osom kolovoza, od zaustavne linije (ili druge oznake koja ima istu funkciju) jedne granične raskrsnice do zaustavne linije (ili druge oznake koja ima istu funkciju) naredne granične raskrsnice),
- Dužina linka (razlika dužine odsjeka i širine ulazne granične raskrsnice),
- Dužina razdjelnog ostrva (dužina izdignutog razdjelnog ostrva mjereno od vrha ostrva sa jedne do vrha razdjelnog ostrva sa druge strane, neračunajući prekide ostrva koji su izvedeni u nivou sa kolovozom),
- Procenat dijela linka sa ivičnjakom (odnos dužine linka na kojoj postoji ivičnjak sa desne strane kolovoza na udaljenosti manjoj od 1,2 m (4 ft) od najbliže ivice saobraćajne trake i ukupne dužine linka),
- Ukupan broj pristupnih prilaza (zbir svih aktivnih i neaktivnih prilaza duž odsjeka za posmatrani smjer vožnje),
- Procenat dijela linka sa uličnim parkiranjem (odnos dijela linka sa označenim prostorom na kom je dozvoljeno parkiranje (ili zaustavljanje) duž desne strane linka posmatrano u smjeru vožnje i ukupne dužine linka, a određuje se posebno za svaki smjer kretanja).

Podaci o uslovima odvijanja saobraćaja predstavljaju:

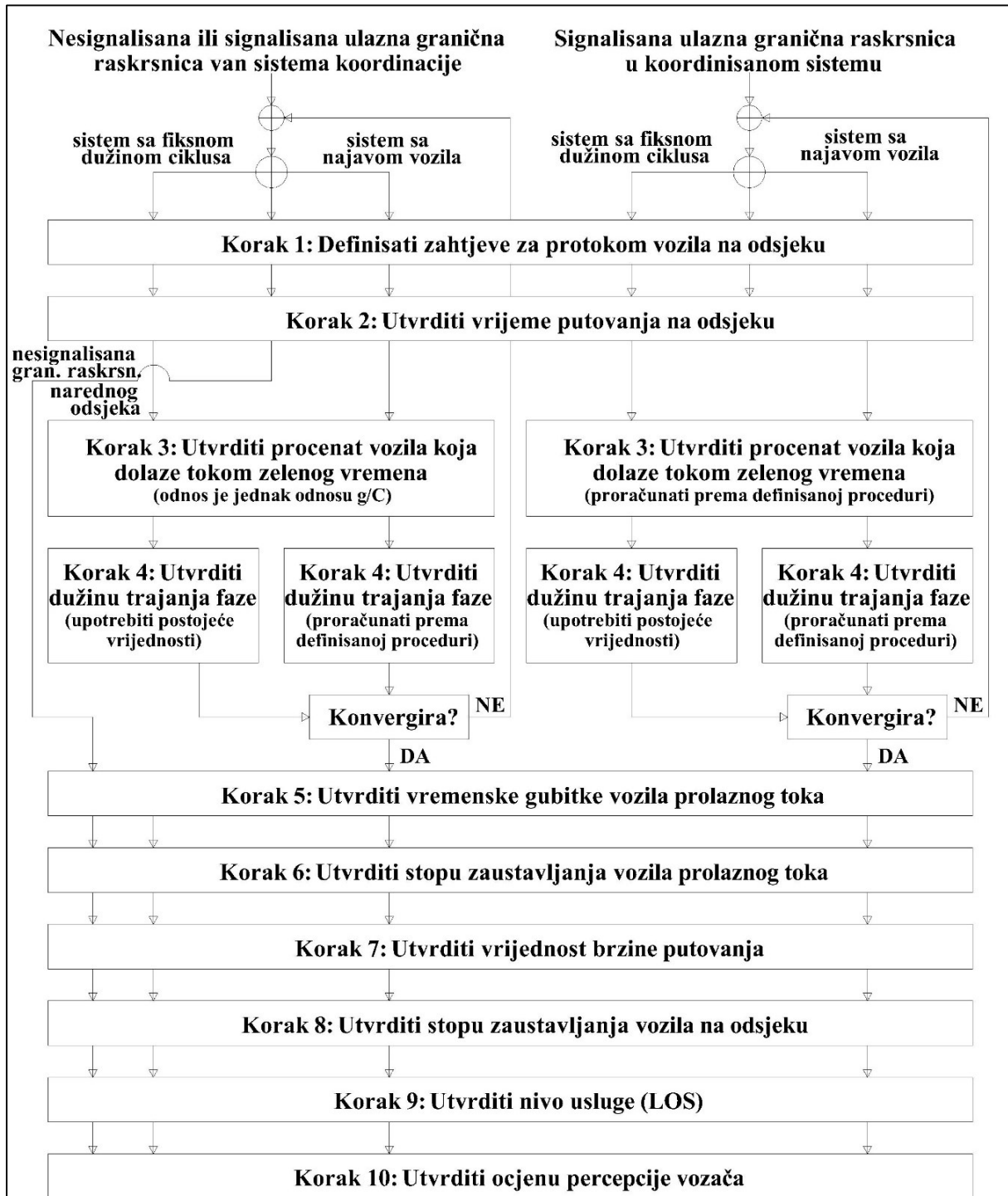
- Vremenske gubitke na izlaznoj graničnoj raskrsnici (u zavisnosti od tipa raskrsnice (ukrštanja) koristi se odgovarajuća metodologija definisana određenim poglavljima izdanja HCM 2016 i to Poglavlje 19: Signalisane raskrsnice; Poglavlje 20: Nesignalisane raskrsnice sa prioritetom (eng. Two - Way Stop Control - TWSC); Poglavlje 21: Nesignalisane raskrsnice sa obavezom zaustavljanja (eng. All-Way Stop Control - AWSC); Poglavlje 22: Kružne raskrsnice; Poglavlje 23: Denivelisane raskrsnice (petlje) i alternativna ukrštanja),
- Broj zaustavljenih vozila i dužina reda čekanja na izlaznoj graničnoj raskrsnici (samo u slučaju da je izlazna granična raskrsnica signalisana i to samo za grupu saobraćajnih traka za vozila koja se na izlaznoj graničnoj raskrsnici kreću pravo. Postupak proračuna ovih parametara opisan je u okviru HCM 2016 - Poglavlje 31),
- Kapacitet grupe saobraćajnih traka na graničnim raskrsnicama (maksimalan broj vozila koja u posmatranom vremenskom periodu mogu da napuste određenu saobraćajnu traku odnosno grupu traka. Utvrđuje se za sve grupe traka, odnosno tokove koji pristižu na odsjek na ulaznoj graničnoj raskrsnici, i za tokove koji napuštaju odsjek na izlaznoj graničnoj raskrsnici. Postupak utvrđivanja kapaciteta grupe saobraćajnih traka je opisan u okviru metodologije HCM 2016 - poglavlja 19-23),
- Vremenski gubici i zaustavljanje na središnjem dijelu odsjeka (u realnom saobraćajnom toku, kretanje vozila na više različitih načina može biti ometano na sredini odsjeka, što može dovesti do smanjenja brzine ili do potpunog zaustavljanja vozila, odnosno do nastanka vremenskih gubitaka koji direktno utiču na povećanje vremena putovanja. Navedeno se može desiti u sledećim situacijama: prilikom skretanja vozila sa glavnog toka na prilaz pristupne saobraćajnice, usljed propuštanja pješaka na IPP, usljed manevra ulaska ili izlaska sa prostora za parkiranje koje se nalazi uz kolovoz, na mjestima ukidanja saobraćajne trake i dr),
- Vremenski gubici koji nastaju u ostalim situacijama koje nisu date kao dio HCM 2016, a koji bi se trebali utvrditi neposrednim mjerenjem na terenu i kao takvi uvršteni u metodologiju (Transportation research board, 2016b).

Ostali relevantni podaci podrazumjevaju

- Dužina vremenskog perioda analize (preporučuje se vršenje analiza na nivou 15-minutnog intervala, jer je na taj način najbolje moguće obuhvatiti period vršnog opterećenja. Analize u procesu planiranja moguće je vršiti na 15-minutnom nivou ili na nivou 1 časa),
- Ograničenje brzine (maksimalna dozvoljena brzinu kretanja vozila na posmatranom odsjeku, koja može biti propisana saobraćajnim znakom ili zakonom definisana opštim ograničenjem brzine).

2.4 Postupni metodološki koraci

Postupak utvrđivanja nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama vrši se u nekoliko koraka prikazanih na sljedećoj slici:



Slika 2.4 Postupak utvrđivanja nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama

Korak 1. Definisanje zahtjeva za protokom vozila na odsjeku arterije

Ovaj korak obuhvata analizu i usaglašavanje protoka vozila na svim tokovima koji pripadaju posmatranom odsjeku kako bi se dobila realna slika o uslovima odvijanja saobraćaja, i podrazumjeva:

- analizu kapacitetnih ograničenja odsjeka,
- balansiranje veličine ulaznih i izlaznih tokova,
- određivanje izvor-cilj matrice,
- analizu mogućnosti nastanka blokade prethodne raskrsnice.

Kapacitetna ograničenja odnose se na sve tokove na ulaznoj graničnoj raskrsnici koji nastavljaju kretanje duž posmatranog odsjeka. Kada su zahtjevi za protokom u određenom toku veći od kapaciteta trake, odnosno grupe traka za te tokove, tada je prolazak vozila ograničen, a stvaran broj vozila koji prođe kroz posmatranu traku ili grupu traka je manji od realnog kapaciteta, zbog smanjenja brzine saobraćajnog toka. Ukoliko se ovakav poremećaj javi u tokovima koji se uključuju na link posmatranog odsjeka, veličina stvarnog zahtjeva za protokom mora biti smanjena na vrijednost koja je jednaka kapacitetu.

Balansiranje protoka predstavlja postupak izjednačavanja broja vozila koja uđu na odsjek sa brojem vozila koja izađu sa odsjeka. Nebalansiran protok može biti posljedica nedovoljno dobrog kalibrisanja podataka o veličini zahtjeva za protokom na prilazima odsjeka.

Izvorno-ciljna matrica na odsjeku (I-C matrica) predstavlja distribucija ulaznih tokova po smjerovima na izlazne pravce odsjeka. U I-C matrici jasno je definisana raspodjela svih ulaznih saobraćajnih tokova na izlazne pravce sa odsjeka. I-C matrica je neophodna u postupku određivanja i kalibrisanja veličine zahtjeva za protokom i njihovih vremenskih neravnomjernosti na svim karakterističnim presjecima i raskrsnica na ulazno izlaznim segmentima odsjeka arterije.

U pojedinim periodima, kao posljedica dolaska velikog broja vozila na određene odsjeke arterije tokom perioda crvenog svetla na izlaznoj raskrsnici sa odsjeka moguća je pojava redova čekanja čija je dužina veća od dužine prethodnog linka, pa samim tim i blokada prethodne raskrsnice. Redovi čekanja mogu biti posljedica i zagušenja kružne raskrsnice u situaciji kada se na više prilaza istovremeno pojavi povećan zahtjev za protokom. Blokada raskrsnice koja nastane iz navedenog razloga naziva se još i „spillback“ blokada.

Korak 2. Vreme putovanja na odsjeku

Procedura proračuna vremena putovanja na odsjeku, odnosno linku, između dvije raskrsnice obuhvata sledeće korake:

- proračun brzine slobodnog toka,
- proračun faktora gustine saobraćajnog toka,
- proračun vremenskih gubitaka nastalih usljed skretanja vozila iz prioritetnog toka na pristupne saobraćajnice arteriji,
- utvrđivanje vremenskih gubitaka nastalih usljed uticaja ostalih faktora na središnjem dijelu odsjeka.

Brzina slobodnog toka

Brzina slobodnog toka je prosječna vrijednost brzine svih vozila u toku koja se kreću duž odsjeka i nastavljaju kretanje pravo, mjereno u uslovima slobodnog toka, u slučajevima kada ne postoje ometanja od strane vozila ili uređaja za regulisanja saobraćaja. Brzinom slobodnog toka opisuje se uticaj prostornih karakteristika saobraćajnice na vozačev izbor brzine kretanja, a faktori koji utiču na taj izbor su: ograničenje brzine, gustina pristupnih prilaza, tip razdjelnog ostrva, procenat dijela linka sa ivičnjakom i dužina linka. Brzina slobodnog toka izražava se kao proizvod bazne brzine slobodnog toka i faktora udaljenosti raskrsnica.

Bazna brzina slobodnog toka definisana je kao brzina slobodnog toka na odsecima veće dužine, a može se izračunati pomoću jednačine (2-1)

$$S_{f0} = S_{calib} + S_0 + f_{CS} + f_A + f_{PK} \quad (2-1)$$

gde je:

- S_{f0} - bazna brzina slobodnog toka (mi/h),
- S_{calib} - kalibracioni faktor bazne brzine slobodnog toka (mi/h),
- S_0 - konstanta brzine toka,
- f_{CS} - faktor poprečnog presjeka (mi/h),
- f_A - faktor broja pristupnih prilaza (mi/h),
- f_{PK} - faktor uličnog parkiranja (mi/h).

Vrijednosti navedenih konstanti i faktora reprezentuju uticaj geometrije odsjeka na vrijednost bazne brzine slobodnog toka, a njihov detaljan opis, referentne vrijednosti i način proračuna dat je u okviru poglavlja 18 - HCM 2016 (Highway Capacity Manual 6, 2016).

Dosadašnja istraživanja su pokazala da vozači koji se kreću na kratkim odsjecima koji su ograničeni signalisanim raskrsnicama, teže ka manjim brzinama kretanja (*Bonneson, Pratt, & Vandehey, 2008*). Objektivno se može pretpostaviti da i kružne raskrsnice imaju sličan uticaj na brzinu kretanja na odsjecima, odnosno linkovima između raskrsnica. Prema tome uticaj dužine odsjeka između graničnih raskrsnica mora se uzeti u obzir prilikom proračuna nivoa usluge gradskih saobraćajnica. Faktor uticaja odsjeka malih dužina ima vrednost između 0,0 i 1,0 a izračunava se na osnovu jednačine (2-2).

$$f_L = 1,02 - 4,7 \frac{S_{f0} - 19,5}{\max(L_s, 400)} \quad (2-2)$$

gdje je:

- f_L - faktor uticaja dužine odsjeka,
- S_{f0} - bazna brzina slobodnog toka (mi/h),
- L_s - rastojanje između susjednih graničnih raskrsnica – dužina linka (ft),

Brzinu slobodnog toka moguće je izračunati pomoću naredne jednačine (2-3), ili alternativno može biti utvrđena neposrednim mjerenjem na terenu.

$$S_f = S_{f0} f_L; S_f \geq S_{pl} \quad (2-3)$$

gde je:

- S_f - brzina slobodnog toka (mi/h),
- S_{pl} - vrijednost ograničenja brzine na odsjeku,

Faktor gustine saobraćajnog toka

Faktorom gustine saobraćajnog toka definiše se uticaj gustine saobraćajnog toka na vrijeme putovanja na linku koje se ostvaruje u uslovima slobodnog toka. Povećanje gustine saobraćajnog toka utiče na smanjenje brzine vozila, odnosno na porast vremena putovanja. Do redukcije brzine putovanja dolazi zbog malih rastojanja sleđenja koji se javljaju pri povećanim zahtjevima za protokom odnosno većoj gustini toka. Faktor gustine toka moguće je izračunati pomoću jednačine (2-4).

$$f_v = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{v_m}{52,8 N_{th} S_f}\right)^{0,21}} \quad (2-4)$$

gde je:

- f_v - faktor gustine saobraćajnog toka,
- v_m - protok vozila mjeren na presjeku na linku (voz/h),
- N_{th} - broj traka za pravo za posmatrani smjer odsjeka,
- S_f - brzina slobodnog toka (mi/h).

Vremenski gubici usljed skretanja vozila sa odsjeka na sporedne saobraćajnice

Vozila koja sa prioritetnog toka arterije vrše skretanje na pristupni (sporedni) prilaz mogu da ometaju kretanje vozila koja ga prate, pa samim tim i da uzrokuju nastanak vremenskih gubitaka. Vremenski gubici nastali usled vozila koja vrše skretanje u desno na pristupni prilaz manifestuju se u vidu smanjenja brzine vozila koja slijede vozilo koje vrši skretanje, a u skladu sa njihovom brzinom. Vozila koja vrše skretanje u lijevo sa prioritetnog pravca (sporedni manevar rang 1,4) mogu da uzrokuju dodatne vremenske gubitke usljed zaustavljanja radi ustupanja prava prvenstva prolaza vozilima iz suprotnog smijera. U slučaju kada postoji izdvojena traka za lijevo ili desno skretanje sa dovoljnom dužinom za formiranje reda, smatra se da ovi manevri neće negativno uticati na vozila koja se kreću pravo duž odsjeka. Kružne raskrsnice, zbog specifičnog načina regulisanja prioriteta uvek uzrokuju smanjenje brzine na svim prilazima. Sa jedne strane to može uticati pozitivno na smanjenje vremenskih gubitaka za vozila koja skreću sa arterije, ali i negativno zbog usporavanja toka koji se arterijom kreće pravo.

Vrijeme putovanja na odsjeku arterije

U postupku proračuna vremena putovanja na odsjeku za vozila koja se duž arterije kreću pravo, u obzir se uzimaju vremenski gubici na startu, brzinu slobodnog toka, gustina toka i vremenski gubici koji se javljaju na središnjem djelu odsjeka. Vrijeme putovanja na odsjeku izračunava se na osnovu jednačine (2-5).

$$t_R = \frac{6,0 - l_1}{0,0025 L} f_x + \frac{3600 L}{5280 S_f} f_v + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (2-5)$$

$$f_x = \begin{cases} 1,00 & \text{(signalisana ili AWSC granična raskrsnica)} \\ 0,00 & \text{(TWSC granična raskrsnica, odsjek je prioritetni pravac)} \\ \min \left[\frac{v_{th}}{c_{th}}, 1,00 \right] & \text{(TWSC granična raskrsnica, odsjek je sporedni pravac)} \end{cases} \quad (2-6)$$

gdje je:

- t_R - vrijeme putovanja na odsjeku (s),
- l_1 - vremenski gubici na startu vozila: 2,0 s za signalisane raskrsnice; 2,5 s za nesignalisane raskrsnice,
- L - dužina odsjeka (ft),
- f_x - faktor tipa ulazne granične raskrsnice,
- v_{th} - veličina toka pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici (voz/h),
- c_{th} - kapacitet trake ili grupe traka za pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici (voz/h),
- $d_{ap,i}$ - ukupni vremenski gubici usljed skretanja vozila ka pristupnim prilazima (s/voz),
- N_{ap} - ukupan broj aktivnih pristupnih prilaza duž odsjeka:

$$N_{ap} = N_{ap,s} + p_{ap,lt} N_{ap,o}$$
- $N_{ap,s}$ - broj pristupnih prilaza sa desne strane odsjeka posmatrano u smijeru vožnje,
- $N_{ap,o}$ - broj pristupnih prilaza sa desne strane posmatrano u suprotnom smijeru,
- $p_{ap,lt}$ - procenat $N_{ap,o}$ na koje je moguće pristupiti ljevim skretanjem iz smijera vožnje,
- d_{other} - ostali vremenski gubici koji se mogu javiti na središnjem dijelu odsjeka.

Postojećom metodologijom HCM 2016 identifikovane su situacije gde se mogu javiti ostali vremenski gubici na središnjem delu odsjeka (d_{other}), ali je definisan samo postupak za utvrđivanje vremenskih gubitaka usljed skretanja vozila ka pristupnim prilazima. U ostale vremenske gubitke ubrajaju se i gubici vozila nastali usljed propuštanja pešaka na izdvojenim pješačkim prelazima i dr.

Korak 3. Broj vozila pristiglih tokom zelenog svjetla

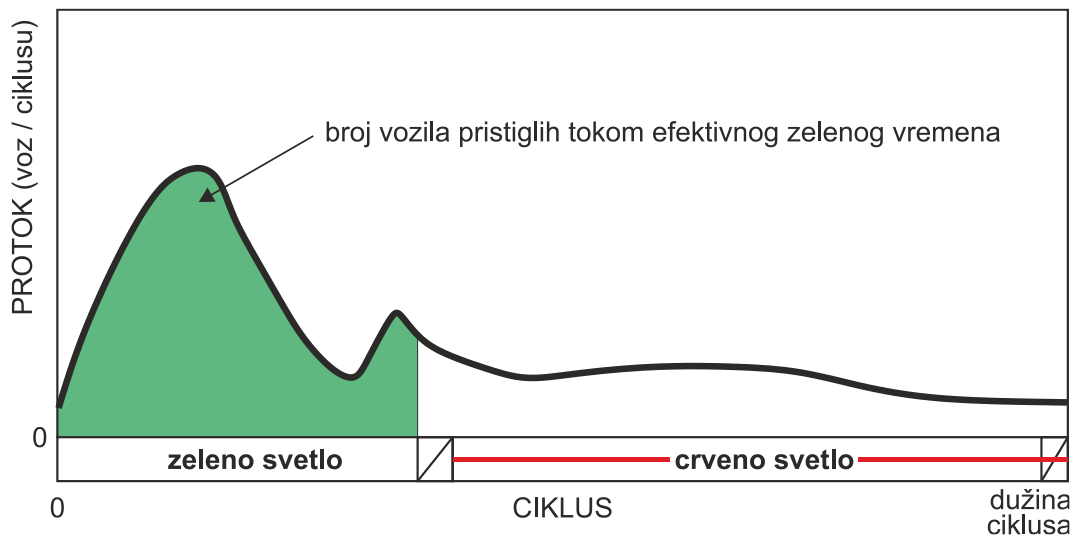
Metodologija opisana u ovom koraku primenjuje se samo u slučaju kada je izlazna granična raskrsnica signalisana, u suprotnom ovaj korak se izostavlja. U okviru ovog koraka vrši se proračun broja (procenata) vozila koja na izlaznu graničnu raskrsnicu pristižu tokom efektivnog zelenog svjetla.

Ukoliko je ulazna granična raskrsnica posmatranog odsjeka nesignalisana (ili je signalisana, ali se ne nalazi u sistemu koordinacije) procenat vozila koji tokom efektivnog zelenog vremena stignu na izlaznu graničnu raskrsnicu jednak je odnosu dužine zelenog svjetla i dužine ciklusa.

U slučaju da je ulazna granična raskrsnica posmatranog odsjeka signalisana i da se nalazi u sistemu koordinacije potrebno je izvršiti proračun na osnovu fiksnih signalnih planova graničnih raskrsnica analiziranog odsjeka. Kada svjetlosni signali na ulaznoj graničnoj raskrsnici posmatranog odsjeka funkcionišu po principu najave tada broj vozila koja pristignu tokom zelenog svjetla direktno utiče na signalni plan i kapacitet raskrsnice. U ovom slučaju usvaja se prosječno vrijeme trajanja faze koje se dalje koristi u proračunu nivoa usluge.

U ukupnom broju vozila koja tokom ciklusa dolaze na izlaznu graničnu raskrsnicu su vozila koja prolaze pravo sa prioritetnog toka na ulaznoj graničnoj raskrsnici, vozila koja skreću lijevo odnosno desno sa sporednog toka na ulaznoj graničnoj raskrsnici i dio vozila sa pristupnih

prilaza na odsjeku. Vozila koja se sa prioriternog toka ulazne granične raskrsnice kreću pravo često ulaze na odsek u plotonu. Forma plotuna se najčešće gubi tokom vožnje ukoliko odsjek ima dužinu veću od 400 m. Na narednoj slici (Slika 2.5) šematski je prikazana raspodjela broja vozila koja tokom ciklusa pristignu na izlaznu graničnu raskrsnicu. Obojena (zeleno) površina predstavlja vozila koja sa ulazne granične raskrsnice i pristupnih prilaza na odsjeku dolaze na izlaznu graničnu raskrsnicu tokom trajanja zelenog svijetla.



Slika 2.5 Raspodjela dolaska ukupnog broja vozila tokom ciklusa

Za proračun procenta broja vozila pristiglih tokom zelenog svijetla potrebni su podaci o veličini zahtjeva za protokom i dužini trajanja ciklusa, a izračunava se pomoću jednačine (2-7).

$$P = \frac{n_g}{q_d C} \quad (2-7)$$

gdje je:

- P - procenat vozila pristiglih tokom efektivnog zelenog svijetla,
- n_g - broj vozila pristiglih tokom efektivnog zelenog svijetla (voz),
- q_d - veličina toka vozila na odsjeku (voz/s),
- C - dužina trajanja ciklusa (s).

Za razliku od signalisanih raskrsnica, pristizanje vozila na kružnu raskrsnicu predstavlja slučajni događaj koji se može opisati Puasonovaom raspodjelom, osim ako vozila na kružnu raskrsnicu pristižu sa signalisane raskrsnice koja se nalazi na bliskom odstojanju.

Korak 4. Dužina trajanja faze

Ovaj korak se primenjuje samo u slučaju kada je izlazna granična raskrsnica signalisana, u suprotnom slučaju ovaj korak se preskače. Ukoliko signalisana raskrsnica radi po principu fiksnog faznog plana, definisana vrijednost dužine faze uzima se kao ulazni parametar. Za raskrsnice koje rade po sistemu sa najavom, sa promenljivom dužinom faza, kao ulazni parametar usvaja se prosječna dužina trajanja faze. Određivanje prosječne dužine trajanja faze

vršiti se prema metodologiji opisanoj u okviru HCM 2016 (*Transportation research board, 2016b*).

Korak 5. Vremenski gubici vozila prolaznog toka

Prolaznom toku pripadaju vozila koja se odsjekom kreću pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici posmatranog odsjeka arterije i napuštaju odsjek krećući se pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici. Vremenski gubici koji nastaju kod ovih vozila ključni su za izračunavanje vremena putovanja. Ovi vremenski gubici predstavljaju zbir vremenskih gubitaka nastalih na izlaznoj graničnoj raskrsnici. U zavisnosti od tipa raskrsnice, namjene saobraćajnih traka na prilazu i načina regulisanja, primenjuje se odgovarajuća metodologija za proračun vremenskih gubitaka. U HCM 2016 (*Transportation research board, 2016b*) detaljno su obrazložene metodologije za proračun kapaciteta AWSC (All Way Stop Controlled) i TWSC (Two Way Stop Controlled) raskrsnica, kružnih raskrsnica, kao i izolovanih signalisanih raskrsnica i signalisanih raskrsnica koje se nalaze na koordinisanom pravcu.

Korak 6. Stopa zaustavljanja vozila prolaznog toka

Stopa zaustavljanja vozila definiše se kao prosječna vrijednost broja potpunih zaustavljanja po vozilu na izlaznoj graničnoj raskrsnici, pri čemu se posmatraju samo vozila prolaznog toka. Kao potpuno zaustavljanje podrazumjeva se događaj tokom kojeg vozilo usporava do brzine $V=0$ ili se kreće ekstremno niskom brzinom ukoliko se nalazi u koloni. Potpuno zaustavljanje nastaje kao posljedica načina regulisanja saobraćaja na izlaznoj graničnoj raskrsnici. U slučaju kada je prilaz izlazne granične raskrsnice regulisan saobraćajnim znakom „obavezno zaustavljanje“ vrijednost stope zaustavljanja iznosi 1,0, dok za prilaze koji pripadaju prioritetnom pravcu vrijednost stope zaustavljanja vozila iznosi 0,0. Kada je izlazna granična raskrsnica regulisana svjetlosnom signalizacijom primenjuje se postupak koji je definisan u okviru HCM 2016, u okviru kog figuriraju dužina trajanja ciklusa, dužina efektivnog zelenog svjetla, veličina zasićenog toka i karakteristike reda čekanja. Uobičajena vrijednost stope zaustavljanja na signalisanom prilazu kreće se u granicama od 0,4 zaustavljanja/vozilu pri niskom odnosu v/c , do 2,0 zaustavljanja/vozilu u slučaju kada je odnos v/c približno jednak 1,0. Stopa zaustavljanja vozila na kružnim raskrsnicama zavisi isključivo od odnosa v/c i kreće se od 0 za male vrijednosti v/c , odnosno 1,0 u slučaju kada v/c dostigne vrijednost 1.

Korak 7. Brzina putovanja na odsjeku

Brzina putovanja na odsjeku je jedan od dva osnovna parametra za određivanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama, a izračunava se na osnovu jednačine (2-8).

$$S_{T,seg} = \frac{3600 L}{5280 (t_R + d_t)} \quad (2-8)$$

gdje je:

- $S_{T,seg}$ - brzina putovanja vozila prolaznog toka na odsjeku (mi/h),
- L - dužina odsjeka (ft),

- t_R - vreme putovanja na odsjeku (s),
 d_t - vremenski gubici vozila prolaznog toka (s).

Korak 8. Stopa zaustavljanja vozila na odsjeku

Stopa zaustavljanja vozila na odsjeku izražava se u broju zaustavljanja na dužini od jedne milje. Izračunava se za svaki smijer posmatranog odsjeka i moguće je proračunati na osnovu jednačine (2-9).

$$H_{seg} = 5280 \frac{h + h_{other}}{L} \quad (2-9)$$

gdje je:

- H_{seg} - stopa zaustavljanja vozila na odsjeku (zaust./mi),
 h - broj potpunih zaustavljanja vozila prolaznog toka (zaust./voz),
 h_{other} - broj potpunih zaustavljanja vozila usljed uticaja ostalih faktora (zaust./voz),
 L - dužina odsjeka (ft).

Broj potpunih zaustavljanja vozila usljed uticaja ostalih faktora odnosi se na zaustavljanja koja se mogu javiti na središnjem dijelu odsjeka. Ovaj tip zaustavljanja može se javiti na izdvojenim pješačkim prelazima, u zonama autobuskih stajališta, na pristupnim prilazima. Priručnikom HCM 2016 je samo naznačeno postojanje ovih zaustavljanja, ali nije data konkretna metodologija za njihovo utvrđivanje.

Korak 9. Određivanje nivoa usluge odsjeka gradske saobraćajnice

Da bi se dobila stvarna slika o uslovima odvijanja saobraćaja na posmatranom odsjeku svaki smijer kretanja mora biti analiziran posebno. Na osnovu prethodno opisane metodologije izračunava se brzina putovanja na osnovu koje se u zavisnosti od utvrđene vrijednosti brzine slobodnog toka određuje nivo usluge (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 Granične vrijednosti brzine putovanja za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica

LOS	Brzina slobodnog toka (mi/h)							Odnos v/c*
	55	50	45	40	35	30	25	
A	>44	>40	>36	>32	>28	>24	>20	≤ 1,0
B	>37	>34	>30	>27	>23	>20	>17	
C	>28	>25	>23	>20	>18	>15	>13	
D	>22	>20	>18	>16	>14	>12	>10	
E	>17	>15	>14	>12	>11	>9	>8	
F	≤17	≤15	≤14	≤12	≤11	≤9	≤8	
F	bilo koja od navedenih vrijednosti							> 1,0

* Odnos protoka i kapaciteta (v/c) za tokove koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici.

Opisana metodologija primenjuje se na odsjke čija dužina ne prelazi 2 mi ($\approx 3,2$ km), a preporučuje se pažljiva primjena na odsjecima koji su kraći od 700 ft (≈ 200 m). U vremenskom smislu analiza može da se vrši na nivou jednog (vršnog) 15-minutnog intervala, na nivou jednog sata ili višestruka analiza po 15-minutnim intervalima tokom jednog sata. Analize na nivou jednog 15-minutnog intervala i na nivou jednog sata su uobičajene u fazi planiranja saobraćajnice. Višestruka 15-minutna analiza se primenjuje u slučajevima kada je odnos v/c veći od 1,0, i u tom slučaju analizira se svaki pojedinačni 15-minutni interval uzimajući u obzir period prije nastanak redova čekanja i nakon razilaženja vozila iz reda.

Korak 10. Ocjena percepcije vozača

Ocjena percepcije vozača predstavlja mjeru kvaliteta usluge odvijanja saobraćaja procjenjenu od strane učesnika u saobraćaju. Vrijednost ocjene percepcije vozača izračunava se na osnovu vjerovatnoće da će vozači uslove odvijanja u saobraćaju ocjeniti određenim nivoom usluge (od B do F) koja u određenoj mjeri zavisi od dužine odsjeka i procenta raskrsnica duž odsjeka koje imaju izdvojenu traku za lijeva skretanja.

$$I_{a,seg} = 1 + P_{BCDEF} + P_{CDEF} + P_{DEF} + P_{EF} + P_F \quad (2-10)$$

gdje je:

- $I_{a,seg}$ - ocjena percepcije vozača,
- P_{BCDEF} - vjerovatnoća da će vozač ocjeniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom B, C, D, E ili F,
- P_{CDEF} - vjerovatnoća da će vozač ocjeniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom C, D, E ili F,
- P_{DEF} - vjerovatnoća da će vozač ocjeniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom D, E ili F,
- P_{EF} - vjerovatnoća da će vozač ocjeniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom E ili F,
- P_F - vjerovatnoća da će vozač ocjeniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom F.

Ocjena percepcije vozača koja ima vrednost manju od 2 označava veoma dobre uslove odvijanja saobraćaja. U slučaju kada ocijena percepcije vozača ima vrednost veću od 5 smatra se da će vozač uslove odvijanja u saobraćaju ocjeniti kao veoma loše. Iako je koncept ocijene percepcije vozača usko povezan sa nivoima usluge na gradskim saobraćajnicama ova veličina se ne može poistovjetiti sa nivoom usluge jer predstavlja isključivo procjenu kvaliteta odvijanja saobraćaja iz perspektive vozača.

3 KARAKTERISTIKE KRUŽNIH RASKRSNICA

U zadnjim decenijama prošlog vijeka počela je masovna izgradnja kružnih raskrsnica, u početku na ukrštanjima ulica koje pripadaju sekundarnoj uličnoj mreži. Međutim, vrlo brzo kružne raskrsnice su postale sastavni dio saobraćajnica primarne ulične mreže i gradskih arterija, pogotovo u gradovima manje i srednje veličine. U nedostatku kalibriranih modela i alata za provjeru uticaja izgradnje kružnih raskrsnica na uslove odvijanja saobraćaja, rezultati primjene su bili neujednačeni. Neki gradovi su imali pozitivna iskustva sa izgradnjom kružnih raskrsnica na gradskim arterijama i pozitivne efekte na smanjenje vremena putovanja, dok su se u nekim drugim gradovima uslovi odvijanja saobraćaja čak i drastično pogoršali. U okviru ovog poglavlja biće prikazane i analizirane karakteristike kružnih raskrsnica koje su bile predmet istraživanja i daljih analiza.

3.1 Kratak istorijski prikaz

Iako većina stručne literature (Brown, M., 1995) kao prvu raskrsnicu sa kružnim tokom saobraćaja uzima „Columbus circle“, izgrađen u Njujorku, na Menhetnu 1905. godine od strane Wiliam Phelps Eno (Slika 3.1), u literaturi se može pronaći podatak da je znatno ranije, tačnije 1768. godine, završena izgradnja kružne raskrsnice kojom su se kretali konji i kočije u Engleskom gradu Batu (Conway, H., Roenisch, R., 2006).



Slika 3.1 „Columbus circle“ u Njujorku, na Menhetnu

Mike Brown u svojoj knjizi „Projektovanje raskrsnica sa kružnim tokom saobraćaja“ navodi da je prvo ozbiljnije projektovanje kružnih raskrsnica izveo francuski urbanista Eugène Hénard 1903. godine, prilikom prezentovanja saobraćajnog plana grada Pariza (Slika 3.2) u okviru kojega je dao smjernice za kružni tok saobraćaja nazvavši ih „carrefours à girations“ (Slika 3.3) (Rabinow, 1995). U skladu sa ovim preporukama 1907. godine na Trgovima „Place De L'etoil“

i „Place de la Nation“ izgradile su se prve kružne raskrsnice u Evropi. Paralelno sa izgradnjom u Parizu, u Kaliforniji (San Hoze) u SAD-u gradi se kružna raskrsnica „Hanchett Residence Park“ namjenja kretanju i automobila i tramvaja koju je projektovao John McLaren, a zatim se 1910. godine Velikoj Britaniji gradi „Sollershott Circus“.



Slika 3.2 Saobraćajni plan Pariza



Slika 3.3 „Carrefours à girations“

Početakom 30-tih godina u SAD-u se grade kružne raskrsnice gdje saobraćaj na tangenti ulazi u kružni kolovoz i spaja se sa saobraćajem unutar kružnog toka, što je zahtjevalo velika i široka centralna ostrva (raskrsnica Long-Beach, California, je imala prečnik centralnog ostrva 140 m), a u tom periodu vladala je teorija da što je preplitanje veće, da je veći i kapacitet (Todd, K., 1988).

Tokom II svjetskog rata, izgradnja puteva i raskrsnica je zaustavljena, izuzimajući radove za potrebe vojske i rata. Američke trupe su na Njemačkom tlu vidjele autoputeve, koji su objašnjavali brzo prebacivanje Njemačkih oružanih snaga u ratu, te će gradnja širokih autoputeva i ulica postati glavno obilježje razvoja putne infrastrukture u SAD-u nakon II svjetskog rata (Todd, K., 1988). Ubrzo nakon završetka II svjetskog rata, zahtjevi za protokom su značajno povećani što je uticalo na povremene ili potpune blokade saobraćaja na kružnim raskrnicama. Uzrok ovih problema predstavljalo je univerzalno opšte pravilo saobraćaja, odnosno pravilo „desnog prava prvenstva“. Prema ovom pravilu, prioritet na kružnoj raskrsnici su imala vozila koja ulaze u zonu kruženja što je pri većim zahtevima za protokom dovodilo do zagušenja zone kruženja (Rodegerdts, 2010). Iz tog razloga mnoge kružne raskrsnice su bile pretvorene u klasične raskrsnice na kojima je saobraćaj regulisan saobraćajnim znakovima ili svjetlosnom saobraćajnom signalizacijom.

Stručnjaci u Velikoj Britaniji su izvršili eksperiment koji po principu AWSC (*All Way Stop Controlled*) raskrsnica, koje podrazumjeva postavljanje saobraćajne signalizacije koja će dati prioritet vozilima unutar kružnog toka. Rezultati istraživanja su bili pozitivni i dokazali su da se ovakvim načinom regulisanja saobraćaja na kružnim raskrnicama dobija značajno povećanje kapaciteta, smanjenje vremenskih gubitaka i broja saobraćajnih nezgoda (Laurence, 1980). U skladu sa tim, u Velikoj Britaniji se 1966. godine usvaja pravilo da na kružnim raskrnicama vozila u zoni kruženja imaju prioritet u odnosu na vozila koja sa prilaza ulaze u središte raskrsnice (Daniels, S., Wets, G., 2005). U Francuskoj je pravilo prioriteta za vozila u

kružnom toku uvedeno 1983. godine (Thai Van M, 2013), što je dovelo do povećanja broja kružnih raskrsnica u ovoj zemlji. U Velikoj Britaniji se 1984. godine uvodi standard u oblasti projektovanja kružnih raskrsnica, koji predstavlja uvod u koncept tzv „modernih kružnih tokova“ koja su uobičajena u Australiji, Kini, Francuskoj, Njemačkoj, Novom Zelandu, Kataru, Španiji, SAD-u, Velikoj Britaniji, UAE i drugim zemljama širom svijeta (Guichet, Bernard, 2008).

Procjenjuje se da danas u svijetu ima izgrađenih oko 50.000 kružnih raskrsnica, a porast broja kružnih raskrsnica na svim delovima ulične mreže, pa i na gradskim arterijama, možemo primjetiti i u Srbiji i Bosni i Hercegovini, u kojima kružne raskrsnice dobijaju sve veći značaj i primjenu.

3.2 Opšte karakteristike kružnih raskrsnica

Kružna raskrsnica je kanalisana raskrsnica kružnog oblika, sa centralnim ostrvom koje može biti neprohodno, djelomično prohodno ili prohodno za sva vozila, i kružnim tokom u kojem se saobraćaj (vožnja) odvija u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu, a u koji se ulivaju tri ili više krakova puta. (Putevi Srbije, 2012).

Prema M. Maletinu (Maletin, M., 2009) površinske raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja predstavljaju posebnu grupu rješenja gdje nema razdvajanja prilaznih puteva na glavni i sporedni pravac, niti kompletnog razlaganja saobraćajnog toka na saobraćajne struje. Saobraćajne struje pravo, lijevo ili desno imaju identične uslove ulivanja, kolizije, kružnog kretanja i izlivanja, s tim da prednost uvijek imaju vozila u kružnom toku.

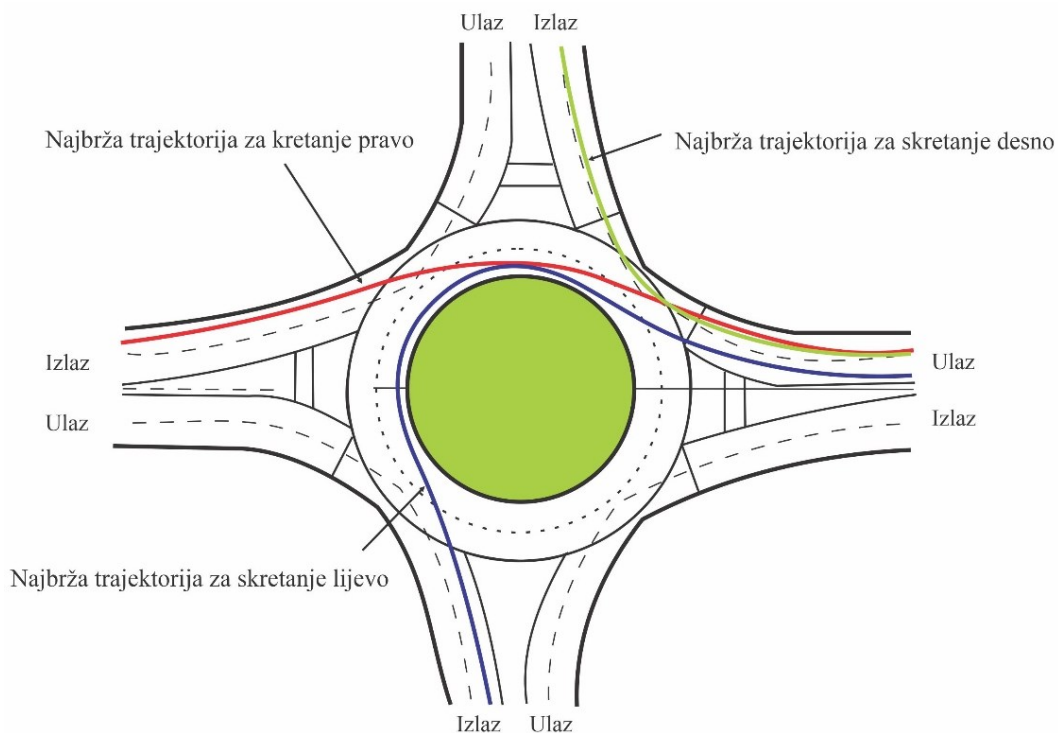
Osnovne odlike kružnih raskrsnica su:

- predstavljaju kombinaciju isprekidanog i neisprekidanog saobraćajnog toka,
- vozila u zoni kruženja imaju prednost u odnosu na vozila na prilazima, odnosno vozila koja ulaze u zonu kruženja, što se obezbeđuje postavljanjem saobraćajnih znakova II- „Ustupanje prvenstva prolaza“,
- vozilo na ulivnom grlu prilaza se ne zaustavlja u slučaju ako je zona kruženja slobodna,
- omogućavaju samo vožnju malim brzinama i velikim uglom skretanja prednjih točkova, bez obzira na tip i način izvođenja,
- za pješake i bicikliste u kružnim raskrsnicama važe ista pravila kao u klasičnim raskrsnicama,
- u kružnim raskrsnicama je zabranjena (ali i nepotrebna) vožnja unazad i
- dugačkim vozilima je dozvoljeno da tokom vožnje po kružnom kolovozu koriste i neasfaltirani (kaldrmisani) dio zone kruženja (prelazni dio centralnog ostrva).

U ranijem periodu proces projektovanja kružnih raskrsnica je bio težak jer su analiza, projektovanje i proračun sprovedeni iterativnim procesom koji je zahtijevao dug vremenski period, za razliku od današnjeg vremena sa unapređenom kompjuterskom tehnologijom koja omogućava stručnjacima znatno bolje tehnike analize i oblikovanja uz nemjerljivu uštedu u vremenu. Uz nepromjenjive standarde projektovanja, projektant donosi odluku o parametrima koji se mogu u određenoj mjeri mjenjati (širina ulaza, prečnik centralnog ostrva, ulazni i izlazni

radijus, širina i dužina kruženja vozila, širina izlaza) vodeći računa o zadovoljavanju saobraćajnih parametara kružnih raskrsnica. Vrijednosti promjenjivih parametara inženjer bira na osnovu iskustva baziranog na dosadašnjem projektovanju ili na osnovu provedenih analiza i istraživanja čiji je rezultat pokazao određenu zavisnost istih sa funkcionisanjem raskrsnice, odnosno nivoom usluge. Optimalno projektno rješenje za jednu lokaciju, ili područje, ne mora značiti i optimalno rješenje za drugu saobraćajnu situaciju. Optimizacija i usvajanje projektog rješenja je složenije što je geometrija kružne raskrsnice složenija. Nakon usvajanja određenih geometrijskih projektih elemenata, analiza treba da pokaže koji nivo usluge je postignut u baznoj i u ciljnoj godini, kao i ostale operativne parametre funkcionisanja buduće kružne raskrsnice.

U kružnoj raskrsnici postoje 3 trajektorije kretanja vozila (desno, pravo i lijevo) koje su u funkcionalnoj zavisnosti sa brzinom kretanja vozila (Slika 3.4). Osnovna trajektorija u fazi projektovanja je trajektorija koja omogućava najveću brzinu kretanja vozila, a to je trajektorija za kretanje vozila pravo, a u određenim kružnim raskrsnicama se može pojaviti i trajektorija za manevre desno, odnosno manevr prvog desnog izlaza iz kružne raskrsnice. Opšte pravilo je da se najveća brzina određuje na osnovu najmanjeg radijusa najbrže trajektorije.



Slika 3.4 Trajektorije kretanja u kružnoj raskrsnici

Prilikom projektovanja kružnih raskrsnica u cilju usvajanja najboljeg rješenja vrše se optimizacije i analize mogućnosti dizajniranja različitih geometrijskih elemenata i većina softvera za geometrijskog oblikovanje kružnih raskrsnica radi na optimizaciji odluka o promjenjivim geometrijskim elementima (širina ulaza / izlaza, prečnik centralnog ostrva, ulazni / izlazni radijusi i dr). Bitna stvar u procesu projektovanja je i izbor mjerodavnog vozila, koje zavisi od same lokacije kružne raskrsnice, odnosno zavisi da li je ona sastavni dio gradske

arterije ili državnog puta većeg ranga, a samim tim i karakterističnih putanja točkova i karoserije mjerodavnog vozila koje se treba predvidjeti u eksploataciji kružne raskrsnice.

Od sredine osamdesetih godina prošlog veka, kada su kružne raskrsnice počele masovnije da se koriste na uličnoj mreži, vršena su mnoga istraživanja vazana za uticaj projektnih elemenata kružne raskrsnice na parametre saobraćajnog toka, osnovne karakteristike i osobenosti parametara saobraćajnog toka na prilazima i zoni kruženja, uticaj ponašanja vozača na parametre saobraćajnog toka, posebno na vremenske intervale sljeđenja i prihvatanje intervala od strane vozača prilikom izvođenja sporednog manevra, uticaj pješaka na parametre saobraćajnog toka itd. Pored toga, istraživane su karakteristike kretanja vozila kružnom raskrsnicom u skladu sa geometrijom raskrsnice i njihov uticaj na parametre saobraćajnog toka. U daljem tekstu biće dat kratak osvrt na istraživanja koja se odnose na ciljeve disertacije.

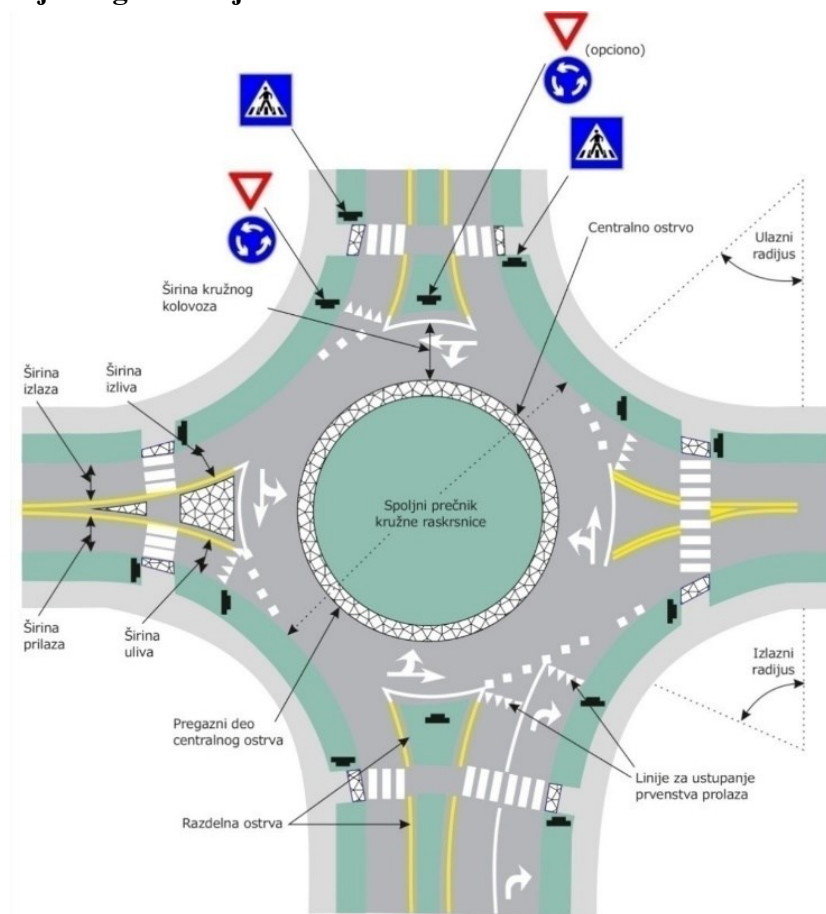
3.3 Osnovni elementi kružnih raskrsnica

Kod kružnih raskrsnica primenjuju se elementi koji se značajno razlikuju od klasičnih raskrsnica sa presjecanjem saobraćajnih tokova. Korišćenjem centralnog ostrva (podeonika) prinudno se usmeravaju putanje svih vozila koja ulaze u kružnu raskrsnicu nezavisno od njihove orijentacije (pravo, lijevo ili desno).

Osnovni elementi (Slika 3.5) od kojih se sastoji standardna jednostručna kružna raskrsnica (Maletin, M., 2009) (Brewer, Murillo, & Pate, 2014) su:

- **centralno ostrvo** - denivelisana fizička prepreka kružnog ili ovalnog oblika, postavljena u centru kružne raskrsnice, koja sprečava vožnju pravo i omeđava kružnu raskrsnicu sa unutrašnje strane,
- **zona kruženja (kružni kolovoz, kružni prsten)** – kolovoz kružnog oblika po kojem se kreću vozila oko centralnog ostrva u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu,
- **pregazni deo centralnog ostrva** - dio centralnog ostrva koji zajedno sa kružnim kolovozom omogućava vožnju kroz raskrsnicu dugim vozilima. Razlikuje se od kružnog kolovoza po upotrebljenom materijalu i boji. Pregazni dio centralnog ostrva mora biti tako izveden, da vozila odvrća od vožnje (materijali grube granulacije, kaldrma, prefabrikovani materijal), ali istovremeno mora omogućiti vožnju dugih vozila preko njega,
- **spoljni prečnik** – najveći prečnik spoljnog (upisanog) kruga kružne raskrsnice odnosno prečnik spoljne ivice kružne raskrsnice,
- **unutrašnji prečnik** – prečnik centralnog ostrva (podeonika), odnosno unutrašnje ivice kružnog kolovoza,
- **uliv** - područje kružne raskrsnice, gde se ulivni pravac uliva u kružni tok i od njega je odvojen linijom za ustupanje prvenstva prolaza,
- **izliv** - područje kružne raskrsnice u kojem vozila napuštaju istu,
- **niša za čekanje** - prostor između unutrašnje ivice označenog prelaza za pješake ili bicikliste i spoljašnje ivice kružnog kolovoza, koji koriste vozila za čekanje na prihvatljivu vremensku prazninu između vozila u kružnom toku,

- **ulazni (ulivni) radijus** - radijus desne ivice kolovoza na ulivu u kružnu raskrsnicu, koji usmjerava vozila prema kružnoj raskrsnici,
- **izlazni (izlivni) radijus** - radijus desne ivice kolovoza na izlivu iz kružne raskrsnice, koji usmjerava vozila iz kružne raskrsnice,
- **razdjelno ostrvo** - denivelisani element kružne raskrsnice koji razdvaja uliv i izliv iz kružne raskrsnice, usmjerava vozila na pravilan ulaz i izlaz iz kružne raskrsnice i obezbjeđuje viši nivo saobraćajne bezbjednosti pješaka i biciklista pri prelaženju kraka kružne raskrsnice,
- **ulivni ugao** - ugao koji određuju tangente na središnjoj liniji ulivne trake i kružnog kolovoza na mjestu, gde središnja linija ulivne trake presjeca spoljni radijus kružne raskrsnice i
- **saobraćajna signalizacija**.



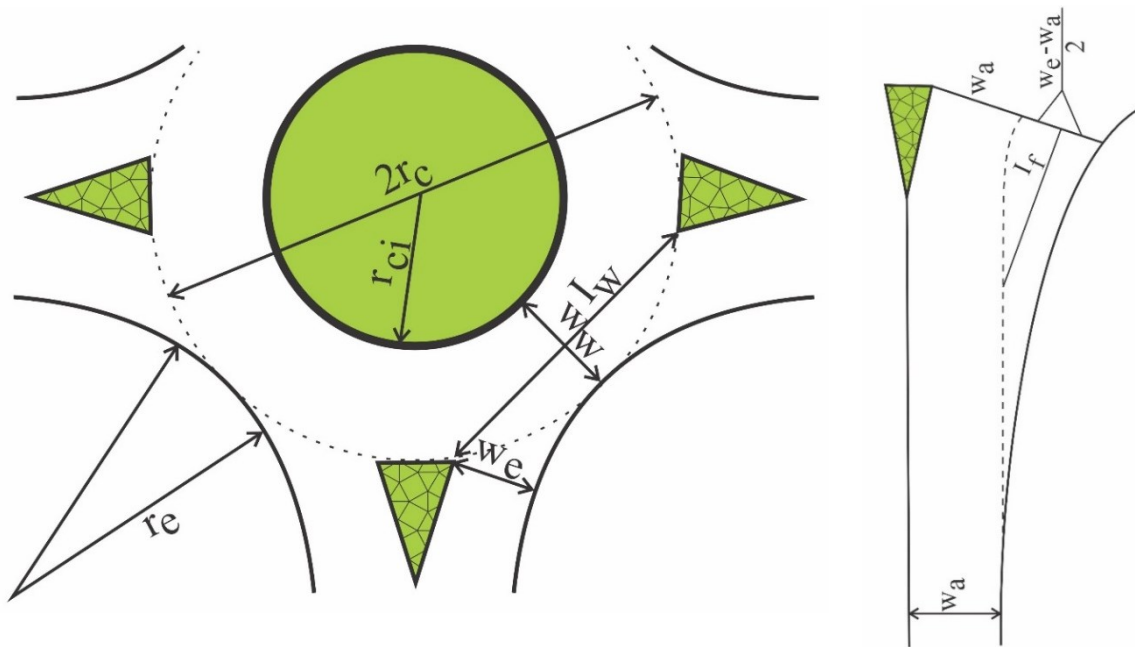
Slika 3.5 Osnovni elementi kružnih raskrsnica

*Izvor: Brewer, M., Murillo, D., Pate, A. (2014), Figure 29.

Osnovni geometrijski elementi kružnih raskrsnica (Slika 3.6) su:

- r_c – poluprečnik upisanog kruga raskrsnice,
- r_{ci} – poluprečnik kružnog podeonika,
- r_e – poluprečnik zaobljenja ulaza,
- w_e – širina ulaza u kružni prsten, odnosno zonu preplitanja,
- w_w – širina kružnog prstena, odnosno zone preplitanja,

- l_w – dužina zone preplitanja između dva uzastopna prilaza,
- w_a – polovina širine prilaza,
- l_f – efektivna dužina na kojoj je izvršeno proširenje prilaza i
- s_p – oštrina preplitanja $s_p = (w_e - w_a) / l_f$.



Slika 3.6 Geometrijski elementi kružne raskrsnice

Najbitniji elementi (Maletin, M., 2009) (Brewer, Murillo, & Pate, 2014) koji dominantno utiču na karakteristike kružne raskrsnice kao što su npr. brzina kretanja, propusna moć, bezbjednost, vremenski gubici i sl. su prečnik upisane kružnice (spoljni i unutrašnji), širina uliva i izliva, broj voznih traka uliva u kružnoj raskrsnici i širina kolovoza kružnog toka.

3.4 Podjela kružnih raskrsnica

Uopšteno gledajući kružne raskrsnice je u zavisnosti od autora i stručne literature moguće podijeliti na razne načine:

- u odnosu na veličinu i lokaciju,
- prema namjeni,
- prema broju krakova,
- prema načinu vođenja pojedinačnih pravaca,
- prema načinu izvođenja,
- prema obliku kružnog toka,
- prema broju kružnih ostrva,
- u zavisnosti od toga da li su spregnute površinske raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja ili ne...

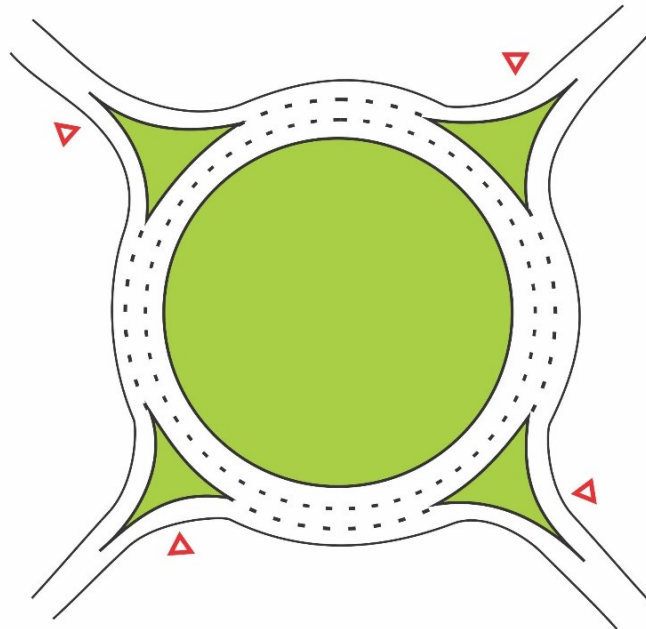
Jedna od najsistematičnijih podjela kružnih raskrsnica data je u radu (Bogdanović, V., 2005), u kome se navode tri kriterijuma za podjelu prioriteta kružnih raskrsnica i to: način regulisanja saobraćaja, geometrijski oblik i veličina.

Prema načinu regulisanja saobraćaja, razlikuju se dva tipa prioriteta kružnih raskrsnica:

- kružne raskrsnice kod kojih prvenstvo prolaza imaju saobraćajni tokovi koji se sa prilaza uključuju u kružni tok (ovaj tip je danas izuzetno rijedak) i
- kružne raskrsnice kod kojih prvenstvo prolaza imaju saobraćajni tokovi koji se nalaze u kružnom toku (ovaj tip dominira u posljednje vrijeme).

Prema geometrijskom obliku kružne raskrsnice se dijele na:

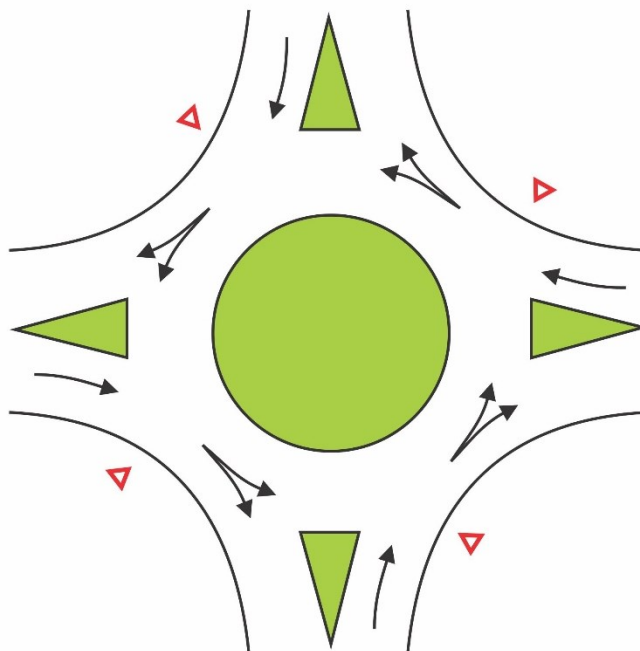
- Klasične kružne raskrsnice (engl. *Conventional Priority Roundabouts*) sa većim centralnim ostrvom i dugačkim zonama za preplitanje i kružnim prstenom sa dve i više traka (Slika 3.7). Širina prilaza kod ovog tipa je najčešće ista kao i širina kružnog prstena.



Slika 3.7 Šematski prikaz klasične kružne raskrsnic

*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.4.

- Zvonaste kružne raskrsnice (engl. *Offside Priority Roundabouts*) kod kojih je manji prečnik centralnog ostrva sa proširenim prilazima koji obično imaju manje centralno ostrvo za razdvajanje saobraćajnih tokova (Slika 3.8).



Slika 3.8 Zvonasta kružna raskrsnica
*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.5.

Prema veličini kružne raskrsnice se dijele na:

- velike kružne raskrsnice, sa prečnikom kružnog ostrva preko 20 m i prečnikom raskrsnice većim od 40 m,
- srednje kružne raskrsnice, sa prečnikom kružnog ostrva od 4–20 m i prečnikom raskrsnice od 20–40m i
- mini kružne raskrsnice, sa prečnikom kružnog ostrva manjim od 4 m i prečnikom raskrsnice manjim od 20 m.

Prema NCHRP Report 672 (NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition, 2010) kružne raskrsnice se mogu podjeliti na četiri različita tipa:

- Moderne kružne raskrsnice (engl. *Roundabout*),
- Rotori (engl. *Rotary*),
- Semaforisane kružne raskrsnice (engl. *Signalized traffic circles*) i
- Kružne raskrsnice sekundarne putne mreže (engl. *Neighborhood traffic circles*).

Moderne kružne raskrsnice imaju najveću primjenu danas u svijetu. Radi se o klasičnim kružnim raskrsnicama koje se sastoje od prilaza (koji su najčešće kanalisani tako da su ulazno i izlazno grlo fizički odvojeni), kružnog (centralnog) ostrva i kružnog prstena u kome dolazi do preplitanja tokova koji se ukrštaju. Na sledećoj slici je prikazana kružna raskrsnica na ukrštanju ulica Knjaza Miloša – Ivana Gorana Kovačića u Banjaluci, izgrađena u proljeće 2021. godine.



Slika 3.9 Kružna raskrsnica u Banjaluci (ukrštanje ulica Knjaza Miloša – Ivana G. Kovačića)
Izvor: <https://banjaluka.net/pustena-u-saobracaj-ruzna-raskrsnica-kod-lesnine/>



Slika 3.10) predstavljaju stari tip kružnih raskrsnica koji se primjenjivao pre 60-tih godina XX veka, najčešće u Sjedinjenim Američkim Državama. Osnovna karakteristika rotora je veliko centralno ostrvo (često i preko 100 m), dugačke zone preplitanja i kružni prsten sa dvije i više saobraćajnih traka, zbog čega su brzine kretanja vozila kod ovog tipa mnogo veće u odnosu na druge tipove kružnih raskrsnica (Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., i drugi., 2010).



Slika 3.10 Rotor Jadranska avenija, Zagreb, Hrvatska

Izvor: <https://www.autonet.hr/>

Semaforisane kružne raskrsnice (Slika 3.11), poput rotora, spadaju u starija projektna rešenja, najčešće u nekim gradovima Sjedinjenih Američkih Država, na kojima se upotrebom semaforских uređaja nastoji kontrolisati jedan ili više ulaznih saobraćajnih tokova.



Slika 3.11 Semaforisana kružna raskrsnica, Cape Town, Western Cape, South Africa

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-4.

Kružne raskrsnice sekundarne putne mreže (Slika 3.12) se obično grade na raskrsnicama sekundarne ulične mreže sa manjim saobraćajnim protokom, a u cilju smirivanja saobraćaja i povećanja estetskog utiska. Kod ovog tipa kružnih raskrsnica ne postoji klasično naglašavanje kanalsanja saobraćajnih tokova prije ulazaka u kružni kolovoz.



Slika 3.12 Kružne raskrsnice sekundarne putne mreže

(Izvor: FHWA, *Engineering Speed Management Countermeasures: A Desktop Reference of Potential Effectiveness in Reducing Speed*, July 2014

https://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/ePrimer_modules/module3.cfm#note8

Figure 3.7.2. *Traffic Circle without Landscaping*)

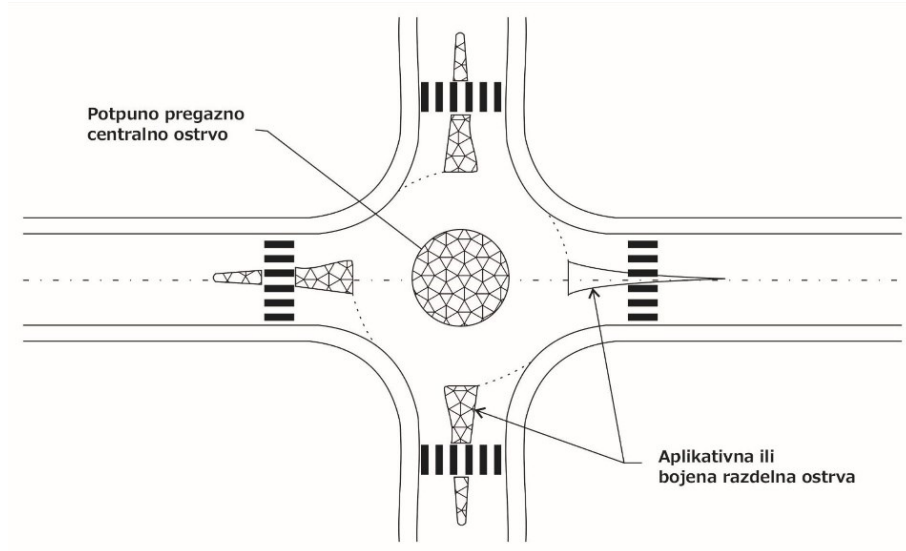
Prema NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide u zavisnosti od veličine i broja saobraćajnih traka, izvršena je podjela kružnih raskrsnica na tri osnovne kategorije: Mini kružne raskrsnice, jednotračne kružne raskrsnice i višetračne kružne raskrsnice. Navedena kategorizacija nije odvojeno napravljena za urbana, vangradska i prigradska područja te su u zavisnosti od lokacije izgradnje, moguća određena odstupanja zbog karakteristika saobraćaja.

Tabela 3.1 Podjela kružnih raskrsnica u zavisnosti od veličine i broja saobraćajnih traka
(Prema NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide)

Element	Mini	Jednotračna	Višetračna
Projektovana brzina (km/h)	25 - 30	30 - 40	40 - 50
Maksimalan broj ulivnih traka po prilazu	1	1	2+
Spoljni radijus (m)	13 - 27	27 - 55	46 - 91
Predviđeni kapacitet (voz/dan)	15.000	25.000	45.000

Mini kružne raskrsnice (engl. *Mini-roundabout*) (Slika 3.13 i Slika 3.14) se uglavnom izvode na raskrsnicama manjih saobraćajnica sa jednom ulivnom trakom po prilazu, kao i na lokacijama gde zbog ograničenog prostora nije moguće izgraditi klasičnu jednotračnu kružnu raskrsnicu. Mogu imati potpuno pregazno centralno ostrvo (Pratelli, 2019). Sa ekonomskog

apekta, veoma su povoljne zbog malih troškova izgradnje. Usljed malih brzina kretanja vozila, odlikuju se većom bezbjednošću svih učesnika u saobraćaju (Polus, 2005). Pješački prelazi su kraći i bliži samoj raskrsnici, zbog čega su ove kružne raskrsnice naročito pogodne za pješake (Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., i drugi., 2010).



Slika 3.13 Šematski prikaz mini kružne raskrsnice

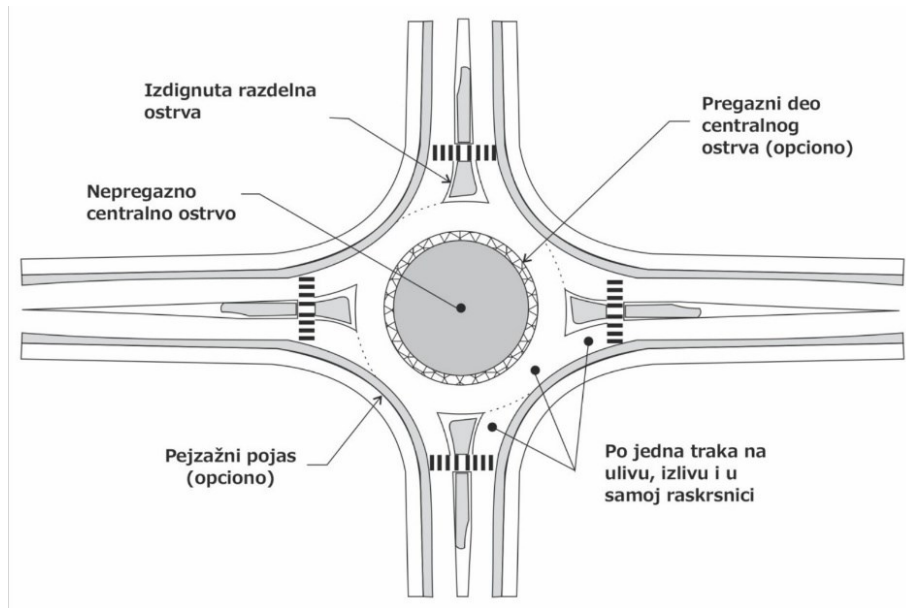
*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-10.



Slika 3.14 Mini kružna raskrsnica, Banjaluka (BiH), ukrštanje ulica Aleja svetog Save – Vase Pelagića

Jednotračne kružne raskrsnice (engl. *Single-Lane Roundabout*) (Slika 3.15 i Slika 3.16) imaju po jednu saobraćajnu traku na ulazima i izlazima, kao i jednotračnu zonu kruženja. Za razliku od mini-kružnih raskrsnica, ova kategorija kružnih raskrsnica se gradi na ukrštanjima sa većim saobraćajnim opterećenjem. Razdjelna ostrva, kao i centralno ostrvo, su izdignuti u odnosu na nivo kolovoza, s tim da se centralno ostrvo može projektovati sa pregaznim dijelom za duža vozila. Veličina jednotračnih kružnih raskrsnica zavisi od mjerodavnog vozila za definisanje

projektno-tehničkih elemenata i preglednosti, kao i od samih prostornih mogućnosti lokacije na kojoj se gradi.



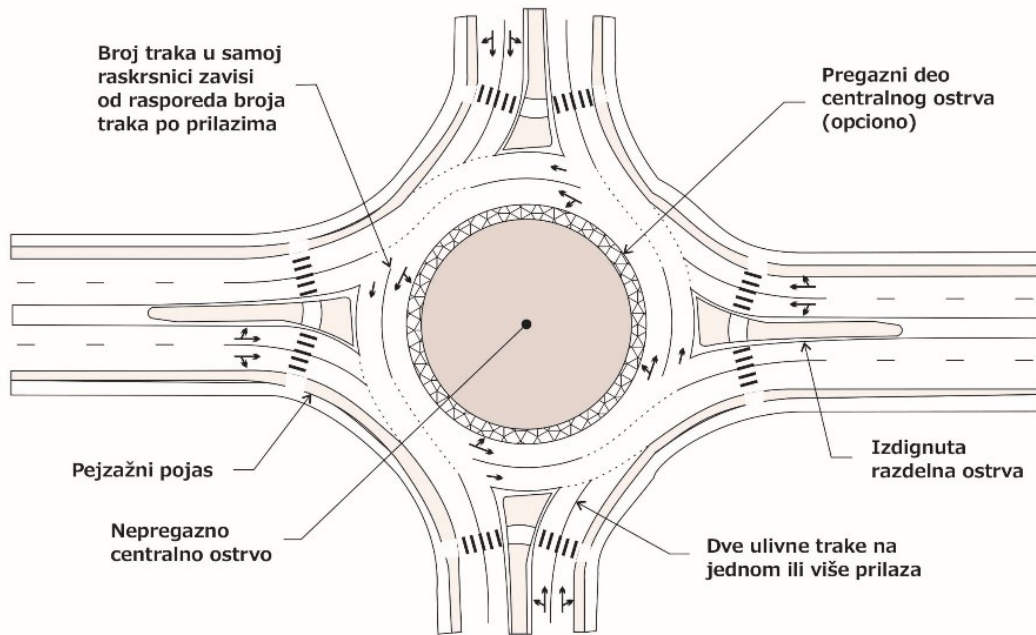
Slika 3.15 Šematski prikaz jednotračne kružne raskrsnice

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-12.



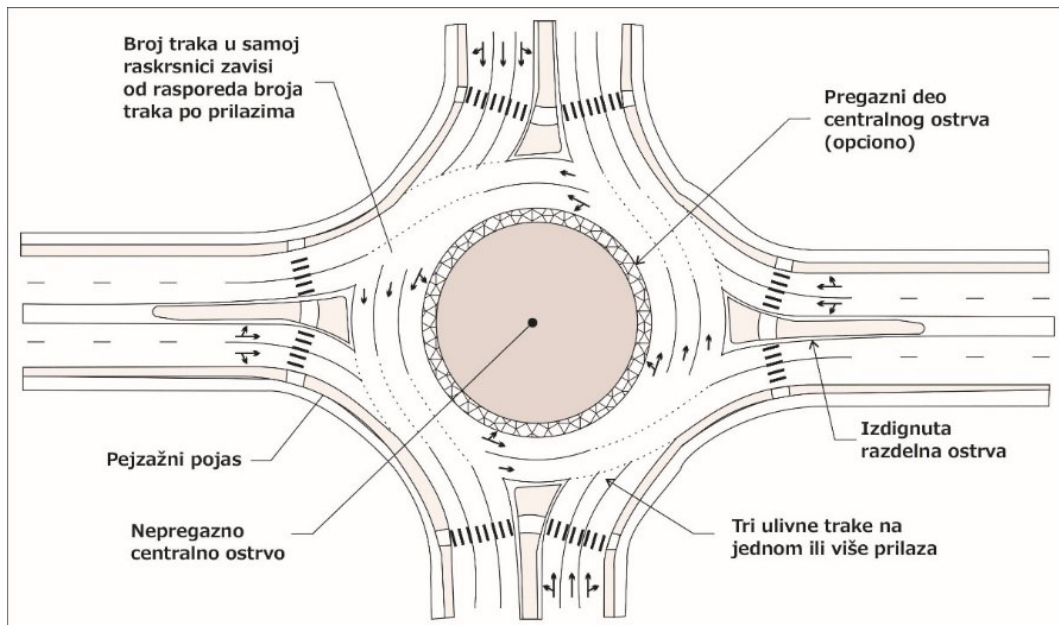
Slika 3.16 Jednotračna kružna raskrsnica, Banjaluka (BiH), ukrštanje ulica Cara Lazara – Isaije Mitrović

Višetračne kružne raskrsnice (engl. *Multi-Lane Roundabout*) se odlikuju sa najmanje dvije ulivne saobraćajne trake na najmanje jednom prilazu (Slika 3.17 i Slika 3.18). U ovu kategoriju raskrsnica spadaju i kružne raskrsnice koje imaju različit broj saobraćajnih traka na prilazima, kao i raskrsnice kod kojih se na pojedinim prilazima broj saobraćajnih traka povećava na samom ulivu. Centralno i razdjelna ostrva su obavezno izdignuti u odnosu na kolovoz, a u okviru centralnog ostrva se može formirati pregazni dio za duga vozila.



Slika 3.17 Šematski prikaz dvotračne kružne raskrsnice

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-14



Slika 3.18 Šematski prikaz trotračne kružne raskrsnice

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-15



Slika 3.19 Dvotračna kružna raskrsnica, Banja Luka (BiH), ukrštanje ulica Krajiških brigada - Karadorđeva

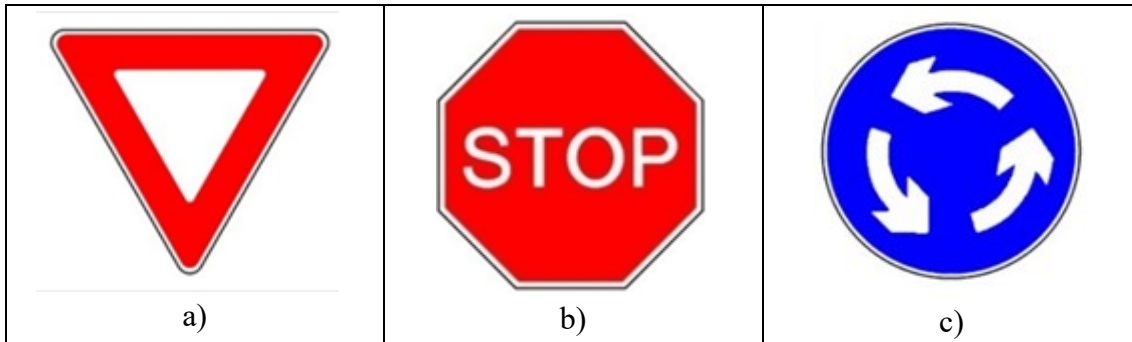
3.5 Način regulisanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama

Najčešći način regulisanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama u urbanim sredinama i gradskim arterijama podrazumjeva da pravo prvenstva prolaza imaju saobraćajni tokovi koji se nalaze u zoni kruženja. U procesu istraživanja sprovedenog za potrebe disertacije, razmatran je isključivo ovaj tip kružnih raskrsnica, a u prethodnom dijelu disertacije je i navedeno da je uvođenja ovog pravila dovelo do ekspanzije izgradnje i upotrebe kružnih raskrsnica.

Prioritet, odnosno prvenstvo prolaza vozila u kružnom saobraćajnom toku u Bosni i Hercegovini je od 2017. godine i zakonska obaveza (Zakon o osnovama bezbjednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini, 2006), Član 50. navedenog zakona navodi: „Prilikom regulisanja saobraćaja u raskrsnici sa kružnim tokom potrebno je saobraćaj regulisati tako da vozila u kružnom toku imaju prvenstvo prolaza“. Za razliku od BiH, u Srbiji ova materija nije decidno definisana zakonom (Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, 2009). I pored toga, u praksi se projektanti najčešće pridržavaju pravila kojim se saobraćajnom toku u kruženju daje prioritet u odnosu na ulazne saobraćajne tokove. Definisanje prioriteta odnosno regulisanje saobraćaja se, najčešće u zemljama u okruženju, vrši postavljanjem horizontalne i vertikalne saobraćajne signalizacije, a dobro postavljena i održavana saobraćajna signalizacije povećava nivo bezbjednosti saobraćaja (Jensen, S. U., 2014).

Saobraćajni znaci koji se upotrebljavaju za regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama su definisani Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji (PSS) (Ministarstvo građevinarstva, 2017):

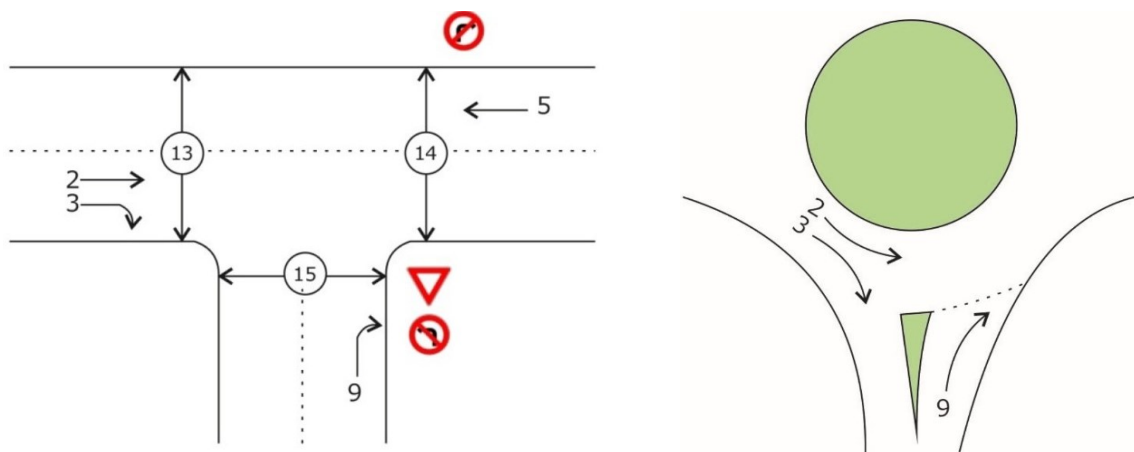
- II-1 „ustupanje prvenstva prolaza“ (Slika 3.20, pod a), označava naredbu vozaču da mora da ustupi prvenstvo prolaza vozilima koja se kreću putem na koji nailazi,
- II-2 „obavezno zaustavljanje“ (Slika 3.20, pod b), označava naredbu vozaču da mora da zaustavi vozilo i ustupi prvenstvo prolaza vozilima koja se kreću putem na koji nailazi i
- II-45.2 „kružni tok saobraćaja“ (Slika 3.20, pod c), označava naredbu vozaču da nailazi na put gde se mora kretati u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu.



Slika 3.20 Saobraćajni znakovi za regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama

Saobraćajni znaci II-1 i II-2, kojima se daje prioritet vozilima u kružnom toku i saobraćajni znak II-45.2 se postavljaju na ulaznim kracima kružne raskrsnice, a saobraćajni znak II-45.2 se može dodatno postaviti i na kružnom podeoniku / centralnom ostrvu. Na ovaj način je jasno i nedvosmisleno definisano pravo i obaveza svakog vozača u svim mogućim saobraćajnim situacijama na kružnoj raskrsnici.

Ovakav način regulisanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama značajno utiče na postupke analize kapaciteta i nivoa usluge. Naime, ukoliko se kružna raskrsnica razvije na način da se napravi presjek na kružnom kolovozu (Slika 3.21), dobija se niz uzastopnih trokrakih raskrsnica na bliskom odstojanju i uslovi odvijanja saobraćaja na prilazu kružne raskrsnice su veoma slični uslovima odvijanja saobraćaja na prilazu trokrake TWSC raskrsnice, a gotovo identični ako je na trokrakoj raskrsnici saobraćajnim znacima zabranjeno lijevo skretanje na glavnom (prioritetnom) i sporednom prilazu (Bogdanović, V., 2005).



Slika 3.21 Kretanje na trokrakoj i kružnoj raskrsnici

*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.9.

Prema tome, kružne raskrsnice sa aspekta analize kapaciteta i nivoa usluge predstavljaju specijalan tip nesignalisanih raskrsnica na kojima je broj mogućih manevara i rangova kretanja, zbog geometrije i načina prolaska vozila kroz središte raskrsnice, značajno redukovan. Za razliku od drugih tipova raskrsnica TWSC gde postoji pet vrsta kretanja i četiri ranga, na kružnoj raskrsnici postoje dva kretanja i dva ranga:

- I) Kretanja ili manevri „najvišeg prioriteta“ predstavljaju kretanja zonom kruženja, odnosno tranzitnom zonom. Ovi saobraćajni tokovi imaju pravo prvenstva u odnosu na sve ostale tokove, što znači da vozila sa ulivnog grla prilaza kružne raskrsnice moraju ustupiti prvenstvo prolaza vozilima koja se kreću na prioritonom (glavnom) putu, odnosno koja se kreću zonom kruženja. Ovo kretanje u opštoj klasifikaciji predstavlja kretanje Ranga 1 (Highway Capacity Manual 6, 2016) i
- II) Kretanje „nižeg prioriteta“ jeste desno skretanje sa ulaznog grla prilaza (ulaznog toka) kružne raskrsnice, prilikom koga se ustupa pravo prvenstva prolaza saobraćajnom toku u kružnom kolovozu, odnosno kretanjima „najvišeg prioriteta“. Ovo kretanje prema hijerarhiji prema metodologiji HCM predstavlja kretanje Ranga 2 (Highway Capacity Manual 6, 2016).

Desno skretanje sa ulaznog toka kružne raskrsnice ima slične karakteristike kao desno skretanje sa sporednih prilaza klasičnih TWSC raskrsnica, tj. karakter kretanja nižeg prioriteta (usljed ulivanja postoji tzv. „istosmjerno ukrštanje“), osim ako se ne obavlja na način da se vozila iz krajnje lijeve saobraćajne trake sa ulivnog grla uključuju u krajnju lijevu (unutrašnju) saobraćajnu traku u zoni kruženja.

3.6 Bezbjednost saobraćaja kad kružnih raskrsnica

Sa stanovišta bezbjednosti saobraćaja, kružne raskrsnice su se pokazale bezbjednije od ostalih tipova površinskih raskrsnica, zbog manjeg broja konfliktnih tačaka i manje brzine kretanja kroz zonu kruženja.

Rezultat ispitivanja bezbjednosnih karakteristika kružnih raskrsnica je definisao postojanja 25 vrsta saobraćajnih nezgoda koje se mogu dogoditi na kružnoj raskrsnici (Montella, A., 2011), a koje su prema učestalosti događanja prikazane u sledećoj tabeli.

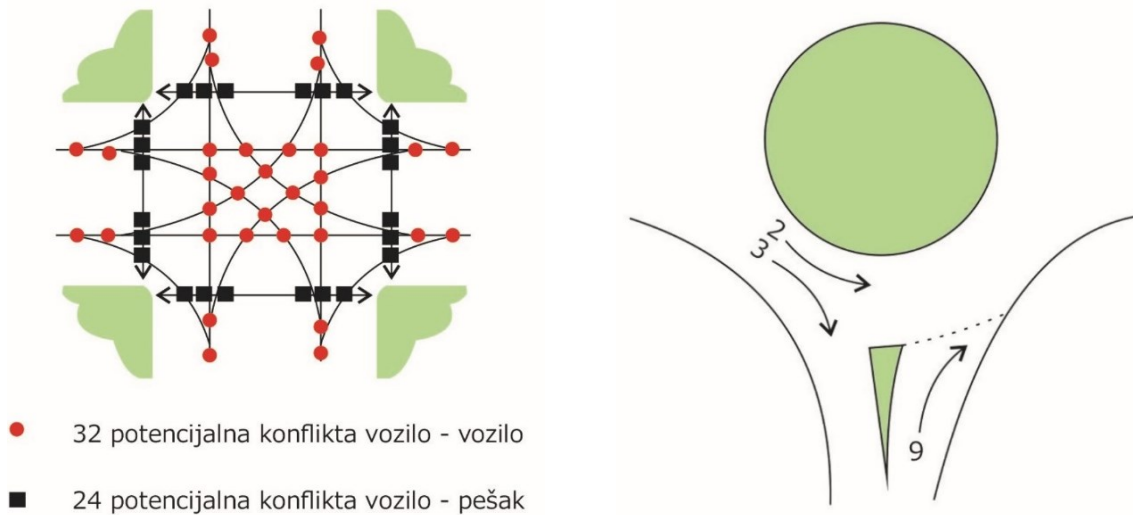
Tabela 3.2 Učestalost događanja saobraćajnih nezgoda u kružnim raskrsnicama

1. Bočni sudar na ulasku u raskrsnicu	10. Čeonni sudar vozila na ulasku i vozila na izlasku iz zone kruženja	19. Sudar pri promjeni trake na izlasku iz raskrsnice
2. Sudar pri sustizanju na ulasku u raskrsnicu	11. Udar u parkirano vozilo na izlasku iz zone kruženja	20. Bočni sudar u kružnom toku

3. Sudar pri sustizanju na izlasku iz raskrsnice	12. Udar u prepreku na kolovozu na ulasku u zonu kruženja	21. Sletanje s kolovoza na izlivnom grlu
4. Udar u prepreku na kolovozu na izlasku iz raskrsnice	13. Obaranje pješaka na izlasku iz zone kruženja	22. Obaranje pješaka na ulivnom grlu
5. Sudar pri sustizanju u zoni kruženja	14. Preletanje preko centralnog ostrva	23. Udar u zaustavljeno vozilo na ulivnom grlu
6. Bočni sudar na izlasku iz raskrsnice	15. Udar u prepreku na kolovozu u zoni kruženja	24. Pad sa vozila (bicikl, motocikl) na izlivnom grlu
7. Sudar pri promjeni trake na ulasku u raskrsnicu	16. Udar u parkirano vozilo na ulivnom grlu	25. Čeoni sudar vozila u zoni kruženja
8. Pad sa vozila (bicikl, motocikl) na ulasku u raskrsnicu	17. Sudar pri promjeni trake u zoni kruženja	
9. Pad sa vozila (bicikl, motocikl) u zoni kruženja	18. Sletanje s kolovoza u zoni kruženja	

Postoji opšti stav da je broj saobraćajni nezgoda na raskrsnicama uslovljen brojem konfliktnih tačaka i obimom saobraćaja na konfliktnim tokovima (Saccomanno, F. F., Cunto, F., Guido, G., Vitale, A., 2008).

U poređenju sa klasičnim trokrakim i četverokrakim raskrsnicama, glavna prednost kružnih raskrsnica je u eliminisanju ili smanjenju konfliktnih površina i konfliktnih tačaka prvog reda (presjecanje) i drugog reda (preplitanje), kao i smanjenje konfliktnih tačaka trećeg reda (priključivanje, odvajanje). Teoretski, klasična četverokraka raskrsnica ima 32 konfliktnih tačke (16 presjecanja, 8 razdvajanja i 8 udruživanja/spajanja), a jednostrana četverokraka kružna raskrsnica ima samo 8 konfliktnih tačaka nižeg reda (4 razdvajanja i 4 udruživanja/spajanja) (Slika 3.22).



Slika 3.22 Potencijalne konfliktne tačke na klasičnoj četverokrakoj prioritetnoj raskrsnici i jednostručnoj četverokrakoj prioritetnoj kružnoj raskrsnici

*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.8.

Dobro isprojektovana i izgrađena kružna raskrsnica smanjuje brzinu ulaska vozila na prilazu kao i brzinu u zoni kruženja. Prosječna brzina kretanja vozila prilikom prolaska kroz središte kružne raskrsnice manja je od brzina koje se ostvaruju na klasičnim površinskim raskrsnicama, naročito za vozila koja se kreću prioritetnim putnim pravcem. Iz tog razloga se kružna raskrsnica često koristi kao usporivač pogotovo na prelazu iz vangradskog područja, na kojem su dozvoljene veće brzine kretanja, u urbano područje gde su brzine manje. Kružne raskrsnice se mogu upotrebiti kao usporivači i na drugim dijelovima ulične mreže, bez obzira na obim i strukturu saobraćajnog toka.

3.7 „Turbo“ kružne raskrsnice

Opšte pravilo kretanja vozila u dvotračnim kružnim raskrsnicama, osim ako saobraćajnom signalizacijom nije drugačije definisano, je da vozila koja skreću desno ili idu pravo zauzimaju desnu saobraćajnu traku na ulaznom kraku, a ukoliko idu pravo, skreću lijevo ili se okreću nazad, onda zauzimaju lijevu saobraćajnu traku. Nepoštivanje ovog pravila dovodi do povećanja broja konfliktnih tačaka (Bastos Silva, 2014a). Favoriziranje izgradnje isključivo jednostručnih kružnih raskrsnica, kako bi se minimizirao broj konfliktnih tačaka, nije moguće jer dovodi do ograničavanja kapaciteta kružne raskrsnice (Fortujin, 2009b), a samim tim i pogoršanja nivoa saobraćajne usluge. Ublažavanje ovog problema je izgradnja kružnih raskrsnica sa spiralskim kružnim ostrvom – turbo kružnih raskrsnica. Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (Putevi Srbije, 2012) turbo kružnu raskrsnicu definiše kao posebnu vrstu višetračne kružne raskrsnice, pri kojoj su neki saobraćajni tokovi međusobno odvojeni odnosno vođeni po fizički odvojenim saobraćajnim trakama. Saobraćajni tokovi se ispred uliva u kružnu raskrsnicu vode odvojeno, kao i za vrijeme vožnje kroz zonu kruženja, i na izlazu. Fizička odvojenost saobraćajnih traka se prekida samo na mjestima predviđenog uliva (unutrašnja kružna saobraćajna traka) u kružnu raskrsnicu. Fizičko razdvajanje se postiže elementima posebnog oblika koji ograničavaju (ali ne i sprečavaju) promjenu saobraćajnih

traka u kružnoj raskrsnici. Vozač mora da izabere odgovarajuću voznu traku već na ulivu (u zavisnosti na kom izlivu napušta kružnu raskrsnicu) i odluku više nije moguće menjati. Na ovaj način eliminisane su konfliktna tačka preplitanja. Zbog nemogućnosti promjene vozničkih traka u kružnom toku, veoma važnu ulogu ima pravilno postavljena saobraćajna signalizacija.

Prva turbo kružna raskrsnica izgrađena je 2000. godine u Holandiji (Fortuijn, L. G. H., 2009a). Turbo kružnim raskrsnicama, kao vrstama prioriternih kružnih raskrsnica, u Srbiji i Bosni i Hercegovini nije dat poseban značaj u priručnicima za projektovanje puteva (Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, 2012) i (Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima u BiH, 2005), iako turbo kružne raskrsnice imaju veliki značaj zavisno od primenjenog geometrijskog oblika (Džambas, Ahac, & Dragčević, 2017).

3.8 Prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica

U cilju formiranja potpune slike o kružnim raskrsnicama, neophodno je sa različitih stanovišta (bezbjednost saobraćaja, operacione karakteristike, životna sredina, odnos prema ranjivim učesnicima u saobraćaju) sagledati sve njihove prednosti i nedostatke, te shodno tome analizirati opravdanost uvođenja (izgradnje nove / rekonstrukciju postojeće raskrsnice) kružne raskrsnice.

Tabela 3.3 Prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica

PREDNOSTI	NEDOSTACI
Bezbjednost saobraćaja	
Manji broj konfliktnih tačaka nego kod klasičnih površinskih raskrsnica Eliminacija konfliktnih tačaka preplitanja Manje brzine u sudarima sa nemotorizovanim učesnicima u saobraćaju Nemogućnost vožnje kroz raskrsnicu bez smanjenja brzine Manji broj saobraćajnih nezgoda i manje negativne posljedice (nema čeonih sudara, ni sudara pod pravim uglom) Efikasno rješenje kao mjera za umirivanje saobraćaja u urbanim područjima	Sa povećanjem broja traka u kružnom kolovozu nivo bezbjednosti saobraćaja se smanjuje (suprotno od klasičnih površinskih raskrsnica) Ukoliko se centralno ostrvo uredi drvećem, čvrstim skulpturama i sl, postoji opasnost od udara vozila u iste
Operacione karakteristike	
Manje vrijeme čekanja (kontinuiranost vožnje) Dobro rješenje kod ukrštanja sa približno jednakim opterećenjem saobraćajnog toka na glavnom i sporednom pravcu Dobro rješenje kod višekrakah raskrsnica (pet ili više)	Veći broj kružnih raskrsnica u nizu ne omogućava sinhronizaciju („zeleni talas“) Saobraćaj u kružnoj raskrsnici nije moguće efikasno voditi uz pomoć saobraćajne policije

Mogućnost propuštanja saobraćajnih tokova velikog intenziteta Naknadna semaforizacija ne utiče značajno na povećanje kapaciteta

Mogući problem sa protokom saobraćaja kod intenzivne saobraćajne struje nemotorizovanih učesnika čime se presjeca jedan ili više krakova kružne raskrsnice

Ne može se (na jednostavan način) dati prioritet određenim učesnicima u saobraćaju (vozila jpp-a, šinska vozila...)

Kod ukrštanja pravaca sa značajnijom razlikom u obimu saobraćaja, može doći do usporavanja saobraćaja na glavnom pravcu

Životna sredina

Manja buka i emisija štetnih gasova

Teškoće sa nedostatkom prostora za izvođenje centralnog ostrva u izgrađenom području

Manja potrošnja prostora (nego kod površinskih raskrsnica sa dodatnim trakama za skretanje (uljevo ili udesno), a za isti kapacitet

Estetski izgled (pružaju mogućnost uređenja i oplemenjivanja centralnog i razdjelnih ostrva)

Manja potrošnja električne energije (u odnosu na semaforizovane)

Odnos prema ranjivim učesnicima u saobraćaju

Obavezna razdjelna ostrva povećavaju bezbjednost pješaka, s obzirom da pješaci vode računa o nadolazećem saobraćaju u samo jednom smjeru

Kružne raskrsnice velikih dimenzija nisu preporučljive ispred dječjih vrtića i škola, kao ni na drugim mjestima sa velikim brojem djece

Veći komfor za nemotorizovane učesnike

Nisu preporučljive ispred institucija za slijepa, slabovida i gluva lica, ispred domova za stara lica, bolnica, domova zdravlja i na svim drugim mjestima gde nemotorizovani učesnici u saobraćaju zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih nedostataka ne mogu bezbjedno preći ulicu bez svjetlosnih i/ili zvučnih signalnih uređaja

Lakša procjena mogućnosti prelaska

Negativan stav pješaka prema pješačkim prelazima (zbog udaljenosti od raskrsnice)

Analize kružnih raskrsnica sa aspekta životne sredine su pokazale da se njihovom upotrebom smanjuje emisija ugljen-monoksida za 29%, a azotnih-oksida 21%, u odnosu na semaforizovane kružne raskrsnice, a u odnosu na raskrsnice regulisane saobraćajnim znacima smanjenje ugljen-monoksid je 32%, emisija azotnih-oksida za 34%, emisija ugljovodonika za 42% (Varhelyi, 2002), a potrošnja goriva je manja za 30% (Niittymäki, J., P.G. Höglund, 1999). Nakon što je izgrađena kružna raskrsnica, slijedi njeno održavanje koje podrazumjeva održavanje kolovoza i trotoara, odvodnih sistema, vertikalne i horizontalne saobraćajne signalizacije, ulične rasvjete i pejzažnog uređenja, a što predstavlja troškove u njenoj eksploataciji. Kružne raskrsnice je moguće estetski urediti, i to na način da se uredi i centralno ostrvo ali i razdjelna ostrva, a dizajneri se često odlučuju da u centralno ostrvo postave fontanu, spomenik, drveće, umjetnički element ili slično. Uređenje treba da omoguću vozačima da jasno uoče signalizaciju i obrise kružnog toka dok se približavaju, te da uređenje centralnog ostrva nenarušava bezbjednost saobraćaja te se preporučuje da visina pejzaža ne prelazi 0.6 m (NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition, 2010).

Proces projektovanja kružnih raskrsnica zahteva multimodalan pristup koji uzima u obzir i vozila hitne pomoći, vozila većih gabarita, autobuse, pješake, bicikliste i moticikliste, analizu eventualnog tranzitnog saobraćaja i dr, te se prilikom projektovanja moraju uzeti u obzir opšti ali i posebni uslovi karakteristični za određenu vrstu saobraćaja odnosno učesnika u saobraćaju (lokacije autobuskih stajališta, lokacije pješačkih prelaza (CROW, 1993), dizajn centralnog ostrva na način da ne ohrabruje pješake da prelaze na centralno ostrvo, izdvajanje biciklističkih staza u zavisnosti od obima saobraćaja) (FHWA, 2000) i dr.

3.9 Kapacitet kružnih raskrsnica

Kapacitet predstavlja maksimalan broj vozila koji mogu proći posmatranim dijelom putne mreže u nekom periodu vremena. Kapacitet zavisi od putnih, odnosno geometrijskih karakteristika posmatranog dijela putne ili ulične mreže, saobraćajnih karakteristika i uslova okoline (Highway Capacity Manual 6, 2016). Bilo koja promjena navedenih uslova dovodi do promjene kapaciteta analiziranog dijela putne ili ulične mreže.

Upravo opšte karakteristike saobraćajnog toka, koji su najčešće posljedica regulisanja saobraćaja, predstavljaju ključni faktor za definisanje modela, odnosno metoda za proračun kapaciteta i nivoa usluge. Za dijelove putne i ulične mreže na kojima vladaju uslovi neprekinutih saobraćajnih tokova (putevi, rampe, biciklističke staze itd) za proračun kapaciteta se koriste hidromehaničke teorije, a za praktično sve tipove raskrsnica gde vladaju uslovi povremeno prekinutih saobraćajnih tokova koriste se matematičke metode zasnovane na teoriji vjerovatnoće i regresiji.

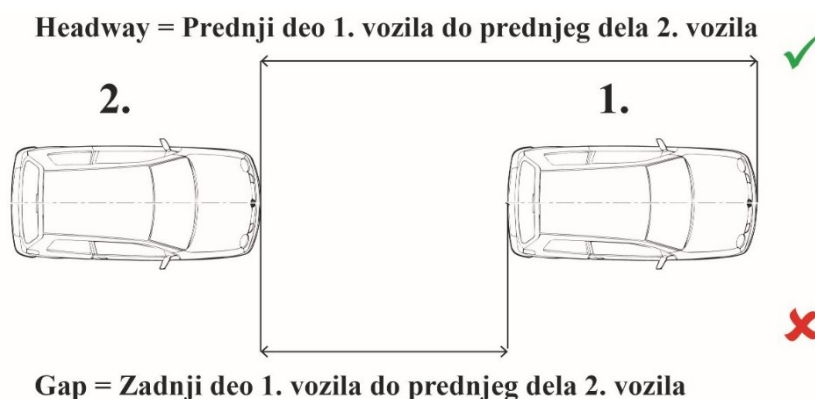
Kružne raskrsnice su tipičan primer dijela putne ili ulične mreže na kome vladaju uslovi povremeno prekinutih saobraćajnih tokova. Za proračun kapaciteta svih tipova kružnih raskrsnica, u velikom broju država, koriste se postupci definisani u američkom priručniku *Highway Capacity Manual (HCM)*. Priručnik HCM se neprestano razvija i prilagođava model uslovima odvijanja saobraćaja i ponašanja vozača, te je kroz dosadašnjih šest izdanja (Highway Capacity Manual, 1965), (Highway Capacity Manual, 1985), (Highway Capacity Manual, 1994), (Highway Capacity Manual, 2000), (Highway Capacity Manual, 2010), (Highway

Capacity Manual Edition 6, 2016) vršeno kontinuirano unapređenje postupka za proračun kapaciteta nesignalisanih, odnosno kružnih raskrsnica.

Highway Capacity Manual (HCM) za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica koristi kombinaciju empirijskog modela (eksponencijalna regresija) i modela prihvatanja vremenskih praznina za izvođenje željenih manevara uključanja vozila sa prilaza u kružni saobraćajni tok, na jednotračnim i dvotračnim kružnim raskrsnicama. Navedeni postupak je, kao i na drugim tipovima nesignalisanih raskrsnica, zasnovan na *Harders* (Harders, 1968) ili *Siegloch* (Siegloch, 1973) modelu prihvatljivih intervala sleđenja, u kome prema definiciji figuriraju intervali sleđenja koje će vozač prosečnih sposobnosti i obučenosti za vožnju prihvatiti za izvođenje sporednog manevara, a čija vrijednost se nalazi između maksimalnih i minimalnih vrijednosti koje se dobijaju terenskim istraživanjem, odnosno mjerenjem u realnom saobraćajnom toku.

Proračun kapaciteta kružnih raskrsnica se, kao što je i navedeno, zasniva na teoriji vjerovatnoće, a osnovna pretpostavka na kojoj je baziran postupak je da će se u prioritonom (kružnom) toku stvoriti dovoljno intervala u okviru kojih je objektivno moguće izvršiti sporedni manevar, ulazak vozila sa prilaza u zonu kruženja, odnosno središte raskrsnice. Navedeni interval predstavlja dovoljno veliki vremenski i prostorni razmak između vozila u prioritonom (kružnom) toku, koji će omogućiti vozilima sa sporednog (ulaznog) toka da izvrše sporedni manevar, odnosno da uđu u kružni tok. U stručnoj literaturi ovaj interval se naziva „*gap*“ (Highway Capacity Manual, 2000), odnosno „*headway*“ (Highway Capacity Manual, 2010) i (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016).

Bitno je istaći da su 2010. godine termini „*critical gap*“ i „*follow-up time*“ zamjenjeni sa terminima „*critical headway*“ i „*follow-up headway*“ (Highway Capacity Manual, 2010), (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016). Mjerenjem „*critical gap*“ umjesto „*critical headway*“ mogu se dobiti greške u neodgovarajućoj vrijednosti ispitivanog parametra, što rezultira nerealno većim vrijednostima kapaciteta analiziranih kružnih raskrsnica.



Slika 3.23 Razlike između termina „*gap*“ i „*headway*“

Kapacitet kružnih raskrsnica se računa parcijalno, na osnovu kapaciteta na svakom ulaznom prilazu, bazirajući se na pretpostavci da će se u kružnom (prioritetnom) toku stvoriti dovoljno prihvatljivih vremenskih intervala u kojima će se vršiti sporedni manevari uključanja u kružni saobraćajni tok. Jednačina za procjenu kapaciteta kružnih raskrsnica, koja se zasniva na procjeni kapaciteta svake ulazne trake, a koja je u potpunosti preuzeta iz HCM 6 (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016):

$$c_i = c_{i,pce} f_{HV,e} f_{ped} \quad (3-1)$$

$$c_{i,pce} = A e^{(-Bv_c)} \quad (3-2)$$

$$A = \frac{3600}{t_f} \quad (3-3)$$

$$B = \frac{t_c - (t_f/2)}{3600} \quad (3-4)$$

gdje je:

- c_i – kapacitet ulazne trake i (voz/h),
- $c_{i,pce}$ – kapacitet ulazne trake i , prilagođen za teretna vozila (PA/h),
- v_c – intenzitet konfliktnog toka, prilagođen za teretna vozila (PA/h),
- t_c – kritični interval sljeđenja (s),
- t_f – vrijeme sljeđenja (s),
- $f_{HV,e}$ – faktor učešća teretnih vozila i
- f_{ped} – faktor učešća pješaka.

U formuli (3-2) su zbog pojednostavljenja uvedene smjene putem jednačina (3-3) i (3-4). U napred prikazanoj formuli, pojavljuju se dva intervala i to su:

- Kritični interval sljeđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku (engl. *critical headway*) - t_c , koji predstavlja minimalnu potrebnu veličinu intervala sljeđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku, koja omogućava jednom vozilu iz ulaznog (sporednog) toka ulazak u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Vozači prosječnih vozačkih, odnosno psihofizičkih sposobnosti koji svojim vozilima vrše sporedni manevar uključivanja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok koriste svaki interval sljeđenja koji je jednak ili veći od kritičnog i
- Vrijeme sljeđenja vozila u ulaznom (sporednom) toku (engl. *follow-up headway*) - t_f , predstavlja vrijeme koje protekne od momenta kada prvo vozilo iz reda čekanja sa ulaznog (sporednog) toka pređe zaustavnu liniju ili liniju preglednosti i uključi se u kružni (prioritetni) saobraćajni tok, do momenta kada sljedeće vozilo iz reda čekanja pristigne i zaustavi se na zaustavnoj liniji ili liniji preglednosti. Navedeni interval se dakle može definisati i kao vremenski period između dva uzastopna ulaska vozila u kružni (prioritetni) saobraćajni tok.

Pored navedenih intervala, kapacitet kružne raskrsnice, zavisi i od intenziteta konfliktnog toka, učešća teretnih vozila u kružnom i ulaznom toku i učešća pješaka na pješačkim prelazima na ulaznom toku. Vozač koji se približava kružnoj raskrsnici, na ulaznom (sporednom) toku je dužan propustiti pješake koji prelaze preko pješačkog prelaza ispred kružnog (prioritetnog) toka čekajući da se pojavi prihvatljivi vremenski interval između kretanja pješaka na pješačkom prelazu, pa tek nakon toga, iskoristiti prihvatljivi intervala sljeđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku i uključiti se u kružni saobraćajni tok (Tolazzi, 2004).

Intenzitet konfliktnog toka (v_c), učešće teretnih vozila u kružnom i ulaznom toku ($f_{HV,e}$) i učešće pješaka na pješačkim prelazima ispred ulaznog toka (f_{ped}) određuju se odgovarajućom procedurom mjerenja na terenu. Vrednosti kritičnog intervala sljeđenja (t_c) i vremena sljeđenja (t_f) se određuju na osnovu realnih istraživanja u okviru definisanih standarda i saobraćajnih propisa, te sredine u kojoj se saobraćaj odvija.

Tabela 3.4 Vrijednost parametara za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica prema HCM 2010 i HCM 6

Parametri za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica	A	B	t_c	t_f	t_f/t_c
<i>HCM 2010</i>					
Jedna traka u kružnom toku ($n_c=1$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1130	0,00100	5,19	3,19	0,62
Dvije ulazne trake ($n_e=2$) (prihvatljivo za obe trake)	1130	0,00100	5,19	3,19	0,62
Dvije trake u kružnom toku ($n_c=2$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1130	0,00070	4,11	3,19	0,78
Dvije ulazne trake ($n_e=2$)					
Desna ulazna saobraćajna traka	1130	0,00070	4,11	3,19	0,78
Leva ulazna saobraćajna traka	1130	0,00075	4,29	3,19	0,74
<i>HCM 6</i>					
Jedna traka u kružnom toku ($n_c=1$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1380	0,00102	4,98	2,61	0,52
Dvije ulazne trake ($n_e=2$) (prihvatljivo za obe trake)	1420	0,00091	4,54	2,54	0,56
Dvije trake u kružnom toku ($n_c=2$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1420	0,00085	4,33	2,54	0,59
Dvije ulazne trake ($n_e=2$)					
Desna ulazna saobraćajna traka	1420	0,00085	4,33	2,54	0,59
Leva ulazna saobraćajna traka	1350	0,00092	4,65	2,67	0,57

Posljednje izdanje priručnika HCM (*HCM 6*), (*Tabela 4.1*), unosi određene promjene u pogledu datih parametara kritičnog intervala sljeđenja i vremena sljeđenja (u odnosu na prethodno izdanje priručnika *HCM 2010*). Pored navedenih vrijednosti, preporučuju se terenska, odnosno lokalna mjerenja na osnovu kojih se utvrđuju kalibrirane vrijednosti, koje ustvari predstavljaju lokalno prilagođene vrijednosti.

3.10 Nivo usluge kružnih raskrsnica

Kriterijumi za određivanje nivoa usluga (LOS criteria – engl. *level-of-servece criteria*) za motorna vozila u kružnim raskrsnicama su dati u *Tabela 3.5*. Za proračun nivoa usluge prilaza i raskrsnice koristi se isključivo parametar vremenski gubici, na osnovu čega je definisano šest

nivoa usluge od *A-F*, kao i za ostale djelove ulične i putne mreže. Ukoliko odnos tok/kapacitet prelazi vrijednost 1,0 bez obzira na vremenske gubitke, dodjeljuje se nivo usluge F.

Tabela 3.5 Nivo usluge i prosječni vremenski gubici

*Izvor: HCM 6, LOS criteria, Exhibit 22-8.

Vremenski gubici po vozilu (s/voz)	Nivo usluge na osnovu stepena iskorišćenja kapaciteta (v/c)	
	$v/c \leq 1,0$	$v/c > 1,0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Kružne raskrsnice imaju istu osnovnu formulaciju vremenskih gubitaka kao nesignalisane raskrsnice regulisane saobraćajnim znacima II-1 i II-2 (TWSC i AWSC). Pošto za kružne raskrsnice nisu vršena posebna istraživanja za određivanje vremenskih gubitaka. HCM 6 (*Highway Capacity Manual 6.*) daje preporuke proračuna vremenskih gubitaka kako je to definisano za prethodno pomenute nesignalisane raskrsnice.

4 ANALIZA REZULTATA POSTOJEĆIH ISTRAŽIVANJA

Kružne raskrsnice imaju specifičnu i jedinstvenu geometriju u odnosu na sve ostale tipove površinskih raskrsnica, kao i specifične uslova odvijanja saobraćaja koji su posljedica sinergijskog uticaja geometrije i načina regulisanja saobraćaja. Proces projektovanja kružnih raskrsnica treba da se provede na način da se uspješno upravlja saobraćajnim zahtjevima koji se stavljaju pred buduću kružnu raskrsnicu, nastojeći da se minimiziraju vremenski gubici, saobraćajne nezgode i troškovi za sve učesnike u saobraćaju. Zbog navedenih razloga i činjenice da su kružne raskrsnice sve više zastupljene na uličnoj mreži, od sredine druge polovine 20-veka izvršen je veliki broj istraživanja parametara saobraćajnog toka na kružnim raskrsnicama.

4.1 Istraživanja brzine na kružnim raskrsnicama

Mnoga istraživanja koja su sprovedena na kružnim raskrsnicama ističu brzinu kao jedan od najvažnijih parametara u geometrijskom oblikovanju kružnih raskrsnica, kao i ključni parametar u mikro-simulacijskim saobraćajnim modelima. Sam način projektovanja zavisi od lokacije kružne raskrsnice i brzine, ali osnovne karakteristike dizajniranja su praktično identične. Upravljanje brzinama je kombinacija upravljanja brzinama unutar samog kružnog toka, na prilazima kružnoj raskrsnici i na izlazima iz kružne raskrsnice. (NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition, 2010). Brzina je jedan od osnovnih parametara koji se definiše u simulacionim modelima kako bi se u najvećoj mogućoj mjeri opisali realni uslovi odvijanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama (Nikolic, G, Pringle, R., Bragg, K., 2010). I u mnogim drugim radovima potvrđen je uticaj geometrije raskrsnice na brzinu, a dokazano je da postoji značajna razlika u brzinama na prilazu, unutar zone kruženja i izlivnom grlu.

Brzina na prilazu kružnoj raskrsnici definiše se kao najveća brzina kojom vozilo može proći kroz kružnu raskrsnicu. Projektovane brzine se računaju na udaljenosti od 15 – 45 metara prije ulaza u kružnu raskrsnicu, i treba da zadovolje maksimalnu ulaznu brzinu za jednostrane prilaze od 40 km/h na 15 metara, odnosno 50 km/h na 45 metara (Roundabout Design Standards - A Section of the Traffic Engineering Policy & Design, 2005). Ulazni radijus vrijednosti manje od 20 m, utiče na smanjivanje ulazne brzine, a s druge strane manji izlazni radijusi utiču na smanjivanje brzine izlaza. Kod dvotračnih kružnih raskrsnica ovo može dovesti do preklapanja putanja kretanja vozila i samim tim odstupanja od ove zavisnosti. Takođe, dvotračne kružne raskrsnice imaju veći prečnik kružnog ostrva, što može stvoriti probleme kod razdvajanja ulaza i izlaza (Zong Z. Tian, 2007). Širina saobraćajne trake na prilazu treba da iznosi 4,5 m ukoliko se radi o jednostranom prilazu, odnosno 3,0 m ukoliko se radi o dvotračnom prilazu.

Brzina kruženja predstavlja maksimalnu brzinu vozila kojom se vozilo može kretati zonom kruženja i ona je u funkciji radijusa kretanja, faktora bočnog trenja, poprečnog nagiba i mase vozila. Radijus kretanja vozila se računa na svakom radijusu (Robinson, B et al., 2000), (AUSTROADS, 1993). Prema (AUSTROADS, 1993), poglavlje 4.2.6. i (FHWA, 2000), poglavlje 6.2.1.4., bezbjedna brzina unutar kružne raskrsnice računa se prema jednačini:

$$V_n = 3,6 \sqrt{(9,81 (f_s + e) R_n)} \quad (4-1)$$

gdje je:

- V_n - brzina unutar kružne raskrsnice (km/h),
- f_s – faktor bočnog trenja,
- e – poprečni nagib (m/m) i
- R_n – radijus (m).

Vrijednosti poprečnog nagiba za putanje na ulazu i izlazu iznosi +0,2, a unutar kruga -0,2. Minimalna vrijednost brzine unutar kruga $V_{nmin} \geq 5 \text{ km/h}$ a maksimalna vrijednost $V_{nmax} = 50 \text{ km/h}$.

Regresijski model (Almoarawi M., 2018) za definisanje brzine na višetračnim kružnim raskrsnicama je definisao ulaznu brzinu, brzinu cirkulacije (kruženja) i brzinu na izlivnom grlu, na osnovu geometrijskih karakteristika raskrsnice i vrijednosti protoka i učešća konvencionalnih vozila.

Uticaj geometrijskih karakteristika na brzinu saobraćajnog toka na određenim segmentima kružne raskrsnice je stvarna i značajna korelacija između brzine na prilazu, širine prilaza i broja saobraćajnih traka na prilazu. Povećanje vrijednosti ovih faktora direktno utiče na povećanje prosječne brzine vozila na prilazu kružnoj raskrsnici. (Davidović S., Bogdanović V., Garunović N., Papić Z., Pamučar D., 2021). Navedeno istraživanje pokazuje da postoji veza između brzine i spoljnog prečnika, odnosno prečnika središnjeg ostrva.

Geometrijske karakteristike ulaza i izlaza iz kružne raskrsnice igraju važnu ulogu u kontroli brzine prolaska vozila kroz kružnu raskrsnicu. Definisanje brzine kod projektovanja kružnih raskrsnica može se vršiti na osnovu standardne metode koja koristi odnos brzine i radijusa koja je zasnovana na AASHTO dokumentu (Policy on Geometric Design of Higwayas and Streets) (Manual, ODOT Higway Design, 2012). Navedena metoda definiše formulu:

$$V = \sqrt{15R (e + f)} \quad (4-2)$$

gdje je:

- e – poprečni nagib,
- f – faktor bočnog trenja.

Formiranje modela (Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, E., 2013) za definisanje bezbjednosti saobraćaja u kružnim raskrsnicama zasniva se na definisanju prosječne brzine prolaska kroz kružnu raskrsnicu koja predstavlja prosječnu brzinu ulaza, kretanja kružnim kolovozom i izlaza. Brzina na kružnim raskrsnicama u velikoj mjeri zavisi o putanji prolaska vozila kružnom raskrsnicom, odnosno od geomtrijskih karatkeristika putanje kojom se ulazi u raskrsnicu, zaobilazi središnje ostrvo i izlazi iz raskrsnice (Montella A., Turner S., Chiaradonna S., Aldridge D., 2012).

U mnogim radovima definisana je zavisnost brzine od vrijednosti geometrijskih parametara, pa je tako prema (Al-Ohmari B.H., Ghuzlan K.A., Al-Helo L.B., 2014) prosječna brzina direktno

proporcionalna širini ulaza u prečniku središnjeg ostrva, a obrnuto proporcionalna sa ulaznim uglom.

Prilikom provjere brzine prolaska kroz kružnu raskrslu, projektovano vozilo najčešće je putnički automobil, a metode za procjenu maksimalne brzine i formiranje najbržih trasa su svrstane u dvije grupe koje ovoj problematici prilaze na isti ili sličan način i to: CROW model (Njemačke, Slovenačke, Srbijanske i Hrvatske smjernice) i FHWA model (Američke smjernice). Takođe, postoji i treće grupa smjernica, i to australijske i britanske smjernice koje se zasnivaju na analiziranju radijusa ulaza u kružnu raskrslu (Šurdonja, S., Dragčević, V., Deluka-Tibijaš A., 2018). U australijskim (Velth G., Arndt O., 2011) i britanskim smjernicama ((HA), Highways Agency, 2017) za projektovanje kružnih raskrslu predlažu se modeli koji provjeravaju kontrolu brzine u zavisnosti od radijusa putanje vozila na ulazu u kružni tok.

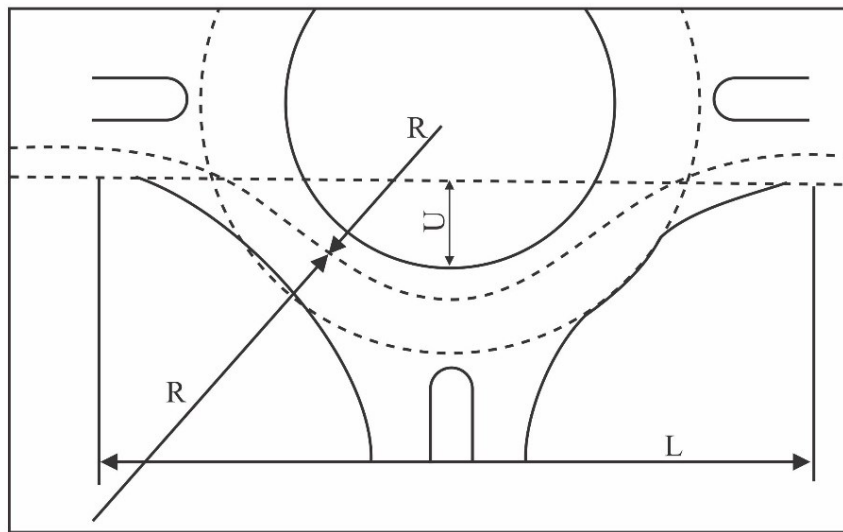
Prema CROW modelu brzina prolaska kroz kružni tok zavisi od veličine kružnog ostrva i vanjskog radijusa i kreće se od 25 do 40 km/h (Hrvatske smjernice) i 30 do 35 km/h (ostale smjernice iz ove grupe). Prvi korak je određivanje radijusa putanje vozila prema formuli:

$$R = \{(0.25L)^2 + |0.5(U + 2)|^2\}/(U + 2) \quad (4-3)$$

gdje je:

L - rastojanje između tačaka dodira tangenti ulaza i izlaza sa ivičnjacima,

U - udaljenost između tangente ulaza/izlaza i ivice središnjeg ostrva (Slika 4.1).



Slika 4.1 Šematski prikaz elemenata R, U i L

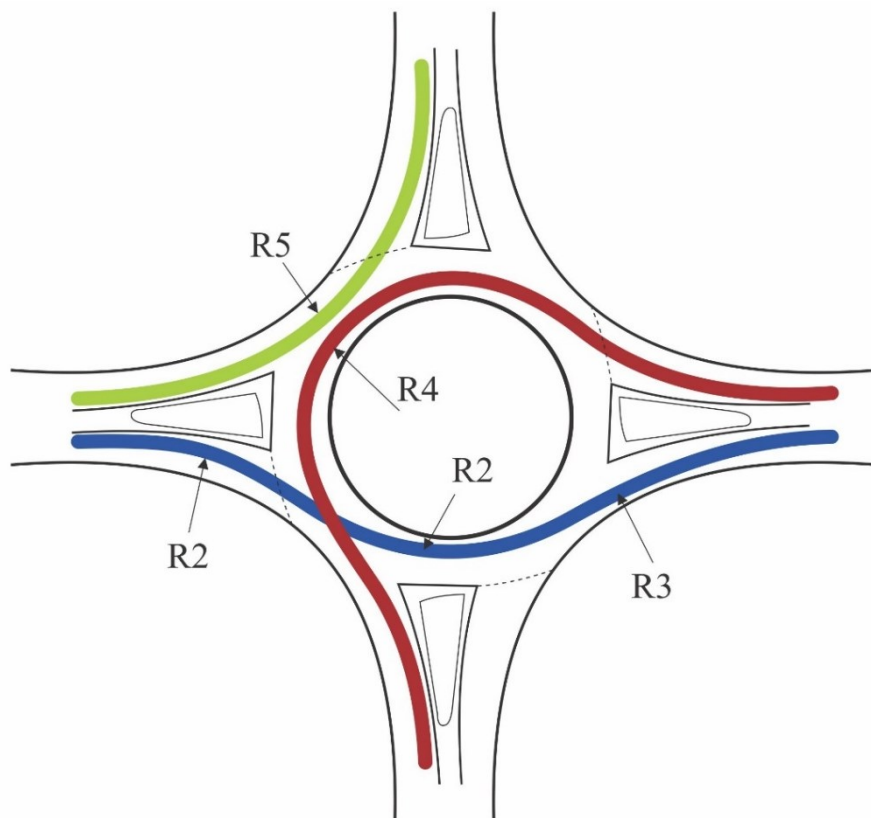
FHWA model (Američke smjernice) (FHWA, 2000) zasniva se na definisanju brzine u zavisnosti od radijusa R putanja kretanja vozila kroz kružnu raskrslu, odnosno od manevara vozila, te je radijus putanje različit ukoliko vozilo skreće desno, ide pravo ili cirkuliše oko centralnog kružnog ostrva da bi skrenulo lijevo ili se polukružno okrenulo. Nakon definisanja radijusa putanja, brzine se računa po formuli:

$$V = \sqrt{15R(e + f)} \quad (4-4)$$

gdje je:

e – poprečni nagib,

f – faktor bočnog trenja.



Slika 4.2 Radijusi putanja kretanja

Brzine na ulazu u kružni tok najviše variraju bez obzira na metodu mjerenja (Šurdonja, S., Dragčević, V., Deluka-Tibijaš A., 2018), te je neophodno raditi posebne analize uticaja geometrijskih, saobraćajnih i uslova okoline na brzinu vozila.

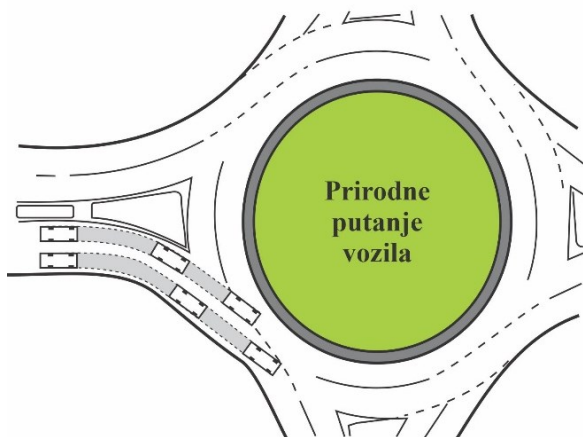
4.2 Geometrija ulaza

Veoma važna geometrijska karakteristika kružnih raskrsnica je ugao ukrštanja. Kod dizajniranja prilaza kružne raskrsnici treba obezbjediti da ugao ukrštanja bude oko 90° , s obzirom da znatno veće ili manje vrijednost ugla dovode do povećanja brzina na prilazu. Ukoliko se ova vrijednost ne može obezbjediti, onda je neophodno projektovati zakrivljenost prilaza prije ukrštanja ili povećati veličinu centralnog kružnog ostrva (KDOT, 2003). Pješачke prelaze treba locirati na udaljenosti od dužine oko jednog vozila od ulazu/izlaza u kružni tok, a u slučaju povećane frekvencije pješaka i na većoj udaljenosti kako bi vozači i pješaci mogli jedni druge uočiti i reagovati na bezbjednoj udaljenosti od dešavanja u kružnom toku (Wallwork, 1996). Smjernice i preporuke iz različitih zemalja potenciraju da se osovine prilaza sijeku pod pravim uglom u središtu centralnog kružnog ostrva, a što pored odgovarajućeg geometrijskog dizajna omogućava ulaza ili izlazak iz kružne raskrsnice smanjenom brzinom (Bastos Silva, A., Seco. A., 2005). Pomjerenje ose prilaza ulijevo u odnosu na središnje centralno ostrvo je prihvatljivije u odnosu na pomjerenje udesno koje dovodi do tangencijalnog ulaza što rezultira povećanjem brzine ulaza. Uticaj osi ulaza na brzine kretanja se definise kroz

određivanje radijusa najbržih putanja kretanje kroz kružnu raskrnicu (Gallelli, V., Vaiana, R., Iuele, T., 2014).

Projektovanje prilaza odnosno ulaza u kružnu raskrnicu je veoma bitno jer geometrijske karakteristike ulaza direktno utiču na brzinu, a ovo je naročito izraženo kod dvotračnih kružnih raskrsnica. Optimalna vrijednost ulaznog radijusa se kreće između 15 i 20 m, a vrijednosti manje od 15 m dovode do znatnog smanjivanja kapaciteta raskrsnice. Male vrijednosti ulaznog radijusa dovode do velikih uglova ulaza i obrnuto (WisDOT, 2011).

Kod jednotračnih kružnih raskrsnica projektovanje treba da omogući da se najbrže putanje vozila uspore i uravnoteže. Kod dvotračnih ulaza, u obzir se moraju uzeti prirodne putanje vozila (Slika 4.3), odnosno prirodne putanje trebaju geometrijom prilaza uticati da ne dođe do preklapanja putanja (Slika 4.4), da vozilo ulazak u kružni kolovoz ostvari bez velikih promjena zakrivljenosti putanje, a samim tim i naglih promjena brzine kretanja (NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition, 2010). Nekvalitetno projektovanje ulaza dovodi da geometrijske karakteristike ulaza utiču da vozilo, odnosno njegovu putanju dovedu u pogrešnu traku, što će negativno uticati na operativne i bezbjednosne karakteristike kružne raskrsnice. U slučaju neadekvatnih projektnih rešenja, najčešće se dešava da geometrija desne, spoljne saobraćajne trake vodi vozilo u lijevu, unutrašnju traku u kružnom kolovozu.

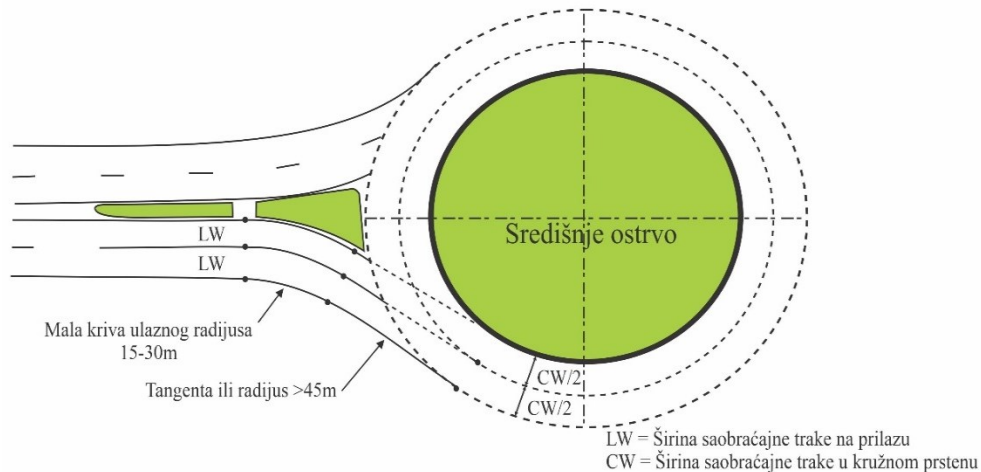


Slika 4.3 Prirodna putanja vozila
*Izvor: NCHR report 672, Figure 4.14



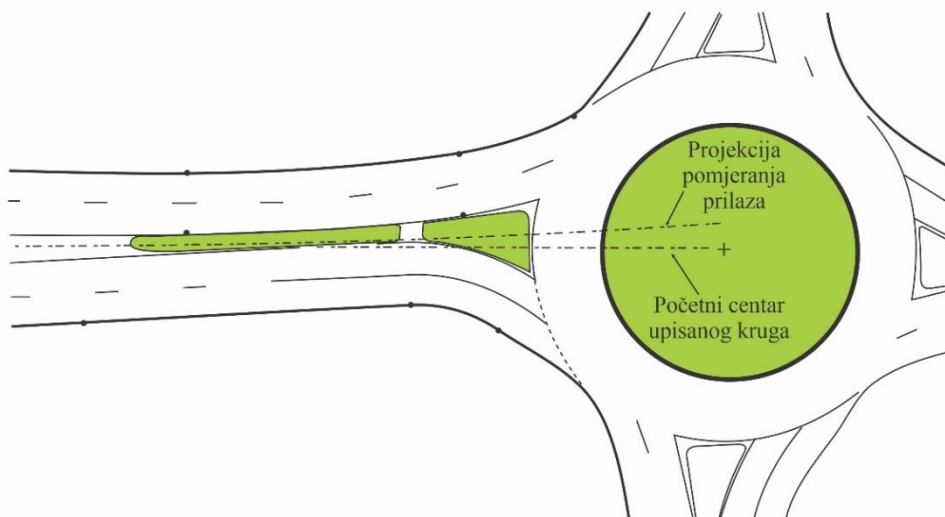
Slika 4.4 Preklapanje putanja vozila
*Izvor: NCHR report 672, Figure 4.15

Potencijalni način za provjeru eventualnog preklapanja putanja je označavanje, odnosno ucrtavanje veze između središnje linije kružnog kolovoza i središnje linije ulaznih traka, te utvrđivanja da li je radijus spoja manji od poluprečnika središnje linije kružnog kolovoza, u kom slučaju može doći do preklapanja (Arndt, 1998). Tehnika provjere eventualnog preklapanja putanja prema (KDOT, 2003) i (WisDOT, 2011) se vrši na način da se ucrtava mala kriva ulaznog radijusa (small radius entry curve 50-100 ft) od približno 15 -30 m, unazad od ivice kružnog kolovoza 3 do 6 metara, a zatim se izvlači tangenta ili radijus veći od 45 m (large radius or tangente), na način da se spoji ivica kolovoza sa ulaznim radijusom. Osnovni cilj ove tehnike je pozicioniranje ulazne krive u optimalanom položaju koji neće dovesti do preklapanja traka u slučaju ako se nalazi preblizu kružnog kolovoza ili velikih ulaznih brzina ukoliko se nalazi predaleko.



Slika 4.5 Tehnika provjere preklapanja putanja prema KDOT i WisDOT

Rješavanje problema preklapanja traka ne smije dovesti do problema povećanja brzina na ulazu. Ukoliko se prilikom projektovanja utvrdi da bi rješenje sa preklapanjem traka dovelo da povećanja ulaznih brzina, neophodno je povećati vrijednost unutrašnjeg prečnika, na vrjednost koje neće uticati na preklapanja trake i može dovesti samo do minimalnog, prihvatljivog povećanja brzine cirkulacije na kružnom kolovozu, odnosno u zoni kruženja. Ukoliko se javi problem sa nemogućnošću povećanja prečnika, problem se može pokušati riješiti sa minimalnim pomjeranjem centra radijusa upisanog kruga.



Slika 4.6 Tehnika povećavanja unutrašnjeg prečnika

Izlazni radijus iz kružne raskrsnice ne bi trebao biti mali jer bi došlo do tendencije da vozila iz unutrašnje trake kružnog kolovoza izlaze na spoljnu izlaznu traku. Veći izlazni radijusi se bolje preklapaju sa putanjama vozila i smanjuju vjerovatnoću nastanka zagušenja na izlazu. Takođe, analize pokazuju (KDOT, 2003) da radijusi izlaza koji su manji od radijusa kružnog ostrva dovode do naletanja na razdjelno ostrvo na izlazu ili na vozila iz suprotnog smjera koja su na prilazu.

Istraživanja analize uticaja pomeranja centralne ose kolovoza na ulaznom kraku raskrsnice pokazala su da se potrebna širina ulaza u kružnu raskrsnicu smanjuje, a širina izlaza povećava ukoliko se osa pomera ulijevo. Ukoliko se pak navedena osa pomjera udesno, dolazi do povećanja širine ulaza, a smanjivanja širine izlaza (Bezina, Š., Dragičević, V., Stančerić I., 2019).

Geometrija ulaza, odnosno proširenje i dužina ulaza, može uticati na povećanje kapaciteta kruže raskrsnice (NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition, 2010), (Wu, N., 2006). Veliki broj stručnjaka (Hammond, S., Hunter, C, Chang, K., 2014), (Hammond, S., Rat, A., Delle Monache, M.L., Piccoli, B., 2018) navodi da bi buduća istraživanja trebala da se usmere na uticaj dužine prilaza kružnih raskrsnica na brzinu, s obzirom da ovaj uticaj nije detaljnije istraživano. Istraživanja vršena u Velikoj Britaniji pokazala su da dužina prilaza veće od 100 m povećava brzinu vozila i negativno utiče na bezbjednosne efekte kružnih raskrsnica (Design Manual for Roads and Bridges, vol. 6, section 2, part 3, 2007). S druge strane, kod kružnih raskrsnica sa prilazima male dužine, dolazi do redukcije kapaciteta, pa je neophodno uvesti odgovarajuće faktore redukcije (Wu, N., 1999).

Veliki broj istraživanja na kružnim raskrsnicama vršen je primenom mikrosimulacija (Akcelik, R., 2002) sa posebnim osvrtnom na vremenske gubitke. Vremenski gubici koji nastanu na raskrsnicama, a koji nisu prouzrokovani u interakciji sa drugim vozilima nazivaju se geometrijski vremenski gubici (eng. Geometric delay) i oni nastaju usljed smanjivanja brzine kretanja vozila do nivoa brzine koja omogućava bezbjedan ulaz u raskrsnicu, kretanje kroz raskrsnicu i izlaza iz raskrsnice. Ove vremenske gubitke, kao i procese ubrzavanja i usporavanja na raskrsnici neophodno je posebno analizirati. Prosječna vrijednost geometrijskih vremenskih gubitaka zavisi od veličine kružnog toka, odnosno njegovih geometrijskih karakteristika. U okviru modela koji uzimaju u obzir geometrijske vremenske gubitke, potrebno je definisati brzinu vozila na ulazu, kao i izlazu iz kružne raskrsnice. Na Slika 4.7 je prikazana vrijednost geometrijskih vremenskih gubitaka u zavisnosti od veličine kružne raskrsnice i brzine, prema „SIDRA“ modelu. Ovaj model nastao je kao rezultat analiza mikrosimulacija, a od strane autora preporučena su dodatna istraživanja, odnosno razvijanje mikrosimulacijskih modela koji će povezivati složene geometrijske parametre kružnih raskrsnica (Akcelik R., Besley M., 2001)

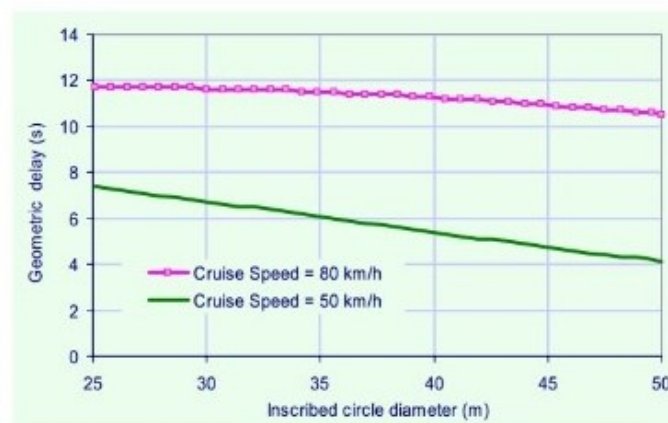


Figure 4.1 - Average geometric delay for through, left-turning and right-turning vehicles as a function of the roundabout size (single-lane roundabout with circulating road width = 8 m and entry width = 4 m)

Slika 4.7 Geometrijski vremenski gubici u zavisnosti od veličine kružne raskrsnice

*Izvor: (Akcelik, R., 2002) Figure 4.1

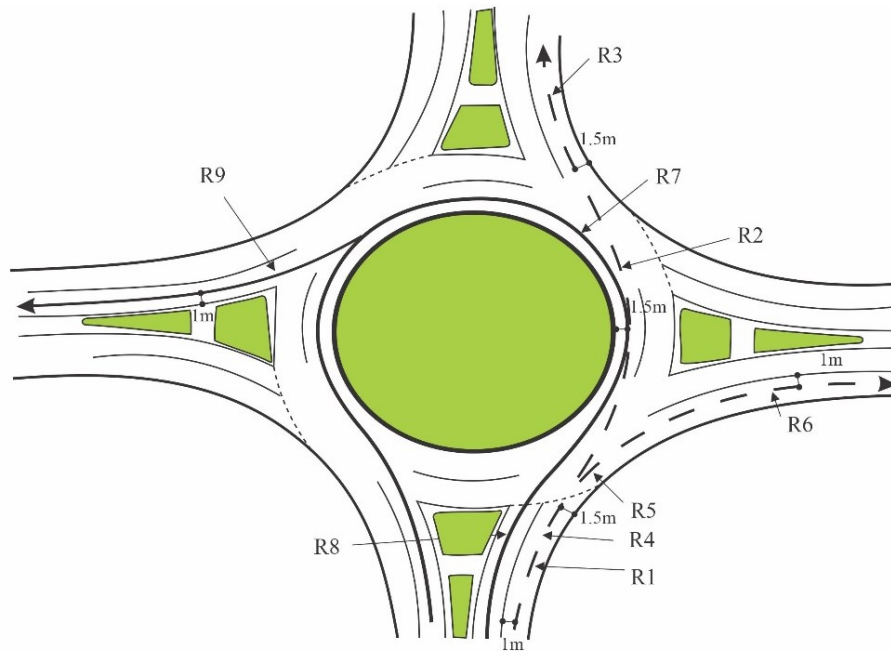
Za razliku od geometrijskih vremenskih gubitaka (eng. Geometric delay), postoje vremenski gubici koji nastaju usljed usporavanja ili zaustavljanja vozila koja je posljedica interakcije u saobraćajnom toku. Ovi vremenski gubici su posljedica velikih zahtjeva za protokom u zoni kruženja ili regulisanja saobraćaja na signalisanim kružnim raskrsnicama (npr. crveno svjetlo na semaforu). Ovi vremenski gubici se nazivaju kontrolisani vremenski gubici (eng. Control delay). Vozilo se u ovom slučaju približava raskrsnici i smanjuje prilaznu brzinu do zaustavljanja, a nakon što se stvore uslovi vozilo ubrzava do brzine u zoni kruženja, da bi na izlazu ponovo ubrzavalo do brzine saobraćajnog toka na linku između raskrsnica.

4.3 Putanja kretanja vozila

Prilikom projektovanja kružnih raskrsnica veoma bitno je analizirati trajektorija kretanja vozila, s obzirom da postoji velika disperzija putanja vozila za različite kombinacije radijusa i širina kolovoza (Stover, V.G., 2008). Jedan od aspekata analiza je i uticaj trajektorija vozila na vidljivost prilikom kretanja te vrijeme reakcije vozača (Mussone, L., 2013). Radijus ulaza ne bi trebao biti puno veći od radijusa putanje cirkulaciju u kružnoj raskrsnici (Zegeer, C.V., Seiderman, C., Langerway, P., Cynecki, M., Ronkin, M., & Schneider, R., 2002). Najbrža putanja kretanja vozila kroz kružnu raskrsnicu je u relaciji sa veličinom ulaznog i izlaznog ugla u zavisnosti od manevra kretanja (Mehmood, A., Easa, S. M., 2006). Definisane najbrže putanje kretanja vozila je bila tema mnogobrojnih analiza i radova (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen -FGSV-, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln, 2006), (Montella, A., Turner, S., Chiaradonna, S., Aldridge, D, 2013), (Alhajyaseen W.K.M., Asano M., Nakamura H., 2013) (Ahac S., Džambas, T., Dragčević, V., 2016), (Bastos Silva, A., Seco. A., 2005).

Definisane operativne brzine na svim segmentima kružne raskrsnice vrši se na osnovu analize putanje koja omogućava najbrži prolazak kroz kružnu raskrsnicu. Najbrža putanja nekog vozila kroz kružnu raskrsnicu je putanja kojom vozilo najbrže uđe, dođe do kružnog kolovoza, uđe u kružnu raskrsnicu i izađe iz nje. Uslov je da nema drugih vozila ili učesnika u saobraćaju koji ometaju posmatrano vozilo, a u slučaju da se radi o dvotračnim kružnim raskrsnicama ne utiču na odabir i upotrebu saobraćajnih traka. Generalano, manevar „kretanje pravo“ se potencijalno odvija po najbržoj putanji, ali u određenim slučajevima to može biti i skretanje desno (WisDOT, 2011).

Kod jednotačnih kružnih raskrsnica putanja vozila standardne širine od 2,0 m definisana je na način da je udaljena 1,5 m od spoljne ivice kolovoza na ulazu i izlazu, i 0,5 m od zamišljene linije kružnog kolovoza. U slučaju dvotračnih kružnih raskrsnica (Slika 4.8), putanja je udaljena 1,0 m od središnje linije prilaza, za prolazke pravo i skretanje lijevo unutar kružnog podeoka putanja je 1,5 m od centralnog ostrva odnosno 1,5 m od spoljne ivice kolovoza ukoliko vozilo skreće desno. Na izlazu za desno i lijevo skretanje je identična kao i na ulazu, odnosno 1,0 m od središnje linije, a za kretanje pravo 1,5 m od spoljne ivice kolovoza.



Slika 4.8 Najbrže putanje kod dvotračnih kružnih raskrsnica

gdje je:

- R₁ – minimalni ulazni radijus najbrže putanje za manevar pravo prije ulaza u kružni kolovoz (ne predstavlja ulazni radijus),
- R₂ – minimalni radijus najbrže putanje za manevar pravo kod centralnog ostrva,
- R₃ – minimalni izlazni radijus najbrže putanje za manevre pravo,
- R₄ - minimalni ulazni radijus najbrže putanje za manevar desno prije ulaza u kružni kolovoz,
- R₅ - minimalni radijus najbrže putanje za manevar desno unutar kružnog kolovoza,
- R₆ - minimalni izlazni radijus najbrže putanje za manevre desno,
- R₇ - minimalni radijus najbrže putanje za manevar lijevo kod centralnog ostrva u zoni konfliktne tačke,
- R₈ - minimalni ulazni radijus najbrže putanje za manevar lijevo prije ulaza u kružni podeonik i
- R₉ - minimalni izlazni radijus najbrže putanje za manevre lijevo.

Slično ovome, najbrža putanja se određuje za sve ostale kružne raskrsnice različitih geometrijskih karakteristika. Projektna brzina se definiše iz minimalnih radijusa najbržih putanja.

Kad vozilo uđe u kružnu raskrsnicu, odnosno prođe liniju zaustavljanja postoji korelacija između radijusa, brzine i pređenog rastojanja do izlaza. SIDRA metoda (AUSTROADS, 1993; FHWA, 2000) koristi odgovarajući faktor za svaki manevar vozila da bi se odredio bočni položaj vozila unutar kružne raskrsnice u odnosu na centralno ostrvo ili spoljnu granicu unutrašnjeg prečnika (upisanog kruga) kad je vozilo na pola svoje putanje. Navedena metoda prvo pretpostavlja da vozila koja će skrenuti desno ili ići pravo imaju putanju koja je bliža centralnom ostrvu, u odnosu na vozila koja će skrenuti lijevo čija putanja je bliža spoljnoj ivici upisanog kruga.

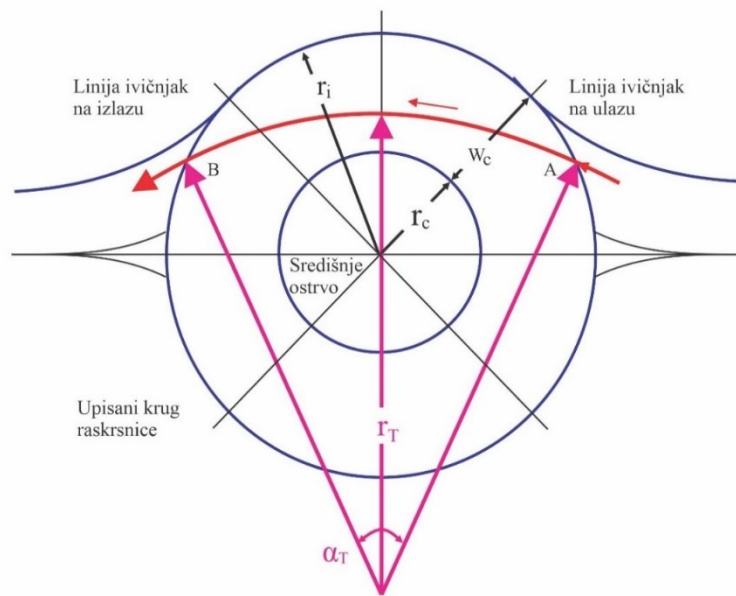
Korelacija je definisana sljedećom formulom:

$$L_n = \frac{\pi r_n \alpha_n}{180} \quad (4-5)$$

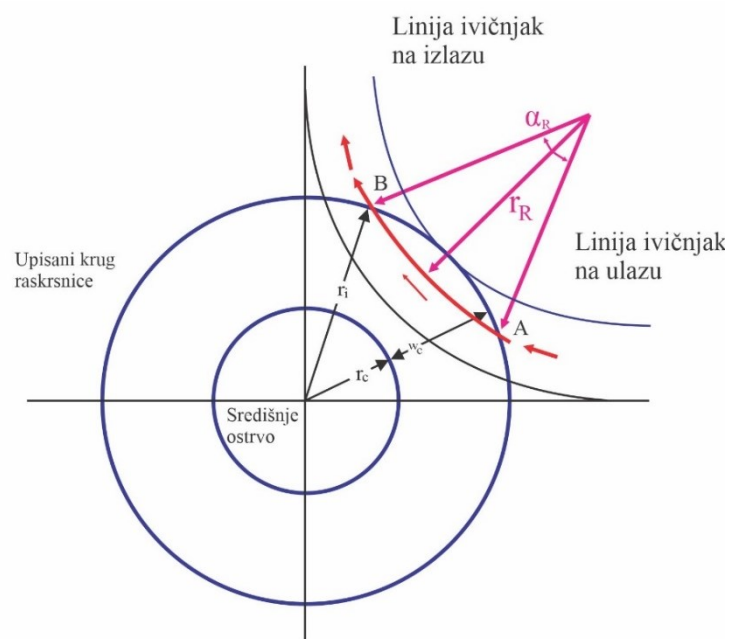
gdje je:

- L_n – dužina putanje vozila unutar kružne raskrsnice,
- r_n – radijus putanje unutar kružne raskrsnice,
- α_n – ugao putanje unutar kružne raskrsnice.

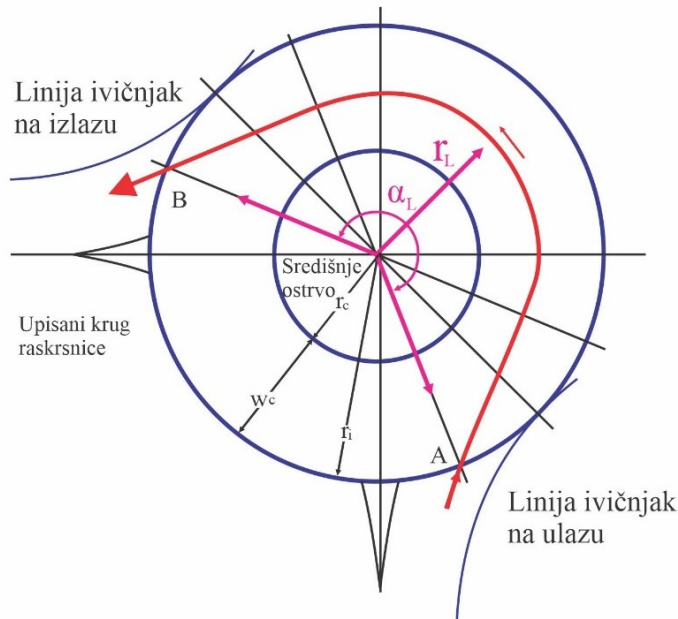
Na slikama Slika 4.9, Slika 4.10 i Slika 4.11 je prikazana konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za kretanja pravo i skretanja desno i lijevo.



Slika 4.9 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za kretanja pravo



Slika 4.10 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za skretanje desno



Slika 4.11 Konstrukcija dužine putanje vozila unutar kružne raskrsnice za skretanje lijevo

Dužina putanje vozila unutar kružne raskrsnice zavisi od veličine kružne raskrsnice (Akcelik, R., 2002). Tabela 4.1 pokazuje vrijednosti parametara L_n , α_n , r_n i v_n u zavisnosti od veličine odnosno vrijednosti geometrijskih karakteristika kružne raskrsnice (r_c – radijus centralnog ostrva, w_c – širina kolovoza unutar kružne raskrsnice, D_i – spoljni prečnik).

 Tabela 4.1 Vrijednosti parametara L_n , α_n , r_n i v_n u zavisnosti od veličine kružne raskrsnice (Akcelik, R., 2002)

Geometrijski parametri kružne raskrsnice			Kretanje „pravo“				Manevar „lijevog skretanja“				Manevar „desnog skretanje“			
r_c	w_c	D_i	α_T	r_T	L_T	v_T	α_L	r_L	L_L	v_L	α_R	r_R	L_R	v_R
8	7	30	51	31	28	33	42	16	12	23	225	11	42	19
10	10	40	53	40	37	37	39	23	16	28	225	14	55	22
15	10	50	47	57	47	44	32	35	19	34	225	19	75	25
20	10	60	43	76	57	50	28	47	23	40	225	24	94	28
25	10	70	40	97	67	50	26	59	27	45	225	29	114	31
30	10	80	37	100	84	50	25	71	31	49	225	34	134	34
35	10	90	35	100	93	50	24	83	35	50	225	39	153	36
40	10	100	33	100	87	50	23	95	39	50	225	44	173	39
10	8	36	50	39	34	36	37	22	14	27	225	13	52	21
10	9	38	52	39	35	36	38	22	15	27	225	14	53	21
10	10	40	53	40	37	37	39	23	16	28	225	14	55	22
15	8	46	44	57	44	44	30	34	18	34	225	18	71	25
15	10	50	47	57	47	44	32	35	19	34	225	19	75	25
15	12	54	50	58	51	44	33	36	21	35	225	20	78	26
20	8	56	40	78	54	50	27	46	22	39	225	23	91	28

20	10	60	43	76	57	50	28	47	23	40	225	24	94	28
20	12	64	46	76	61	50	29	48	25	40	225	25	97	29
25	8	66	36	100	64	50	25	58	25	44	225	28	111	31
25	10	70	40	97	67	50	26	59	27	45	225	29	114	31
25	12	74	42	96	71	50	27	61	29	45	225	30	117	32
30	10	80	37	100	84	50	25	71	31	49	225	34	134	34
30	12	84	40	100	90	50	26	73	32	50	225	35	137	34
30	14	88	42	100	99	50	26	74	34	50	225	36	140	35
40	10	100	33	100	87	50	23	95	39	50	225	44	173	39
40	12	104	35	100	87	50	24	97	40	50	225	45	176	39
40	14	108	38	100	86	50	24	98	42	50	225	46	179	39

5 DEFINISANJE PODRUČJA I METODOLOGIJE ISTRAŽIVANJA

Istraživanja koja su vršena u zadnjim decenijama, a koja u prezentovana u prethodnoj tački, pokazala su da postoje značajne varijacije brzina na kružnim raskrsnicama u zavisnosti od geometrijskih elemenata. Zbog karakteristika kružnih raskrsnica i načina kretanja vozila dolazi do smanjenja brzine, ne samo u zoni kruženja, nego i na prilazima raskrsnice. Varijacije, odnosno smanjenje brzine utiče na povećanje vremena putovanja, što utiče na produženje vremena putovanja arterijama, čak i u uslovima slobodnog toka. U skladu sa ciljevima disertacije, prema kojima je potrebno utvrditi uticaj kružnih raskrsnica na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama, definisana je metodologija istraživanja. U cilju dobijanja relevantnih podataka za modelovanje uticaja kružnih raskrsnica na uslove odvijanja saobraćaja na arterijama, izvršeno je mjerenje parametara saobraćajnog toka u realnim uslovima odvijanja saobraćaja. Primjenom metode mjerenja, moguće je formirati relevantnu bazu podataka, na osnovu koje je moguće objektivno sagledati uticaj geometrijskih parametara raskrsnice na brzinu, samim tim i na vrijeme putovanja kroz kružnu raskrsnicu, a u daljem postupku na uslove odvijanja saobraćaja na arterijama. Nakon istraživanja formirana je baza podataka u programskom paketu Excel koja je poslužila u postupku izrade modela.

5.1 Područje i vrijeme istraživanja

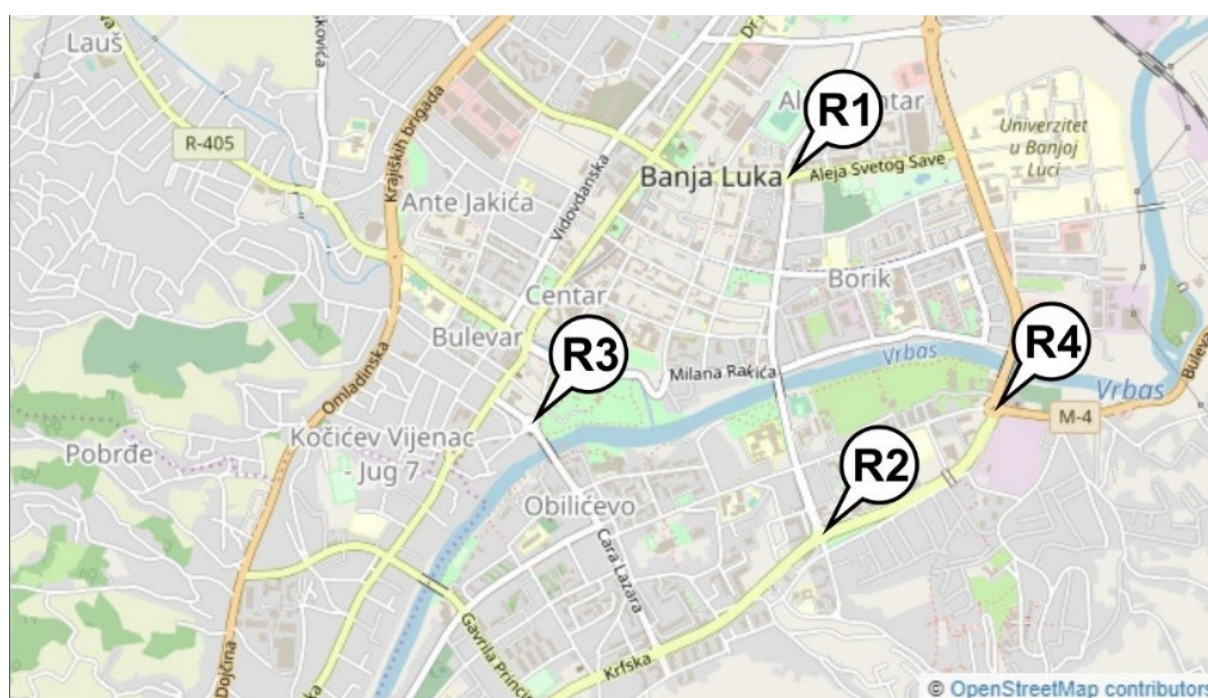
U Republici Srpskoj, pa i u Bosni i Hercegovini, Grad Banja Luka prednjači u izgradnji, odnosno implementaciji kružnih raskrsnica. Do sada je izgrađeno 17 kružnih raskrsnica, s tim da je ekspanzija izgradnje bila u zadnjih 5 godine, kada je izgrađeno 12 kružnih raskrsnica. Po svojim karakteristikama zastupljene su praktično svi tipovi kružnih raskrsnica, od velikih dvotračnih kružnih raskrsnica na magistralnim putevima i gradskim arterijama, do malih urbanih raskrsnica, pa i raskrsnica koje su izgrađene sa uklapajućim montažno-demontažnim elementima.

Ulična saobraćajna mreža Banjaluke, formirana je kao kompromis u različitim periodima razvoja Grada Banja Luka. Danas se Grad Banja Luka, praktično, nalazi u fazi kontinualnog širenja gradske saobraćajne mreže na osnovu prostorno - saobraćajne strategije nazvane "koridorski razvoj", koja je orijentisana u pravcu sjever – jug. Kao veliki problem se može navesti nepostojanje poprečnih veza u gradu, odnosno veza između istočnog i zapadnog dijela grada. Pored navedenog, neophodno je spomenuti da značajan priliv stanovništva, u periodu od 1991-1997, te stihijska gradnja novih naselja, nakon građanskog rata u bivšoj Jugoslaviji, bez adekvatne podrške u smislu razvoja saobraćajne mreže, su doveli do činjenice da određena prigradska naselja Grada Banja Luka nemaju izgrađenu adekvatnu primarnu saobraćajnu

mrežu, pa je postojeći nivo usluge postojećih saobraćajnica ispod poželjnog. Postojeća ulična mreža je ukupne dužine oko 2.000 km, sa 23 mosta, 2 nadvožnjaka i 5 pasarela u urbanom području, 45 semaforizovane raskrsnice. S druge strane, u Gradu je svake godine prisutan trend rasta broja registrovanih vozila, a poprečni profili značajnih gradskih saobraćajnica nisu u potpunosti izvedeni u skladu sa planskim rješenjima iz urbanističkog dokumenta.

Analizirane raskrsnice nalaze se u Banjoj Luci (Republika Srpska - Bosna i Hercegovina) gradu sa oko 180.000 stanovnika.

Prikupljanje podataka izvršeno je snimanjem realnog saobraćajnog toka na četiri kružne raskrsnice u urbanom području grada (Slika 5.1). Prema tipu, raskrsnice na kojima je vršeno istraživanje spadaju u kružne raskrsnice srednje veličine i velike gradske kružne raskrsnice. Snimanje je izvršeno u različitim periodima od aprila do oktobra 2019. godine.



Slika 5.1 Pozicije analiziranih raskrsnica na uličnoj mreži grada Banja Luka

U teoriji saobraćajnog toka bazni ambijentalni uslovi podrazumjevaju dnevne uslove vožnje, dobre vremenske uslove, suv kolovoz i dr. Ovakvi uslovi prilikom sprovedenog istraživanja obezbeđuju eliminisanje spoljašnjih uticaja na ponašanje vozača, s obzirom da ne izazivaju negativne efekte na ponašanje vozača i kretanje vozila (Goodwin, L. C., 2002). U cilju formiranja baze sa relevantnim podacima sva istraživanja, odnosno mjerenja, vršena su u optimalnim ambijentalnim uslovima. Za vrijeme snimanja na izabranim kružnim raskrsnicama bilo je sunčano vrijeme sa temperaturom od 15-35 °C, bez magle, kiše, snažnog vjetra i drugih nepovoljnih klimatskih uslova, kolovoz je bio suv i bez oštećenja, bez situacija koje bi uticale na nesmetano i bezbjedno odvijanje saobraćaja.

Radi formiranja uzorka u skladu sa prethodno definisanim ciljevima izabrane su 4 kružne raskrsnice sa različitim geometrijskim karakteristikama.

Kružna raskrsnica R1 se nalazi na jedinoj kapacitivnoj vezi istočnog i zapadnog dijela grada. Radi se o maloj urbanoj kružnoj raskrsnici na ulazu u stambeno naselje, sa jednom saobraćajnom trakom unutar kružnog kolovoza kao i na prilazima raskrsnici. Opslužuje lokalni putnički saobraćaj, a saobraćajnice koje vode do nje su ograničene na kretanje vozila najveće dopuštene mase 3.5 tone.



Slika 5.2 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Gundulićeva – Aleja svetog Save (oznaka R1)

Kružna raskrsnica na ukrštanju Ulice Majke Jugovića i Bulevara Desanke Maksimović (R2) opslužuje jedno od najvećih naselja u Gradu, koje se nalazi na desnoj obali Vrbasa i veći dio saobraćaja iz centralne gradske zone preko mosta Venecija koristi ovu raskrsnicu. Izgrađena je od uklapajućih montažno – demontažnih elemenata, sa pejzažnim uređenjem u svom središtu. Kružni kolovoz se sastoji od dvije saobraćajne trake, kao i prilazi kružnoj raskrsnici.



Slika 5.3 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Majke Jugovića – Bul. Desanke Maksimović (oznaka R2)

Neposredno nakon Gradskog mosta, na lijevoj obali Vrbasa, nalazi se kružna raskrsnica na kojoj se ukrštaju ulice Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića (oznaka R3). Ova raskrsnica ima veoma bitnu ulogu u uličnoj mreži grada jer se nalazi na pravcu Solunska ulica – Isaije Mitrović – Cara Lazara, a koji predstavlja značajnu poprečnu vezu istočnog i zapadnog dijela grada, tako da opslužuje lokalni saobraćaj sa desne obale Vrbasa, kao i tranzitni putnički saobraćaj.



Slika 5.4 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića (oznaka R3)

Velika kružna raskrsnica R4 se sastoji od dvije saobraćajne trake unutar kružnog kolovoza sa dvije saobraćajne trake na tri prilaza i jednom saobraćajnom trakom na jednom prilazu. Dva prilazi kružnoj raskrsnici predstavljaju gradsku saobraćajnicu, a preostala dva su dio magistralnog puta koji prolazi kroz područje grada, koji ujedno predstavlja gradsku arteriju najvišeg ranga. Zbog toga što se nalazi na magistralnom putu, bitna karakteristika ove kružne raskrsnice je heterogen saobraćajni tok u pogledu kategorije vozila. Pored toga, na ovoj raskrsnici su različite i karakteristike vozača jer pored dnevnih korisnika, u saobraćajnom toku učestvuje i značajan broj vozila koja tranzitiraju kroz grad.



Slika 5.5 Orto-foto snimak kružne raskrsnice Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića (oznaka R4)

U Tabela 5.1 dati su podaci o GPS poziciji raskrsnica na kojima su vršena istraživanja.

Tabela 5.1 Podaci o poziciji analiziranih raskrsnica

Pozicija kružnih raskrsnica u WGS-84 koordinatnom sistemu	R1	R2	R3	R4
Latitude	44.773963	44.762172	44.765897	44.766366
Longitude	17.199593	17.201245	17.187834	17.209049

5.2 Metodologija merenja i istraživanja brzina na kružnim raskrsnicama u realnom saobraćajnom toku

Mjerenje parametara saobraćajnog toka izvršeno je metodom analize video zapisa, koja predstavlja jednu od najstarijih i najpreciznijih metoda u oblasti teorije saobraćajnog toka. Ova metoda podrazumeva sačinjavanje i analizu video zapisa realnog saobraćajnog toka koji se snima kamerom sa određene udaljenosti od kružne raskrsnice. Metoda zasnovana na obradi video snimaka saobraćajnog toka primenjena je prvi put početkom tridesetih godina prošlog vijeka u SAD-u od strane naučnika Bruce Greenshieldsa (Greenshields, B.D., 1933).



Slika 5.6 Istraživanje Bruce Greenshields, 1933.

Sličan način analize saobraćajnog toka nastavljen je i u narednim godinama sa nešto naprednijom tehnologijom. U Hartfordu je prilikom jednog istraživanja snimanje istovremeno vršeno sa više kamera u cilju dobijanja preciznijih podataka o veličini pojedinih parametara toka (Strickland, I.R., 1947). Sve to ukazuje na činjenicu da se video zapis u analizi saobraćaja može uspješno primeniti pogotovo primjenom savremenih tehnologija. U posljednje vrijeme u časopisima je objavljeno nekoliko radova u kojima je metod koji se zasniva na analizi video zapisa korišćen za analizu različitih parametara saobraćajnog toka (Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., Han, L., 2014), (Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić Z., Simeunović M., 2013).

Zbog činjenice da vozači u realnom saobraćajnom toku na kružnoj raskrsnici nisu upoznati sa eksperimentom, njihovo ponašanje je uobičajeno, pa je svaka subjektivnost u potpunosti isključena. S obzirom da snimanje ne utiče na ponašanje vozača u kružnoj raskrsnici, može se smatrati da su rezultati ovakvih istraživanja u potpunosti u skladu sa uslovima odvijanja saobraćaja u realnom saobraćajnom toku kružne raskrsnice. Upravo to je bio razlog za odluku da se za potrebe doktorske disertacije istraživanje brzina u realnom saobraćajnom toku na izabranim kružnim raskrsnicama izvrši analizom video zapisa, koji su sačinjeni na izabranim raskrsnicama. Video zapis je sačinjen uz pomoću drona "DJI Mavic 2 Pro", koji je za potrebe sačinjavanja video zapisa pozicioniran na odgovarajućoj visini iznad središta analiziranih kružnih raskrsnica.



Slika 5.7 Dron "DJI Mavic 2 Pro"

Sačinjen video materijal frekventnosti 24 fps obrađen je softveru „DataFromaSky Viewer“ koji omogućava označavanje referentnih linija, analizu kretanja objekata (vozila) na snimku i pregled snimka po sekvencama u tačnosti od približno 0,042 sekunde. Prikupljanje podataka je vršeno na način tako što je u navednom softveru, posebno za svaki prilaz, vršeno postavljanje referentnih presjeka (eng. *gate*), što je podrazumjevalo postavljanje presjeka na prilazu, presjecima unutar kružnog kolovoza i na izlazima iz kružne raskrsnice.

Na svim prilazima kružne raskrsnice, 20 m prije ulaza u kružni tok, kao i na samo ulazu u kružni tok postavljani su referentni presjeci na kojima je vršeno očitavanje brzine vozila. Takođe, unutar kružnog kolovoza postavljena su 4 referentna presjeka, između svakog izlaza iz kružne raskrsnice, a zatim i na izlazima iz kružne raskrsnice na rastojanju od 20 m od izlaza iz zone kruženja. Takođe, između referentnog presjeka na prilazu i ulazu, postavljena su i 3 dodatna kontrolna presjeka, kako bi se utvrdilo da li je brzina vozila između ova dva referentna presjeka svedena na minimum, a sve u cilju određivanja da li je vozilo prilikom kretanja bilo ometano ili nije.



Slika 5.8 Prikaz prikupljanja podataka za jedan prilaz sa definisanim referentnim presjecima (eng. gate)

Svako vozilo koje je analizirano označeno je sa svojim ID brojem (identifikacioni broj vozila). Na Slika 5.9, Slika 5.10, Slika 5.11 i Slika 5.12, prikazano je vozilo sa ID 43, na referentnim presjecima i to referentni presjek na prilazu (Slika 5.9), na ulazu u kružni tok (Slika 5.10), unutar kružnog toka između prilaza i prvog izlaza (Slika 5.11) i na referentnom presjeku na izlazu (Slika 5.12).

Pregledavanjem video snimaka, vozila su razdvojena u dvije kategorije, i to vozila koja su bila ometana i ona koja nisu bila ometana. Pod ometanim vozilima se podrazumjevalo da su se ista morala zaustaviti na prilazu kružnoj raskrsnici (značajno smanjiti brzinu, ispod 10 km/h) zbog sledećih razloga:

- Ispred pješačkog prelaza zbog propuštanja pješaka,
- Prije ulaza zbog saobraćajne situacije u zoni kruženja.

Vozila su se smatrala ometanim i u slučaju ako su se na izlazu iz kružne raskrsnice zaustavila zbog propuštanja pješaka ili drugih razloga, na primjer zbog vozila koje je propuštalo pješake.



Slika 5.9 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na prilazu



Slika 5.10 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na ulazu u kružni tok



Slika 5.11 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku unutar kružnog toka



Slika 5.12 Vozilo ID 43 na referentnom presjeku na izlazu

Baza podataka o brzinama na posmatranim presjecima formirana je u programu Excel, tako što je za svaku kružnu raskrsnicu formirana posebna tabela koja se sastojala od 19 kolona, sa različitim podacima od ID broju vozila, prilazu sa kojeg vozilo ulazu u kružni tok, brzinama i prolaznim vremenima na referentnim presjecima i izlaza na kome je vozilo napustilo raskrsnicu (Slika 5.13).

ID	Raskrsnica	Prilaz	prilaz		ulaz		ulazni krak	1 presjek		2 presjek		3 presjek		4 presjek		izlazni krak	izlaz	
			V-brzina	t-vrijeme	V	t		V	t	V	t	V	t	V	t		V	t
50	R1	1	32,48	40,96	12,47	45,92	0	23,07	47,48	21,85	50,8					B	24,90	54,88
53	R1	1	11,61	47,92	15,69	53,2	0	20,71	54,88	20,65	58,56					A	18,19	432,48
60	R1	1	12,34	53,24	20,63	57,6	0	22,40	58,88							A	19,90	63,72
96	R1	1	9,62	108,64	18,18	116	0	18,36	117,52	22,36	121,8					B	29,84	125,4
173	R1	1	15,23	211,04	14,26	219,28	0	20,27	220,96	24,63	224,44					A	31,18	227,92
310	R1	1	15,36	417,44	10,44	423,76	0	15,79	425,64							B	18,19	432,48
423	R1	1	18,72	571,12	16,82	575,84	0	20,06	577,36							A	26,32	581,88
31	R1	2	10,73	9,48	21,03	19,12	0	20,04	20,68	18,01	24,56	20,92	28,96			C	32,56	32,48
37	R1	2	12,50	21,24	10,92	31,2	0	15,49	33,56	18,15	37,88					B	17,24	42,24
40	R1	2	9,44	23,72	17,29	33,6	0	19,11	35,28	17,99	39,24					B	16,08	43,48
42	R1	2	12,94	31	18,33	36,2	0	19,61	37,76							A	26,46	41,72
52	R1	2	11,15	41,96	10,37	52,56	0	17,37	54,6	17,98	58,8	19,37	63,72			C	35,16	67,44
58	R1	2	14,79	46,28	10,43	58,92	0	16,03	61,04	26,81	64,72					B	25,19	67,88
68	R1	2	8,13	59,48	21,30	66,6	0	21,70	67,96	23,69	71,52					B	28,07	74,4
78	R1	2	13,26	69,04	16,64	73,8	0	17,67	75,48	18,58	79,48					B	19,39	83,76
88	R1	2	13,83	78,48	16,06	84,64	0	17,58	86,4	17,97	90,64	17,94	95,36			C	26,12	99,68
89	R1	2	10,31	82,2	14,10	89,56	0	18,96	91,2	23,63	94,8					B	22,33	98,28
119	R1	2	20,05	118,64	21,88	124,8	0	21,01	126,2	17,93	130,16	21,27	134,48			C	28,09	138,68
164	R1	2	15,73	177,88	16,62	185	0	18,92	186,68	24,93	190,04					B	23,72	193,44
169	R1	2	11,75	184,36	22,20	188,28	0	22,17	189,48							A	32,17	193,04
183	R1	2	13,02	200,72	17,39	205,24	0	22,15	206,76							A	32,02	210,32
185	R1	2	15,59	203,44	22,89	207,28	0	23,71	208,56	22,06	211,92					B	21,30	215,56
188	R1	2	15,91	206,4	9,50	213,52	0	17,11	215,72	24,26	219,2					A	24,51	222,4
211	R1	2	18,54	244,12	16,88	248	0	16,42	249,8	18,61	253,96					B	20,17	257,96

Slika 5.13 Prikaz tabele sa podacima o brzini za raskrsnicu R1

Nakon analize podataka za svaku pojedinačnu raskrsnicu formirana je objedinjena tabela za sve raskrsnice sa ukupno 22 kolone, koja je pored obrađenih brzina sadržavala i potrebne podatke o geometrijskim karakteristikama kružnih raskrsnica.

vehicle ID	INT	APP	S_app	S_ent	Entry lane	S_crc	DEP	S_ext	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AJ	
					1 - vanjska, 2 - unutrašnja				Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)	Prečnik centralnog ostrva (m)	Širina kružnog kolovoza (m)	Broj saobraćajnih traka na kolovoza	Širina saobraćajne trake na priklazu	Širina ulaza	Broj saobraćajnih traka na prilazu	Širina saobraćajne trake na prilazu (m)	Širina izlaza (m)	Broj saobraćajnih traka na izlazu	Širina saobraćajne trake na izlazu (m)	Radius ulaza (m)	Radius izlaza (m)			
									D1 - inscribed circle diameter (m)	D2 - Central island circle diameter (m)	W_crc - Circulatory roadway width (m)	N_crc - Number of lane on circulatory roadway	W_line - Width of lane on circulatory roadway (m)	W_gen - Entry width (m)	N_line - Number of lane on approach	W_line - Width of lane on approach (m)	W_ex - Exit width (m)	N_ex - Exit number of lane on departure	W_line - Width of lane on departure (m)	N_line - Number of lane on departure	R_en - Entry radius (m)	R_ex - Exit radius (m)		
3	50	R1	1	32,48	12,47	0	22,5	24,90	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	5,5	1	4,50	14,0	23,3			
4	53	R1	1	11,61	15,69	0	20,7	29,20	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	5,5	1	4,50	14,0	23,3			
5	60	R1	1	12,34	20,63	0	22,4	19,90	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	4,6	1	3,60	14,0	23,3			
6	96	R1	1	9,62	18,18	0	20,4	29,64	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	5,5	1	4,50	14,0	23,3			
7	173	R1	1	15,23	14,26	0	22,4	31,18	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	5,5	1	4,50	14,0	23,3			
8	310	R1	1	15,36	10,44	0	15,6	18,19	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	4,6	1	3,60	14,0	17,4			
9	423	R1	1	18,72	16,82	0	20,1	26,32	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,0	1	3,60	4,6	1	3,60	14,0	17,0			
10	31	R1	2	10,73	21,03	0	19,7	32,56	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	4,00	21,2	16,9			
11	37	R1	2	12,50	10,92	0	16,8	17,24	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
12	40	R1	2	9,44	17,29	0	18,6	16,08	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
13	42	R1	2	12,94	18,33	0	19,6	26,46	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,5	1	4,50	21,2	23,3			
14	52	R1	2	11,15	10,37	0	18,2	35,16	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,3	1	4,00	21,2	16,9			
15	58	R1	2	14,79	10,43	0	21,4	28,07	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
16	68	R1	2	8,13	21,30	0	22,7	28,07	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
17	78	R1	2	13,26	16,64	0	18,1	19,39	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
18	88	R1	2	13,63	16,06	0	17,8	26,12	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,3	1	4,00	21,2	16,9			
19	89	R1	2	10,31	14,10	0	21,3	22,33	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
20	119	R1	2	20,05	21,88	0	20,1	26,09	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,3	1	4,00	21,2	16,9			
21	164	R1	2	15,73	16,62	0	21,9	23,72	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
22	169	R1	2	11,75	22,20	0	22,2	32,17	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,5	1	4,50	21,2	23,3			
23	183	R1	2	13,02	17,39	0	22,1	32,02	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,5	1	4,50	21,2	23,3			
24	185	R1	2	15,59	22,89	0	22,9	21,30	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
25	188	R1	2	15,91	9,50	0	20,7	24,51	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
26	211	R1	2	18,54	16,88	0	17,5	20,17	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
27	230	R1	2	15,41	20,49	0	21,7	30,78	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,5	1	4,50	21,2	23,3			
28	260	R1	2	16,17	18,87	0	18,3	24,22	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,3	1	4,00	21,2	16,9			
29	269	R1	2	15,67	17,82	0	20,5	29,21	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	22,1			
30	274	R1	2	20,50	20,89	0	22,6	20,97	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,0	1	3,60	21,2	16,9			
31	285	R1	2	18,71	17,08	0	20,0	33,41	33,6	22,0	5,8	1	5,8	5,2	1	3,60	5,3	1	4,00	21,2	16,9			

Slika 5.14 Prikaz tabele sa objedinjenim podacima za sve kružne raskrsnice

6 ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA BRZINA VOZILA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA

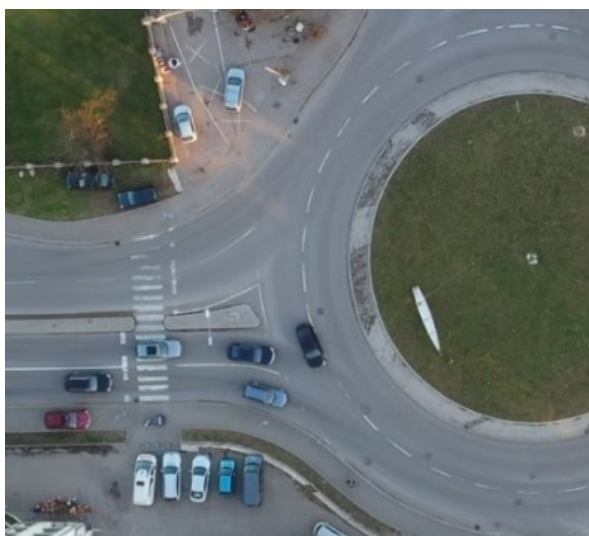
Kao što je prethodno navedeno, osnovna baza podataka formirana je na osnovu analize video zapisa u programskom paketu „Data From Sky“, a analiza brzina vršena je u programu Excel. Objedinjena baza podataka, u okviru koje su utvrđene karakteristične vrijednosti brzina na izabranim presjecima, sastoji se podataka za ukupno 814 vozila. U narednoj tabeli prikazana je raspodjela ukupnog broja evidentiranih vozila po raskrsnicama (INT).

Tabela 6.1 Veličina uzorka, podjela po raskrsnicama

Oznaka raskrsnice (INT)	R1	R2	R3	R4
Broj vozila	83	280	180	271

Prilikom evidencije vozila koja su se pojavila na posmatranim raskrsnicama (prilazima) prvo je izvršena podjela prema tipu prolaska odnosno podjela na vozila koja su prilikom prolaska kroz raskrsnicu bila neometana i vozila čije je kretanje na neki način bilo ometeno (pješač, drugo vozilo i sl). U skladu sa time posmatrani uzorak čine 486 vozila koja su u jednom dijelu svog prolaska kroz raskrsnicu bila ometana i 328 vozila koja su neometano prošla kroz područje raskrsnice.

U daljoj analizi vozila koja su ometana označena su skraćenicom „DIS“, a neometana vozila skraćenicom „CON“. Na svakoj raskrsnici posmatrana su vozila na najmanje dva prilaza, te je u skladu sa tim promatrani uzorak razložen i po raskrsnicama i prilazima.



Slika 6.1 Ometana vozila



Slika 6.2 Neometana vozila

Za potrebe analize u nastavku teksta prilaz raskrsnice označen je skraćenicom „APP“ (*eng: approach*). U narednoj tabeli prikazani su podaci o veličini uzorka po prilazima u zavisnosti da li su bila ometana ili ne.

Tabela 6.2 Veličina uzorka, podjela po raskrsnicma, prilazima i tipu prolaska

Tip prolaska	Oznaka raskrsnice	Oznaka prilaza				Ukupno
		1	2	3	4	
DIS	R1	7	33	14	16	70
DIS	R2	0	85	0	79	164
DIS	R3	21	24	48	23	116
DIS	R4	47	30	33	26	136
CON	R1	0	5	8	0	13
CON	R2	0	74	0	42	116
CON	R3	14	16	26	8	64
CON	R4	46	23	26	40	135

Pored evidencije dolaska vozila sa određenog prilaza izvršena je i analiza pravca kretanja kroz raskrsnicu za svako posmatrano vozilo. Pravac kretanja na raskrsnici određen je prema izlivnom kraku i označen slovnom oznakom na sledeći način:

- Izlivni krak „A“ – izlazak vozila na prvom izlivnom kraku nakon ulaska u raskrsnicu, odnosno skretanje desno;
- Izlivni krak „B“ – izlazak vozila na drugom izlivnom kraku nakon ulaska u raskrsnicu, odnosno prolazak pravo;
- Izlivni krak „C“ – izlazak vozila na trećem izlivnom kraku nakon ulaska u raskrsnicu, odnosno skretanje lijevo;
- Izlivni krak „D“ – izlazak vozila na četvrtom izlivnom kraku nakon ulaska u raskrsnicu, odnosno povratak na prilaza sa kog se uključuje;

Za potrebe analize kao oznaka za tip izlaska korišćena je skraćeniica „DEP“. U skladu sa navedenim načinom prikupljanja podataka analizirane raskrsnice imaju raspodjelu tokova na smjerove kao što je prikazano u narednim tabelama.

Tabela 6.3 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R1

Tip prolaska	Izlazni krak	Oznaka prilaza			
		1	2	3	4
DIS	A (desno)	3	9	3	3
DIS	B (pravo)	4	15	11	10
DIS	C (levo)	0	9	0	3
DIS	D (polukr.)	0	0	0	0
CON	A (desno)	0	1	1	0
CON	B (pravo)	0	2	6	0
CON	C (levo)	0	1	1	0
CON	D (polukr.)	0	1	0	0

Tabela 6.4 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R2

Tip prolaska	Izlazni krak	Oznaka prilaza			
		1	2	3	4
DIS	A (desno)	0	0	0	1
DIS	B (pravo)	0	43	0	41
DIS	C (levo)	0	30	0	28
DIS	D (polukr.)	0	12	0	9
CON	A (desno)	0	0	0	0
CON	B (pravo)	0	45	0	30
CON	C (levo)	0	27	0	9
CON	D (polukr.)	0	2	0	3

Tabela 6.5 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R3

Tip prolaska	Izlazni krak	Oznaka prilaza			
		1	2	3	4
DIS	A (desno)	4	13	13	5
DIS	B (pravo)	17	8	25	7
DIS	C (levo)	0	3	9	11
DIS	D (polukr.)	0	0	1	0
CON	A (desno)	0	7	8	0
CON	B (pravo)	11	8	12	4
CON	C (levo)	3	0	5	4
CON	D (polukr.)	0	1	1	0

Tabela 6.6 Raspodjela tokova po prilazima i smjerovima na raskrsnici R4

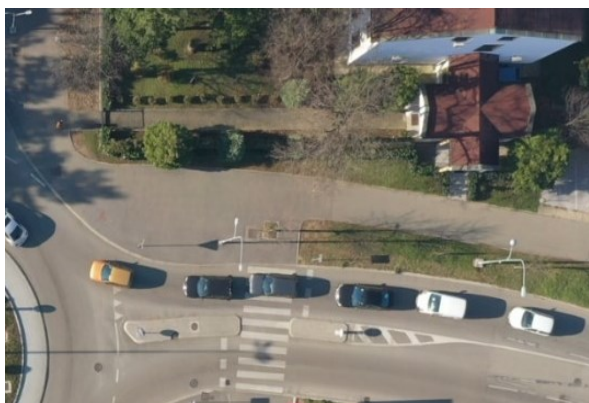
Tip prolaska	Izlazni krak	Oznaka prilaza			
		1	2	3	4
DIS	A (desno)	9	1	11	7
DIS	B (pravo)	17	16	20	12
DIS	C (levo)	19	12	1	6
DIS	D (polukr.)	2	1	1	1
CON	A (desno)	11	3	7	22
CON	B (pravo)	19	13	15	12
CON	C (levo)	16	7	3	6
CON	D (polukr.)	0	0	1	0

6.1 Karakteristike uzorka

Za potrebe analiza koje prethode formiranju modela izvršeno je ispitivanje karakteristika brzina vozila u toku koje podrazumevaju:

1. deskriptivnu statistiku uzorka brzina vozila u toku i
2. analiza distribucije uzorka.

Prikupljanje podataka vršeno je na bazi prostog saobraćajnog toka i uslova odvijanja saobraćaja u slobodnom toku. U konkretnom slučaju prost saobraćajni tok podrazumjeva skup vozila koji se kreće sa jednog prilaza i jednom saobraćajnom trakom, te u tom slučaju prilaz kružne raskrsnice može da generiše jedan prost tok (prilazi sa jednom saobraćajnom trakom) ili dva prosta toka (prilazi sa dvije saobraćajne trake).



Slika 6.3 Prilaz sa jednom saobraćajnom trakom



Slika 6.4 Prilaz sa dvije saobraćajne trake

Sa aspekta odvijanja saobraćaja analizirani uzorak formiran je na bazi slobodnog saobraćajnog toka što znači da osim potrebe za ustupanje prava prvenstva prolaza nije postojao ni jedan drugi faktor koji može da utiče na kretanje i brzinu vozila. Ovdje se prije svega misli na povećanje zahtjeva za protokom vozila usljed kojih dolazi do formiranja redova čekanja, povećanje gustine vozila na prilazu pa samim tim i na poremećaj brzine. Ovakav pristup formiranja uzorka u skladu je sa osnovnom hipotezom na osnovu koje se postavlja veza između geometrijskih karakteristika raskrsnice i brzine vozila.

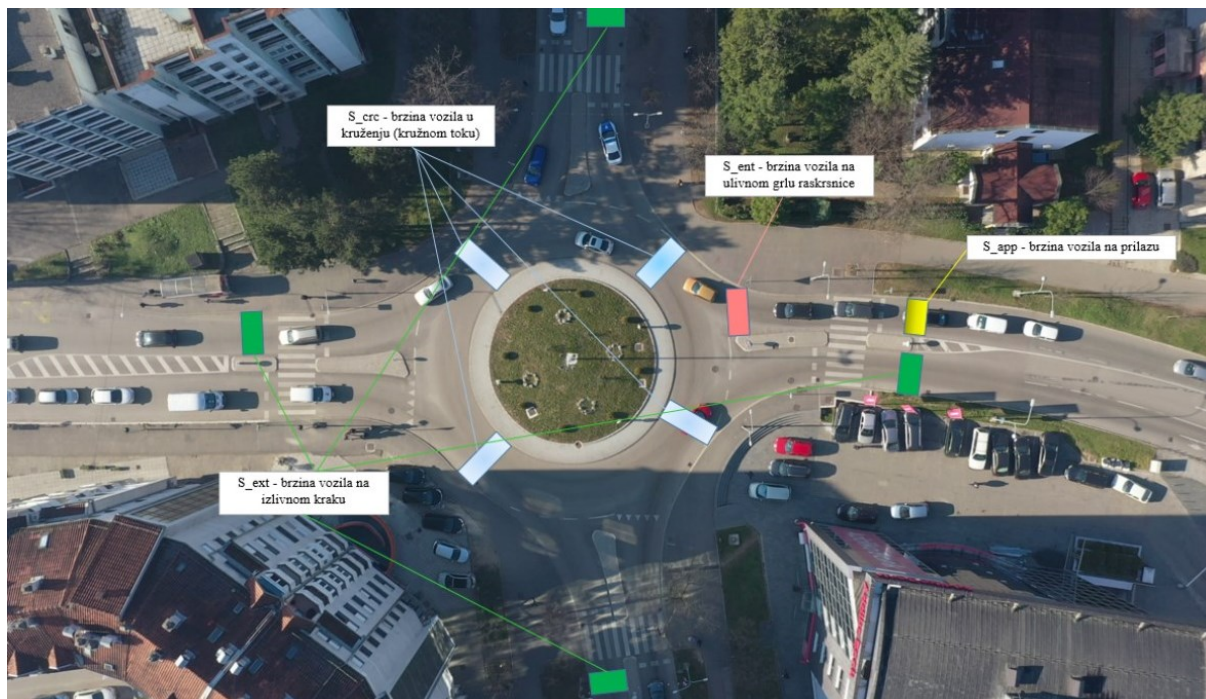
Za potrebe analize prikupljene su brzine pojedinačnih vozila u svakom od posmatranih prostih tokova. Brzina pojedinačnog vozila posmatrana je u zavisnosti od položaja vozila u zoni kružne raskrsnice i u skladu sa tim definisane su sljedeće karakteristične brzine vozila:

- S_{app} - brzina vozila na prilazu,
- S_{ent} - brzina vozila na ulivnom grlu raskrsnice,
- S_{crc} - brzina vozila u kruženju (kružnom toku) i
- S_{ext} - brzina vozila na izlivnom kraku.

S_{app} (brzina vozila na prilazu) je mjerena na prilazu kružnom toku u zoni 20 m prije kružnog toka, S_{ent} (brzina vozila na ulivnom grlu raskrsnice) je mjerena na samom ulazu u kružni tok

saobraćaja, S_{crc} (brzina vozila u kruženju, kružnom toku) unutar kružnog toka između svakog susjednog izlaza iz kružnog toka i S_{ext} (brzina vozila na izlivnom kraku) u zoni 20 m na izlaznom kraku.

Na narednoj slici prikazane su zone posmatranja brzina na raskrsnici R1 Gundulićeva – Aleja svetog Save, za jedan prilaz.



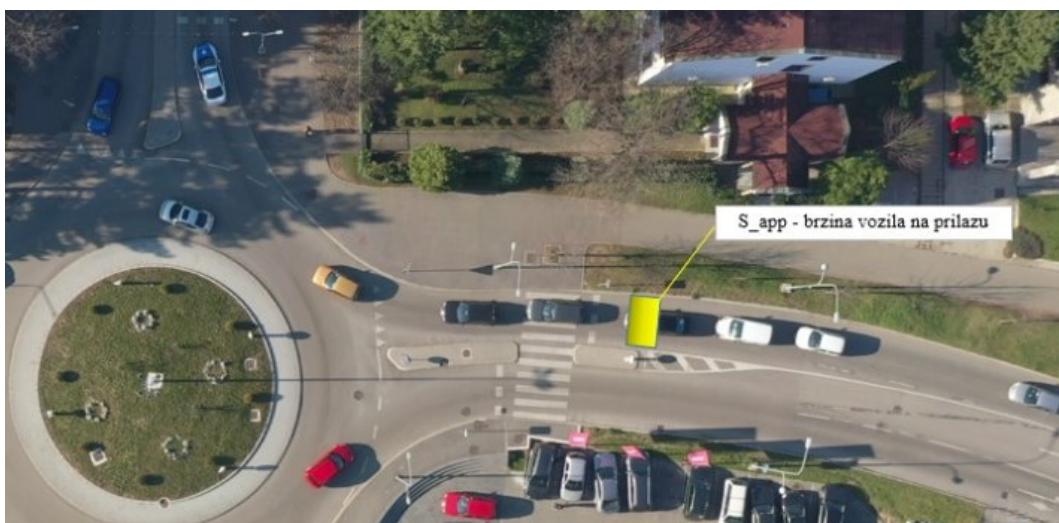
Slika 6.5 Zone posmatranja brzina (primjer za raskrsnicu R1 Gundulićeva – Aleja svetog Save, za jedan prilaz)

6.2 Deskriptivna statistika uzorka

Prikupljeni skupovi podataka koji su prikazani u izvornom obliku veoma često, pa i u slučaju istraživanja u okviru ove doktorske disertacije, su nepregledni i na osnovu formiranih tabela ili nizova numeričkih podataka nije moguće donjeti odgovarajući zaključak, niti definisati pravac dalje analize. U cilju da prikaz dobijenih rezultata bude pregledniji veoma često se prikazuje kao niz statističkih termina i simbola. Područjem opisivanja konkretnih rezultata koji su dobijeni prilikom nekog istraživanja, odnosno mjerenja, bavi se deskriptivna statistika. Osnovni cilj primene deskriptivne statistike je sažeto i pregledno prikazivanje skupova podataka i rezultata istraživanja. Pregled deskriptivnih parametara za svaki saobraćajni tok dat je u formi pregledne tabele. Karakteristike brzina analizirane su u zavisnosti od tipa dolaska za svaki posmatrani tok. U tabelama su prikazani osnovni deskriptivni statistički pokazatelji uzorka i to:

- INT – oznaka raskrsnice;
- APP – oznaka prilaza, ulivnog kraka;
- DEP – oznaka izlaznog kraka;
- Kosom crtom odvojena je oznaka saobraćajne trake kojom vozilo ulazi u raskrsnicu, kruži ili napušta raskrsnicu;
- 1 - lijeva (unutrašnja) saobraćajna traka;
- 2 - desna (spoljašnja) saobraćajna traka;
- N – broj vozila (brzina) u uzorku;
- Mean – aritmetička sredina, odnos suma svih rezultata i broja rezultata;
- SE Mean – standardna greška srednje vrijednosti, mjera koja definiše koliko precizno aritmetička sredina opisuje prosječnu vrijednost populacije i koristi se za definisanje intervala povjerenja;
- StDev – standardna devijacija, odnosno kvadratni koren iz varijanse. Varijansa u statistici predstavlja mjeru varijabiliteta uzorka i izračunava se kao aritmetička sredina zbira kvadriranih odstupanja;
- Min – minimalna vrijednost realizovanog uzorka;
- Q1 – 25. percentil tj. donji kvartil (Q1) 25% granična vrijednost kumulativne frekvencije uzorka (25% članova uzorka imaju vrijednost manju ili jednaku utvrđenoj vrijednosti Q1);
- Med – Medijana, vrijednost koja se nalazi na polovini, odnosno u centru kumulativne frekvencije uzorka (50% članova uzorka imaju vrijednost manju ili jednaku utvrđenoj vrijednosti medijane – 50% percentil);
- Q3 – 75. percentil tj. gornji kvartil (Q3) 75% granična vrijednost kumulativne frekvencije uzorka (75% članova uzorka imaju vrijednost manju ili jednaku utvrđenoj vrijednosti Q1);
- Max – Maksimalna vrijednost realizovanog uzorka;

Brzina vozila na prilazu (S_app) mjerena je na zamišljenom presjeku koji je pozicioniran na 20,0 m prije ulivnog grla, odnosno kružnog kolovoza, što je prikazano na narednoj slici.



Slika 6.6 Zamišljeni presjek na kojem je mjerena brzina vozila na prilazu

U tabelama 6.7 i 6.8 prikazane su karakteristike brzine toka na prilazu (S_app), za neometana (CON) i ometana vozila (DIS)

Tabela 6.7 Karakteristike brzine toka na prilazu (S_app), neometana vozila (CON)

INT	APP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	5	23,46	2,87	6,41	18,7	19,00	20,28	29,52	34,04
	3	8	25,23	0,87	2,46	22,07	23,44	24,64	27,14	29,74
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	2/1	26	32,08	0,96	4,91	19,42	28,95	31,97	35,25	41,46
	2/2	48	30,52	0,88	6,08	20,10	26,30	30,95	33,55	50,84
	4/1	22	34,48	1,18	5,54	24,68	29,51	34,91	38,74	42,99
	4/2	20	32,87	1,21	5,38	24,21	28,60	32,77	36,70	44,30
R3	1	14	28,71	1,28	4,77	19,28	24,72	29,81	32,20	35,36
	2	16	26,08	1,12	4,48	18,84	22,19	26,99	28,21	36,53
	3	26	22,44	0,56	2,88	18,07	20,38	21,72	24,19	30,14
	4	8	21,18	1,19	3,38	16,87	18,48	20,39	24,05	27,03
R4	1/1	21	34,22	0,71	3,25	28,22	31,49	34,58	36,98	40,77
	1/2	25	36,34	0,97	4,84	24,08	33,97	35,94	39,48	45,49
	2	23	26,71	0,75	3,62	22,01	24,39	26,52	28,25	38,34
	3/1	8	29,85	2,08	5,88	24,08	24,76	28,25	35,02	39,50
	3/2	18	30,87	1,33	5,63	21,79	27,23	30,13	33,62	43,51
	4/1	15	28,49	1,21	4,67	21,84	23,02	29,27	32,72	35,34
	4/2	25	29,12	0,80	4,00	22,21	26,73	28,85	31,00	40,49

Tabela 6.8 Karakteristike brzine toka na prilazu (S_app), ometana vozila (DIS)

INT	APP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	1	7	16,48	2,89	7,66	9,62	11,61	15,23	18,72	32,48
	2	33	14,20	0,63	3,60	7,79	11,45	14,74	16,16	21,29
	3	14	18,16	1,34	5,00	9,69	13,42	17,74	21,87	26,30
	4	16	11,87	0,76	3,04	7,29	8,96	12,19	14,08	17,29
R2	2/1	42	24,57	0,73	4,74	16,09	20,71	24,90	26,90	36,46
	2/2	43	23,92	0,98	6,83	10,79	19,37	24,00	29,20	34,98
	4/1	40	28,33	0,91	5,77	16,50	24,07	28,56	33,23	39,23
	4/2	39	27,70	0,89	5,58	14,86	24,33	28,00	30,60	41,67
R3	1	21	23,60	0,93	4,27	17,36	18,88	24,56	26,95	30,95
	2	24	21,34	1,29	6,31	9,44	17,97	20,98	25,54	32,95
	3	48	15,55	0,51	3,55	8,21	12,59	15,47	18,85	22,06
	4	23	17,37	0,46	2,21	13,06	15,85	17,37	19,36	21,43
R4	1/1	20	28,89	1,58	7,06	17,03	22,49	30,27	33,35	43,54
	1/2	27	24,13	1,11	5,79	14,66	19,75	21,48	29,41	39,47

	2	30	19,38	1,07	5,83	7,38	15,75	18,56	23,71	31,02
	3/1	11	26,08	1,14	3,77	15,99	24,67	27,65	28,16	29,29
	3/2	22	25,42	1,22	5,74	7,64	21,9	25,45	29,34	32,84
	4/1	13	22,67	1,42	5,11	8,95	20,76	22,62	26,58	29,42
	4/2	13	22,45	0,85	3,07	19,25	19,93	21,09	25,79	27,75

Karakteristike brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent}) za neometana (CON) i ometana vozila (DIS) su prikazane u narednim tabelama.

Tabela 6.9 Karakteristike brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent}), neometana vozila (CON)

INT	APP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	5	23,73	22,69	6,02	19,12	19,41	20,78	29,52	33,50
	3	8	24,80	1,17	3,32	20,73	21,78	23,93	28,51	29,10
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	2/1	26	28,70	0,76	3,89	21,66	25,06	28,08	32,15	35,72
	2/2	48	28,38	0,79	5,52	20,85	24,38	27,03	31,03	51,25
	4/1	22	28,26	1,04	4,89	20,27	24,40	27,70	31,75	41,41
	4/2	20	25,79	0,98	4,41	19,31	22,36	25,33	28,81	36,34
R3	1	14	24,77	0,71	2,64	21,01	22,55	24,08	26,38	30,51
	2	16	23,15	0,91	3,64	17,34	20,60	23,25	25,71	31,90
	3	26	22,94	0,49	2,48	20,09	21,15	22,61	24,26	32,14
	4	8	21,04	0,77	2,18	18,09	18,90	21,06	22,69	24,60
R4	1/1	21	28,02	0,86	3,95	20,17	24,93	28,32	30,98	34,36
	1/2	25	29,68	0,78	3,90	24,66	26,26	29,31	33,24	37,34
	2	23	25,06	0,54	2,60	21,19	22,75	25,16	26,81	31,09
	3/1	8	27,86	1,47	4,15	23,96	24,53	26,45	32,70	34,26
	3/2	18	28,17	1,29	5,47	16,74	24,79	27,97	32,52	39,15
	4/1	15	25,96	0,88	3,42	21,09	22,75	25,71	28,20	33,20
	4/2	25	28,09	0,88	4,39	22,23	24,71	28,05	31,19	38,49

Tabela 6.10 Karakteristike brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent}), ometana vozila (DIS)

INT	APP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	1	7	15,50	1,31	3,46	10,44	12,47	15,69	18,18	20,63
	2	33	17,37	0,69	3,95	9,49	15,55	17,56	20,96	22,88
	3	14	16,48	1,34	5,03	8,39	12,44	15,98	20,45	26,45
	4	16	15,97	0,53	2,13	12,65	13,85	16,37	17,30	20,19
R2	2/1	42	13,68	0,73	4,70	6,30	10,08	13,03	16,58	25,05
	2/2	43	15,84	0,56	3,90	8,60	13,94	15,13	19,43	26,17
	4/1	40	13,27	0,77	4,89	3,44	9,48	13,5	16,72	23,08
	4/2	39	11,91	0,73	4,57	3,50	8,62	11,67	15,49	20,10

R3	1	21	15,16	0,65	3,18	8,43	12,36	15,66	17,64	19,67
	2	24	13,97	1,13	5,52	3,41	9,34	16,23	18,70	23,50
	3	48	18,47	0,53	3,69	5,75	16,77	18,52	20,80	25,14
	4	23	14,69	1,14	5,47	7,80	9,37	14,74	20,13	22,98
R4	1/1	20	16,77	0,88	3,96	10,39	14,20	15,76	19,17	24,98
	1/2	27	16,75	0,76	3,97	6,69	14,54	17,63	19,03	23,36
	2	30	15,41	0,78	4,27	7,37	12,10	14,45	19,37	22,36
	3/1	11	13,39	1,14	3,79	6,22	9,91	13,59	15,38	20,12
	3/2	22	13,86	1,14	5,34	2,50	1,11	12,81	17,89	23,97
	4/1	13	15,82	1,18	4,24	11,67	12,89	14,23	18,83	26,71
	4/2	13	16,52	1,06	3,84	11,74	12,50	16,67	19,61	13,84

S_crc (brzina vozila u kruženju, kružnom toku) unutar kružnog toka između svakog susjednog izlaza iz kružnog toka je prikazana u narednim tabelama.

Tabela 6.11 Karakteristike brzine toka u kruženju (S_crc), neometana vozila (CON)

INT	DEP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	A	2	24,88	4,64	6,56	20,24	*	24,88	*	29,52
	B	8	22,59	0,98	2,76	19,68	20,49	21,69	24,27	28,06
	C	2	19,84	1,73	2,44	18,11	*	19,84	*	21,57
	D	1	23,20	*	*	23,20	*	23,20	*	23,20
R2	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B/1	21	27,82	1,05	4,79	21,18	24,67	25,93	32,04	40,14
	B/2	54	28,77	0,77	5,68	18,91	25,06	28,54	30,87	51,85
	C/1	22	23,00	0,47	2,22	19,08	21,39	22,92	24,48	27,48
	C/2	14	23,31	0,49	1,84	19,50	22,39	23,13	25,06	25,79
	D/1	5	21,19	0,50	1,12	20,38	20,38	20,98	22,11	23,10
D/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
R3	A	15	24,57	0,94	3,62	20,49	20,93	24,01	27,08	31,85
	B	35	25,12	0,35	2,05	19,77	24,03	25,14	24,46	29,11
	C	12	23,69	0,55	1,89	20,82	21,80	23,85	24,92	26,83
	D	2	25,73	0,63	0,89	25,10	*	25,73	*	26,36
R4	A/0	3	25,54	3,31	5,73	20,29	20,29	24,67	31,65	31,65
	A/1	1	22,40	*	*	22,40	*	22,40	*	22,40
	A/2	39	28,82	0,70	4,36	20,16	26,06	27,97	31,32	38,19
	B/0	13	26,70	0,50	1,79	23,53	25,70	26,71	28,00	30,05
	B/1	22	27,44	0,53	2,48	23,07	25,51	27,24	29,43	32,65
	B/2	24	29,69	0,59	2,90	25,08	27,31	29,67	32,51	34,89
	C/0	7	26,68	0,74	1,95	22,66	25,96	26,48	28,41	28,49
	C/1	20	26,87	0,50	2,25	22,86	24,48	27,143	28,86	30,77

	C/2	5	29,01	0,87	1,95	26,21	27,25	28,83	30,85	30,87
	D/0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D/1	1	26,76	*	*	26,76	*	26,76	*	26,76
	D/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 6.12 Karakteristike brzine toka u kruženju (S_{cr}), ometana vozila (DIS)

INT	DEP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	A	18	22,56	0,97	2,76	19,68	20,50	21,69	14,27	28,06
	B	40	20,70	0,36	2,27	19,82	18,59	20,64	22,46	26,13
	C	12	19,99	0,48	1,67	17,83	18,26	20,03	21,18	22,98
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	1	16,02	*	*	16,02	*	16,02	*	16,02
	B/1	21	21,57	0,73	3,36	15,71	19,07	21,93	24,16	26,89
	B/2	63	22,32	0,46	3,68	15,39	20,30	22,15	24,70	32,13
	C/1	46	20,19	0,36	2,42	15,42	18,53	19,95	21,59	27,95
	C/2	12	20,41	0,42	1,45	18,42	18,85	20,74	21,58	22,60
	D/1	15	19,95	0,33	1,29	17,80	18,99	20,16	21,09	22,58
D/2	6	20,52	0,57	1,40	18,16	19,56	20,64	21,78	21,91	
R3	A	32	21,21	0,81	4,81	10,08	19,09	21,34	24,77	29,98
	B	57	21,57	0,34	2,55	15,56	19,86	21,30	23,32	27,36
	C	23	21,54	0,44	2,10	16,95	20,40	21,39	23,37	24,80
	D	1	19,50	*	*	19,50	*	19,50	*	19,50
R4	A/0	1	25,96	*	*	25,96	*	25,96	*	25,96
	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	27	20,34	0,64	3,35	13,35	18,02	21,06	22,04	27,72
	B/0	16	25,066	0,90	3,61	21,00	22,20	25,08	26,32	35,55
	B/1	19	24,90	0,55	2,40	20,80	23,14	24,78	27,20	29,28
	B/2	30	24,25	0,41	2,23	19,63	22,83	24,22	25,81	28,46
	C/0	12	24,21	0,76	2,63	20,31	22,28	24,02	26,53	29,06
	C/1	22	24,16	0,34	1,59	22,05	22,68	23,73	25,47	25,88
	C/2	4	23,63	1,46	2,92	21,08	21,43	22,82	26,66	27,82
	D/0	1	32,58	*	*	32,58	*	32,58	*	32,58
	D/1	3	25,02	0,50	0,87	24,44	24,44	24,59	26,02	26,02
D/2	1	18,47	*	*	18,47	*	18,47	*	18,47	

S_{ext} (brzina vozila na izlivnom kraku) u zoni 20 m na izlaznom kraku, je prikazana u Tabela 6.13 Tabela 6.14.

Tabela 6.13 Karakteristike brzine toka na izlivnom kraku (S_ext), neometana vozila (CON)

INT	DEP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	A	2	25,81	0,04	0,06	25,77	*	25,81	*	25,85
	B	8	29,79	1,71	4,83	24,24	25,88	29,17	32,24	39,62
	C	2	24,50	0,21	0,0	24,29	*	24,50	*	24,71
	D	1	26,37	*	*	26,37	*	26,37	*	26,37
R2	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B/1	21	37,56	2,06	9,46	15,59	36,00	38,72	44,34	48,00
	B/2	54	35,25	0,95	6,97	17,39	30,73	36,19	39,92	50,62
	C/1	22	28,18	1,05	4,90	19,19	23,99	26,93	33,29	36,01
	C/2	14	25,70	0,84	3,13	21,01	22,46	25,92	28,28	30,49
	D/1	5	33,17	4,20	9,39	17,31	24,67	37,34	39,59	39,68
	D/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R3	A	15	29,05	1,52	5,90	18,94	23,80	28,90	35,47	39,12
	B	35	30,17	0,68	4,02	20,87	26,64	29,95	32,91	37,93
	C	12	29,04	1,27	4,39	20,05	26,02	29,26	32,35	35,38
	D	2	27,00	3,71	5,25	23,28	*	27,00	*	30,71
R4	A/0	3	30,25	1,60	2,77	28,27	28,27	29,06	33,42	33,42
	A/1	1	26,32	*	*	26,32	*	26,32	*	26,32
	A/2	39	35,44	0,78	4,89	24,55	32,42	35,48	35,33	48,16
	B/0	13	30,84	1,00	3,59	24,53	28,54	30,09	34,18	36,23
	B/1	22	35,61	1,22	5,73	26,25	31,92	34,11	39,59	47,61
	B/2	24	34,30	1,31	6,43	24,16	28,23	34,23	39,71	46,34
	C/0	7	37,09	2,70	7,13	28,64	31,27	36,28	44,59	48,39
	C/1	20	30,89	1,05	4,71	25,62	27,27	29,11	34,31	40,85
	C/2	5	34,43	1,62	3,62	31,47	31,85	33,36	37,54	40,56
	D/0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D/1	1	33,28	*	*	33,28	*	33,28	*	33,28
D/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabela 6.14 Karakteristike brzine toka na izlivnom kraku (S_ext), ometana vozila (DIS)

INT	DEP	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Med	Q3	Max
R1	A	18	26,26	1,28	5,45	16,89	20,62	26,39	31,01	36,69
	B	40	25,87	0,91	5,73	16,08	21,35	25,05	29,69	42,78
	C	12	28,78	1,47	5,08	20,68	24,70	28,65	33,20	36,47
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R2	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	1	22,36	*	*	22,36	*	22,36	*	22,36
	B/1	21	31,61	1,74	7,99	16,69	24,12	33,38	38,56	41,10
	B/2	63	32,16	1,00	7,92	16,21	16,27	34,05	38,60	45,70

	C/1	46	27,45	0,71	4,80	16,42	23,71	27,48	29,93	41,63
	C/2	12	25,52	1,06	3,66	18,32	23,79	26,34	28,78	29,06
	D/1	15	33,40	1,91	7,41	15,81	27,84	3,24	38,88	43,62
	D/2	6	31,86	4,27	10,46	16,62	20,28	35,03	14,48	41,52
R3	A	35	26,96	1,13	6,68	15,40	21,45	26,90	31,20	40,46
	B	57	27,55	0,66	5,00	20,74	23,29	27,13	31,31	41,37
	C	23	25,89	1,05	5,06	18,31	21,99	25,73	30,35	37,11
	D	1	23,34	*	*	23,34	*	23,34	*	23,34
R4	A/0	1	31,40	*	*	31,40	*	31,40	*	31,40
	A/1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A/2	27	29,79	1,01	5,26	20,05	25,95	29,13	33,24	39,77
	B/0	16	29,95	1,31	5,23	21,32	25,42	29,86	34,47	39,69
	B/1	19	35,79	1,10	4,81	28,45	31,13	35,40	40,28	43,42
	B/2	30	31,65	0,96	5,28	23,55	27,55	31,56	34,73	43,84
	C/0	12	37,24	1,61	5,58	28,70	32,11	37,36	41,81	46,58
	C/1	22	30,88	0,90	4,24	22,32	27,82	31,04	34,20	36,88
	C/2	4	24,49	1,30	2,60	21,37	21,87	14,84	26,76	26,91
	D/0	1	44,44	*	*	44,44	*	44,44	*	44,44
	D/1	3	36,37	5,34	9,24	26,09	26,09	39,02	43,99	43,99
D/2	1	28,04	*	*	28,04	*	28,04	*	28,04	

6.3 Analiza distribucije uzorka

Mjereći različite pojave i karakteristike dobijaju se vrijednosti koje nisu identične, imaju tendenciju grupisanja oko centralne vrijednosti (vertikalno) i tendenciju raspršivanja (horizontalno) oko srednje vrijednosti uzorka. Tako koncentrisane klase podataka opisuje kriva koja se naziva distribucija. Jedna od najčešćih raspodjela naziva se normalna raspodjela ili Gausova raspodjela koju karakteriše zvonasta kriva. U slučaju normalne raspodjele članovi skupa podataka imaju tendenciju grupisanja oko srednje vrijednosti, a broj članova skupa se jednako smanjuje prema ekstremnim vrijednostima. U okviru analiza ove doktorske disertacije ispitivana je saglasnost samo sa normalnom raspodjelom i korišćen je Anderson-Darling test, u okviru kog se vrši poređenje funkcije empirijske kumulativne distribucije posmatranog uzorka sa očekivanom distribucijom u slučaju da podaci imaju normalnu raspodjelu. Cilj utvrđivanja saglasnosti sa normalnom raspodjelom je pravilan izbor testova i statističkih alata u procesu formiranja modela. Za primjenu testa na saglasnost podatka sa normalnom raspodjelom definisane su sljedeće hipoteze:

- H0: posmatrani skup podataka ima saglasnost sa normalnom distribucijom i
- H1: posmatrani skup podataka nije u saglasnosti sa normalnom distribucijom.

Hipoteza predstavlja pretpostavku koja je zasnovana na određenim naučnim ili iskustvenim činjenicama. Jednom formirana hipoteza se uz pomoć odgovarajućeg statističkog metoda koristi za izvođenje određenih zaključaka o posmatranom problemu. Za potrebe testiranja

hipoteza primenjuju se parametarski i neparametarski statistički testovi. Svaka pretpostavka (hipoteza) o nepoznatom parametru raspodjele naziva se parametarska hipoteza, a postupak njenog potvrđivanja ili odbijanja na osnovu uzorka je parametarski test. Statistika koja se koristi u tom postupku je test statistika. Hipoteze koje se ne odnose na parametre se provjeravaju neparametarskim testovima. Jednu grupu ovih testova čine testovi saglasnosti (sa raspodjelom), kod kojih se hipoteza odnosi na oblik tj. vrstu raspodjele obeležja.

Nulta hipoteza (H_0) predstavlja tvrdnje o vrijednosti nekog parametra osnovnog skupa koja se testira. Cilj testiranja je da se ta pretpostavka statistički potvrdi ili ospori. Nasuprot nulte hipoteze je alternativna hipoteza (H_1) koja sadrži sve ostale vrijednosti parametra osnovnog skupa koje nisu obuhvaćene nultom hipotezom. Testiranje hipoteza uvek se vrši sa određenim rizicima greške prilikom prihvatanja ili odbacivanja hipoteze, a ti rizici opisani su vjerovatnoćom.

Tabela 6.15 Rizici greške kod testiranja hipoteza (Petz, 1985)

	H_0 je istinita u osnovnom skupu	H_0 nije istinita u osnovnom skupu
Testiranjem H_0 se odbacuje	Greška prve vrste uz vjerovatnoću α	Dobra odluka uz vjerovatnoću $1-\alpha$
Testiranjem H_0 se ne odbacuje	Dobra odluka uz vjerovatnoću $1-\beta$	Greška druge vrste uz uslovnu vjerovatnoću β

Parametar α predstavlja prag značajnosti i praktično predstavlja vjerovatnoću da je testirana hipoteza pogrešna. Vrijednost praga značajnosti u najvećoj meri definiše važnost posljedice u slučaju pogrešnog zaključka. U standardnim analizama najčešće prihvaćena vrjednost praga značajnosti je 1%, 5% ili čak blaži slučaj kada se za ovaj parametar usvaja vrijednost 10% (Petz, 1985). Klasičan način testiranja hipoteza vrši se utvrđivanjem p-vrednosti. U statističkom testiranju hipoteze, p-vrijednost (eng. *probability value*) za dati statistički model vjerovatnoća je da će, kada je nulta hipoteza tačna, statistički parametar biti veći ili jednak stvarno uočenom rezultatima (Lazar, Ronald L. Wasserstein & Nicole A., 2016). Savremeni softveri za statističku analizu najčešće izračunavaju p-vrijednost statističkog testa. U slučaju prihvaćenog praga značajnosti $\alpha=0,05$ i ukoliko je utvrđena p-vrednost $>0,05$, ne odbacuje se nulta hipoteza, jer je vjerovatnoća da je uočena veza između varijabli nastala delovanjem slučaja veća od 5%. Ukoliko je vjerovatnoća $p<0,05$, odbacuje se nulta hipoteza, jer je verovatnoća da je uočena veza između varijabli nastala djelovanjem slučaja manja od 5%. Utvrđene razlike kojima odgovaraju p-vrijednosti manje od 0,05 se zbog navedenog smatraju statistički značajnim razlikama. Treba ipak napomenuti da statistička značajnost nije isto što i praktična značajnost. Mala razlika može biti statistički značajna, a da nema praktični značaj.

Saglasnost podataka sa Normalnom raspodjelom izvršeno je za svaki posmatran prost saobraćajni tok. U narednim tabelama prikazani su podaci izvršenih testova, dok su u prilogu dati grafički prikazi izvršenih analiza. U okviru tabela prikazani su podaci o nazivu raskrsnice (INT) tipu prolaska (CON; DIS), prilazu odnosno posmatranom toku na raskrsnici (APP; DEP), broju evidentiranih vozila u toku tj. brzina (N), rezultati Anderson-Darling testa (AD) i P-vrijednost izvršenog testa (P).

Tabela 6.16 Saglasnost uzorka brzina na prilazu raskrsnici (S_app) sa normalnom raspodjelom

INT	R1							
TIP	CON				DIS			
APP	1	2	3	4	1	2	3	4
N	0	5	8	0	7	33	14	16
AD	-	0,498	0,33	-	0,643	0,240	0,180	0,209
P	-	0,108	0,412	-	0,054	0,757	0,897	0,835
INT	R2							
TIP	CON				DIS			
APP	2/1	2/2	4/1	4/2	2/1	2/2	4/1	4/2
N	26	48	22	20	42	43	40	39
AD	0,213	0,704	0,354	0,217	0,390	0,282	0,131	0,167
P	0,836	0,062	0,430	0,819	0,368	0,619	0,533	0,932
INT	R3							
TIP	CON				DIS			
APP	1	2	3	4	1	2	3	4
N	14	16	26	8	21	24	48	23
AD	0,293	0,411	0,574	0,202	0,63	0,251	0,511	0,250
P	0,550	0,302	0,122	0,814	0,087	0,711	0,187	0,715
INT	R4							
TIP	CON				DIS			
APP	1/1	1/2	2	3/1	1/1	1/2	2	3/1
N	21	25	23	8	20	27	30	11
AD	0,239	0,310	0,530	0,483	0,302	0,738	0,326	1,123
P	0,749	0,531	0,158	0,161	0,544	0,048	0,508	<0,005
APP	3/2	4/1	4/2		3/2	4/1	4/2	
N	18	15	25		22	13	13	
AD	0,319	0,347	0,308		0,449	0,643	0,802	
P	0,508	0,369	0,536		0,252	0,076	0,217	

Tabela 6.17 Saglasnost uzorka brzina na ulivnom grlu (S_ent) sa normalnom raspodjelom

INT	R1							
TIP	CON				DIS			
APP	1	2	3	4	1	2	3	4
N	0	5	8	0	7	33	14	16
AD	-	0,462	0,371	-	10107	0,865	0,0161	0,294
P	-	0,137	0,328	-	0,987	0,024	0,930	0,555
INT	R2							
TIP	CON				DIS			
APP	2/1	2/2	4/1	4/2	2/1	2/2	4/1	4/2
N	26	48	22	20	42	43	40	39
AD	0,353	1,277	0,301	0,342	0,476	0,520	0,275	0,344

P	0,439	<0,005	0,550	0,457	0,227	0,176	0,642	0,470
INT	R3							
TIP	CON				DIS			
APP	1	2	3	4	1	2	3	4
N	14	16	26	8	21	24	48	23
AD	0,331	0,239	1,211	0,181	0,264	0,706	1,137	1,149
P	0,465	0,738	<0,005	0,876	0,663	0,057	0,005	<0,005
INT	R4							
TIP	CON				DIS			
APP	1/1	1/2	2	3/1	1/1	1/2	2	3/1
N	21	25	23	8	20	27	30	11
AD	228	0,697	0,223	0,685	0,295	0,699	0,533	0,200
P	0,786	0,060	0,803	0,045	0,561	0,060	0,159	0,841
APP	3/2	4/1	4/2		3/2	4/1	4/2	
N	18	15	25		22	13	13	
AD	0,229	0,209	0,382		0,220	0,723	0,271	
P	0,777	0,831	0,373		0,812	0,044	0,610	

Tabela 6.18 Saglasnost uzorka brzina u kruženju (S_crc) sa normalnom raspodjelom

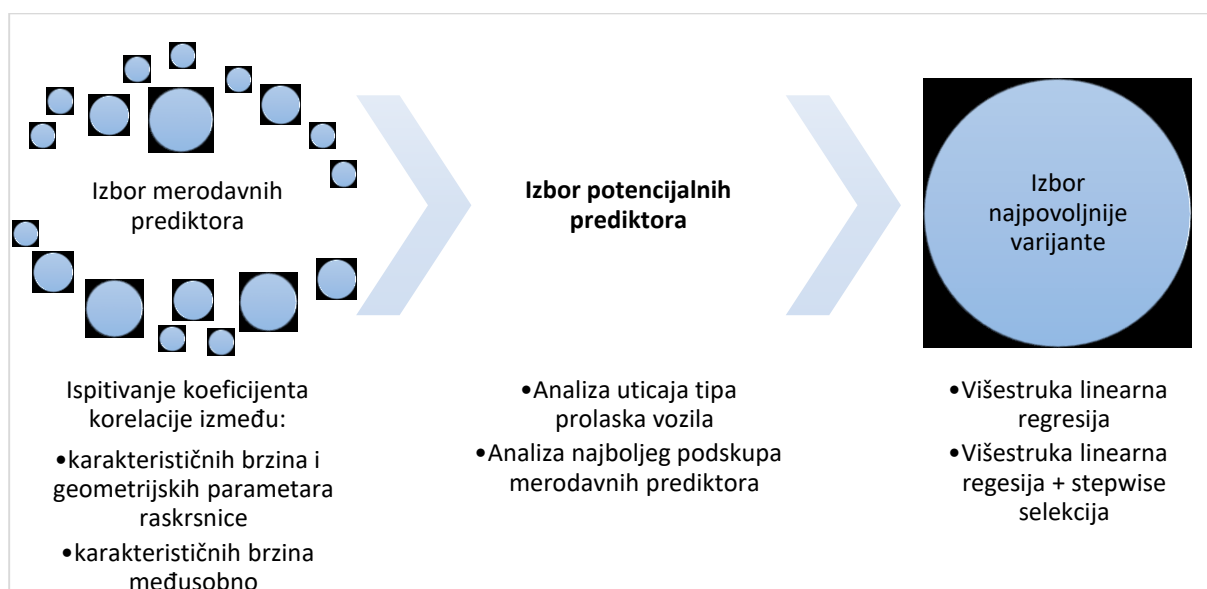
INT	R1							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	2	8	2	1	18	40	12	0
AD	0,250	0,387	0,250	*	0,412	0,402	0,316	-
P	0,227	0,297	0,227	*	0,305	0,343	0,497	-
INT	R2							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	0	75	36	5	1	84	58	21
AD	-	1,132	0,254	0,553	*	0,291	0,357	0,257
P	-	0,005	0,713	0,073	*	0,602	0,444	0,688
INT	R3							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	15	35	12	2	35	57	23	1
AD	0,398	0,355	0,271	0,250	0,247	0,410	0,283	*
P	0,321	0,441	0,606	0,227	0,736	0,333	0,603	*
INT	R4							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	43	59	32	1	28	65	38	5
AD	0,705	0,633	0,414	*	0,220	0,452	0,616	0,312
P	0,061	0,094	0,316	*	0,817	0,265	0,101	0,388

Tabela 6.19 Saglasnost uzorka brzina na izlivnom grlu (S_ext) sa normalnom raspodjelom

INT	R1							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	2	8	2	1	18	40	12	0
AD	0,250	0,387	0,250	*	0,412	0,402	0,316	-
P	0,227	0,297	0,227	*	0,305	0,343	0,497	-
INT	R2							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	0	75	36	5	1	84	58	21
AD	-	1,132	0,254	0,553	*	0,291	0,357	0,257
P	-	0,005	0,713	0,073	*	0,602	0,444	0,688
INT	R3							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	15	35	12	2	35	57	23	1
AD	0,398	0,355	0,271	0,250	0,247	0,410	0,283	*
P	0,321	0,441	0,606	0,227	0,736	0,333	0,603	*
INT	R4							
TIP	CON				DIS			
DEP	A	B	C	D	A	B	C	D
N	43	59	32	1	28	65	38	5
AD	0,705	0,633	0,414	*	0,220	0,452	0,616	0,312
P	0,061	0,094	0,316	*	0,817	0,265	0,101	0,388

7 MODEL ZA UTVRĐIVANJE BRZINA VOZILA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA

U okviru doktorske disertacije je sprovedeno istraživanje u okviru koga je ispitivana korelacija karakterističnih brzina i geometrijskih parametara kružnih raskrsnica, kao i karakterističnih brzina međusobno. U cilju razvijanja modela za utvrđivanje brzina vozila na kružnim raskrsnicama u urbanom području, analizom su obuhvaćeni prethodno definisani tipovi prolaska vozila. Na narednoj slici prikazan je postupak formiranja modela kao i analize koje su pratile ovaj proces.



Slika 7.1 Uopšteni postupak formiranja modela karakterističnih brzina

7.1 Izbor mjerodavnih prediktora

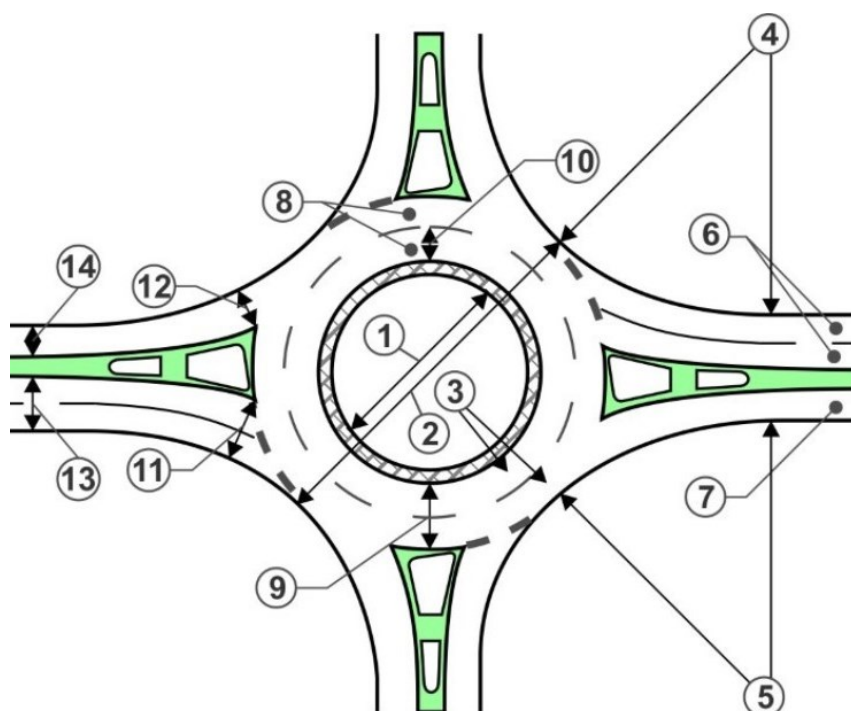
Prediktori su varijable koje se u skladu sa svojim karakteristikama mogu upotrijebiti u procesu predviđanja neke druge varijable, u ovom slučaju brzine vozila. Kao mjerodavni podrazumevaju se oni prediktori koji sa brzinom vozila ostvaruju određeni stepen korelacije. Korelacija između brzina vozila i geometrijskih parametara kružnih raskrsnica pokazana je koeficijentom korelacije koji definiše stepen povezanosti dve promenljive.

Kad god postoji značajna korelacija između dvije varijable može se vrijednost jedne varijable iskoristiti za predviđanje vrijednosti druge varijable. Ocjena korelacije vrši se na osnovu koeficijenta korelacije (r), a vrijednost ovog koeficijenta kreće se u granicama između “-1” i “+1”,. Ukoliko korelacioni koeficijent ima pozitivan predznak onda je veza između dve

posmatrane varijable direktna, odnosno povećanje jedne varijable u većoj ili manjoj mjeri prouzrokuje povećanje druge varijable. U suprotnom slučaju, kada korelacioni koeficijent ima negativan predznak povećanje jedne varijable prouzrokuje smanjenje druge varijable, tj. zavisnost među varijablama je obrnuta. Pored smijera (predznaka), veoma je bitna i jačina povezanosti, pa tako veća apsolutna vrijednost koeficijenta korelacije označava jaču povezanost posmatranih varijabli. U slučaju kada koeficijent korelacije ima vrijednost približno jednaku 0 (nula) može se doneti zaključak da između dvije posmatrane varijable ne postoji zavisnost, odnosno promjena vrijednosti jednog parametra ne utiče na promjenu vrijednosti drugog člana posmatranog para. S obzirom na da je usvojena saglasnost brzina sa normalnom raspodjelom kao mjerodavan utvrđen je Pirsonov koeficijent korelacije.

Na osnovu rezultata prethodnih istraživanja i opservacija na terenu izdvojeno je četrnaest geometrijskih parametara (Slika 7.2) koji potencijalno mogu uticati na brzinu vozila i to:

- En_lane – Parametar kojim se definiše kretanje vozila na prilazu, ulivnom grlu, kruženju i izlazu;
- N_lane – Broj saobraćajnih traka na prilazu - (6);
- W_lane – Širina saobraćajne trake na prilazu (m) - (13);
- W_en – Širina ulaza (m) – (11);
- R_en – Radijus ulaza (m) – (4);
- D1 – Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m) – (2);
- D2 – Prečnik centralnog ostrva (m) – (1);
- N_cr – Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza – (8);
- W_lnc – Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m) – (10);
- W_cr – Širina kružnog kolovoza (m) – (9);
- N_lnx – Broj saobraćajnih traka na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila – (7);
- W_lnx – Širina saobraćajne trake na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m) – (14);
- W_ex – Širina izlaza na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m) – (12);
- R_ex – Radijus izlaza na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (m) – (5);

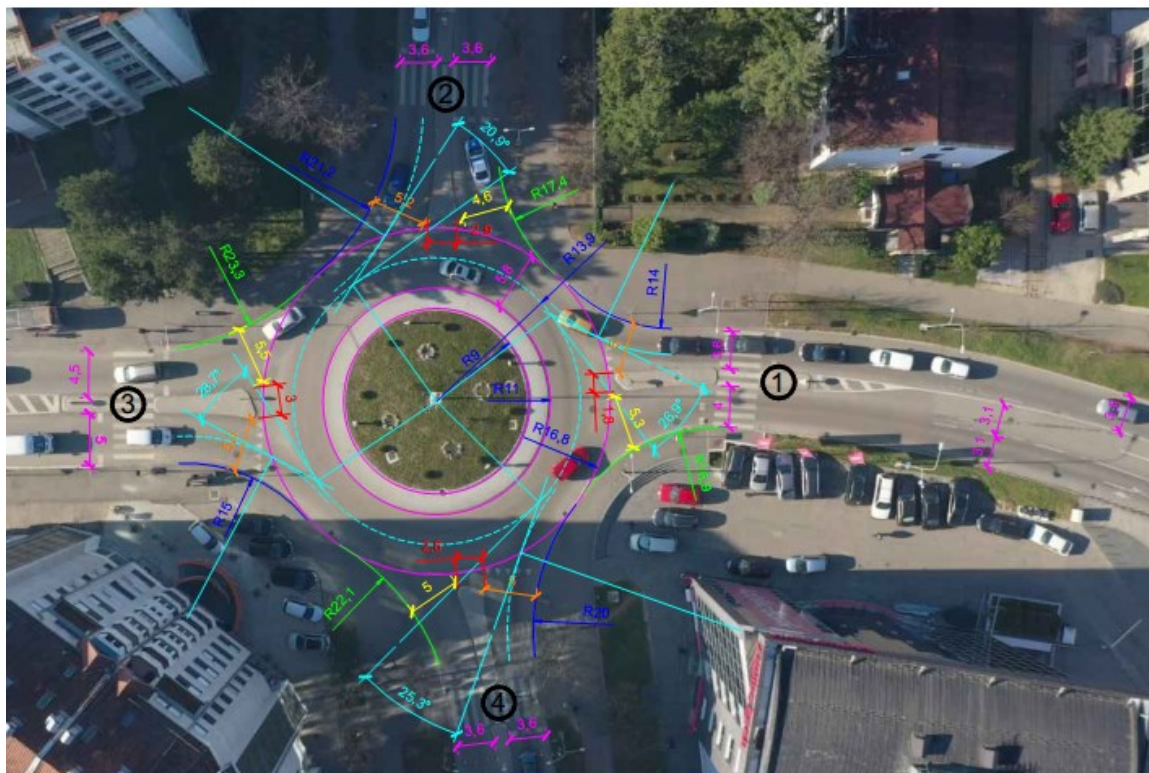


Slika 7.2 Geometrijski parametri koji potencijalno mogu uticati na brzinu vozila

U narednim tabelama (Tabela 7.1, Tabela 7.2, Tabela 7.3 i Tabela 7.4) navedeni su geometrijski parametri raskrsnica koje su predmet istraživanja, koji su označeni na narednim slikama (Slika 7.3, Slika 7.4, Slika 7.5 i Slika 7.6) koje su sačinjene iz drona.

Tabela 7.1 Geometrijski parametri raskrsnice R1: Gundulićeva – Aleja svetog Save

R1 – Gundulićeva – Aleja svetog Save					
Opšte geometrijske karakteristike	Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)			33,6	
	Prečnik centralnog ostrva (m)			22,0	
	Širina kružnog kolovoza (m)			5,8	
	Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza			1	
	Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m)			5,8	
Geometrijske karakteristike prilaza	Prilaz				
		1	2	3	4
Broj saobraćajnih traka na prilazu	1	1	1	1	
Prilaz	Širina prilaza (m)	3,6	3,6	5,0	3,6
	Širina saobraćajne trake na prilazu (m)	3,6	3,6	5,0	3,6
Ulaz	Širina ulaza (m)	5,0	5,2	5,3	5,0
	Širina saobraćajne trake na ulazu (m)	5,0	5,2	5,3	5,0
Radius ulaza (m)	14,0	21,2	15,0	20,0	
Ulivni ugao (°)	26,9	20,9	28,7	25,3	
Izlaz	Širina izlaza (m)	5,3	4,6	5,5	5,0
	Broj saobraćajnih traka na izlazu	1	1	1	1
Širina saobraćajne trake na izlazu (m)	4,0	3,6	4,5	3,6	
Radius izlaza (m)	16,9	17,4	23,3	22,1	
Širina razdjelnog ostrva (m)	1,8	2,9	3,0	2,6	

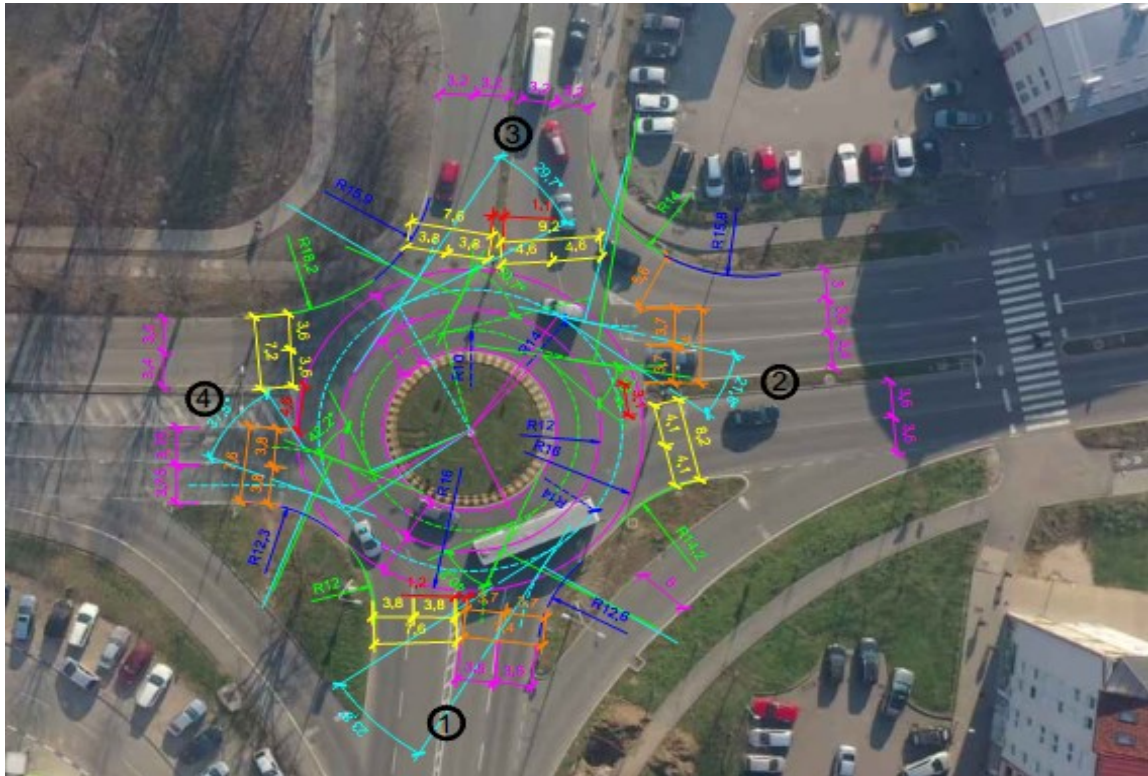


Slika 7.3 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R1: Gundulićeva – Aleja svetog Save

Tabela 7.2 Geometrijski parametri raskrsnice R2: Majke Jugovića – Bulevar Desanke Maksimović

R2 – Majke Jugovića – Bulevar Desanke Maksimović					
Opšte geometrijske karakteristike	Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)		33,0		
	Prečnik centralnog ostrva (m)		16,0		
	Širina kružnog kolovoza (m)		8,0		
	Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza		2		
	Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m)		4,0		
Geometrijske karakteristike prilaza		Prilaz			
		1	2	3	4
Broj saobraćajnih traka na prilazu		2	3	2	2
Prilaz	Širina prilaza (m)	7,0	9,8	6,4	7,5
	Širina saobraćajne trake na prilazu (m)	3,5*	3.4 + 3.4 + 3	3,2*	3,75*
Ulaz	Širina ulaza (m)	7,4	13,0	7,6	7,6
	Širina saobraćajne trake na ulazu (m)	3,7*	3.7 + 3.7 + 5.6	3,8*	3,8*
Radijus ulaza (m)		12,6	15,8	15,9	12,3
Ulivni ugao (°)		23,8	21,8	50,7	42,2
Izlaz	Širina izlaza (m)	7,6	8,2	9,2	7,2
	Broj saobraćajnih traka na izlazu	2	2	2	2
Širina saobraćajne trake na izlazu (m)		3,5*	3,6*	3,2*	3,4*
Radius izlaza (m)		12,0	14,2	14,0	18,2
Širina razdjelnog ostrva (m)		1,2	3,1	1,1	4,6

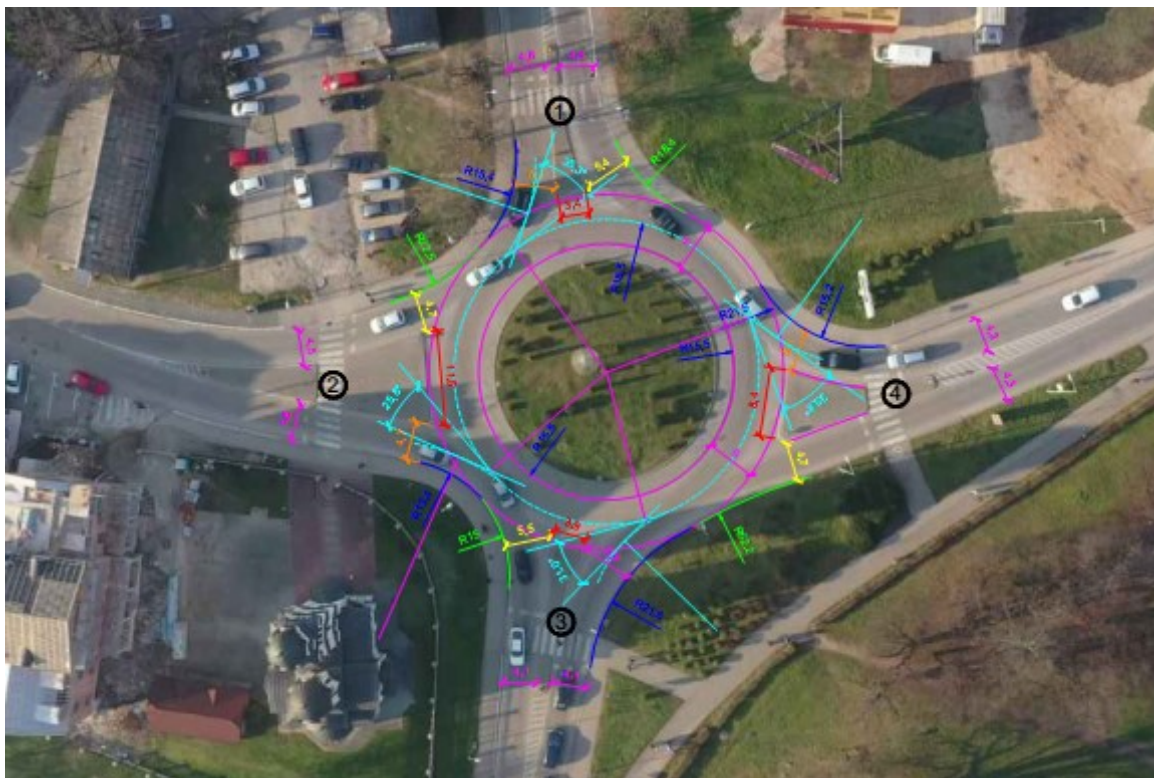
*saobraćajne trake iste širine



Slika 7.4 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R2: Majke Jugovića – Bul. Desanke Maksimović

Tabela 7.3 Geometrijski parametri raskrsnice R3: Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića

R3 – Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isaije Mitrovića					
Opšte geometrijske karakteristike	Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)	43,0			
	Prečnik centralnog ostrva (m)	31,0			
	Širina kružnog kolovoza (m)	6,0			
	Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza	1			
	Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m)	6			
Geometrijske karakteristike prilaza	Prilaz				
		1	2	3	4
Prilaz	Broj saobraćajnih traka na prilazu	1	1	1	1
	Širina prilaza (m)	4,6	4,6	4,1	4,3
Ulaz	Širina saobraćajne trake na prilazu (m)	4,6	4,6	4,1	4,3
	Širina ulaza (m)	5,1	4,7	5,9	5,1
Izlaz	Širina saobraćajne trake na ulazu (m)	5,1	4,7	5,9	5,1
	Radius ulaza (m)	15,4	13,4	21,6	15,2
Izlaz	Ulivni ugao (°)	35,3	25,8	31,0	33,8
	Širina izlaza (m)	5,4	4,7	5,5	4,7
Širina saobraćajne trake na izlazu (m)	Broj saobraćajnih traka na izlazu	1	1	1	1
	Radius izlaza (m)	4,3	4,5	4,1	4,3
Širina razdjelnog ostrva (m)	Širina saobraćajne trake na izlazu (m)	18,4	22,5	15,0	62,2
	Širina razdjelnog ostrva (m)	3,4	11,5	3,9	8,4

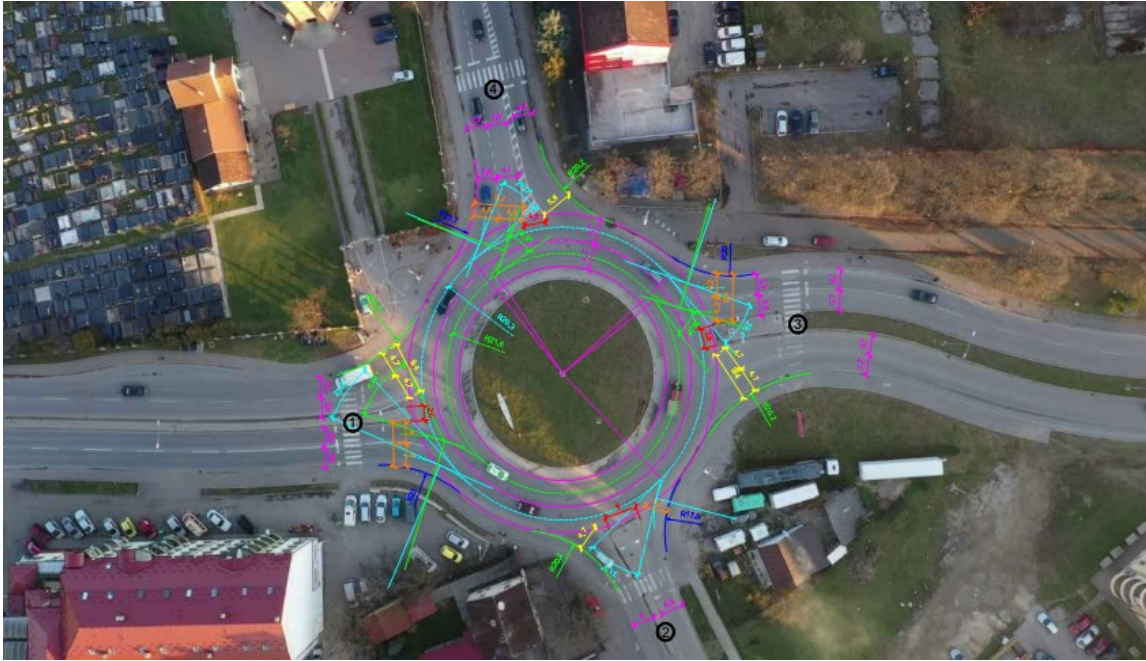


Slika 7.5 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R3: Patre, Cara Lazara – Teodora Kolokotronisa, Isajje Mitrovića

Tabela 7.4 Geometrijski parametri raskrsnice R4: Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića

R4 – Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića				
Opšte geometrijske karakteristike	Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m)	57,2		
	Prečnik centralnog ostrva (m)	34,8		
	Širina kružnog kolovoza (m)	9,4		
	Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza	2		
	Širina saobraćajne trake kružnog kolovoza (m)	4,7		
Geometrijske karakteristike prilaza	Prilaz			
	1	2	3	4
Broj saobraćajnih traka na prilazu	2	1	2	2
Prilaz Širina prilaza (m)	7,2	4,3	7,4	7,6
Širina saobraćajne trake na prilazu (m)	3,6*	4,3	3,7*	3,8*
Ulaz Širina ulaza (m)	8	4,2	8,4	9,2
Širina saobraćajne trake na ulazu (m)	4*	4,2	4,2*	4,6*
Radius ulaza (m)	23	17,9	20	23,7
Ulivni ugao (°)	43,4	31,9	35,9	28,0
Izlaz Širina izlaza (m)	9,4	4,7	9,4	5,8
Broj saobraćajnih traka na izlazu	2	1	2	1
Širina saobraćajne trake na izlazu (m)	3,6*	4	3,7*	3,8
Radius izlaza (m)	26,9	20,2	26,2	20,2
Širina razdjelnog ostrva (m)	2,6	6	3,6	4,1

*saobraćajne trake iste širine



Slika 7.6 Prikaz Geometrijskih parametara raskrsnice R4: Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića

Na osnovu izmjerenih brzina pojedinačnih vozila i vrijednosti mjerodavnih parametara kojim su opisane geometrijske karakteristika posmatranih raskrsnica utvrđeni su koeficijenti korelacije koji su prikazani u narednim tabelama.

Tabela 7.5 Koeficijenti korelacije između karakterističnih brzina i parametara geometrije

		En_lane	N_lne	W_lne	W_en	R_en	D1	D2
S_app	Pirsonov koef. korelacije	0,478	0,440	-0,257	0,346	-0,116	0,095	-0,098
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,005
S_ent	Pirsonov koef. korelacije	0,153	0,137	-0,105	0,150	0,184	0,141	0,089
	P-vrednost	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,011
S_crc	Pirsonov koef. korelacije	0,243	0,167	-0,140	0,168	0,262	0,302	0,203
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_ext	Pirsonov koef. korelacije	0,249	0,201	-0,160	0,182	0,105	0,168	0,047
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,181
		N_cr	W_lnc	W_cr	N_lnx	W_lnx	W_ex	R_ex
S_app	Pirsonov koef. korelacije	0,527	-0,502	0,463	0,395	-0,391	0,378	-0,132
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S_ent	Pirsonov koef. korelacije	0,139	-0,088	0,173	0,057	-0,055	0,055	0,057
	P-vrednost	0,000	0,012	0,000	0,104	0,114	0,116	0,107
S_crc	Pirsonov koef. korelacije	0,271	-0,162	0,345	0,146	-0,110	0,161	0,195
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
S_ext	Pirsonov koef. korelacije	0,322	-0,264	0,333	0,304	-0,187	0,297	0,139
	P-vrednost	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Pored toga, utvrđena je korelacija između karakterističnih brzina koje vozilo ostvaruje prilikom prolaska kroz kružnu raskrnicu. Rezultati analize prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 7.6 Koeficijenti korelacije između karakterističnih brzina

		S_app	S_ent	S_crc	S_ext
S_app	Pirsonov koef. korelacije P-vrednost				
S_ent	Pirsonov koef. korelacije P-vrednost	0,411 0,000			
S_crc	Pirsonov koef. korelacije P-vrednost	0,414 0,000	0,673 0,000		
S_ext	Pirsonov koef. korelacije P-vrednost	0,243 0,000	0,241 0,000	0,583 0,000	

Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati da postoji korelacija između određenih parova karakterističnih brzina i geometrijskih parametara kružne raskrsnice. Geometrijski parametri za koje je test pokazao da postoji korelacija sa brzinama uzeti su u razmatranje u procesu formiranja modela, pri čemu je kao mjerodavna vrijednost praga značajnosti usvojeno $\alpha=0,05$. Takođe, u postupku formiranja modela nisu uvršteni svi parametri koji su pokazali korelaciju sa brzinom usvojeni kao mjerodavni prediktori, već je izbor sveden na prvih pet parametara rangiranih po kriterijumu najviše apsolutne vrijednosti Pirsonovog koeficijenta.

Pored toga, prije usvajanja predikotra mjerodavnih za kreiranje modela izvršena je i logička provjera povezanosti sa karakterističnom brzinom. Logička provjera izvršena je sa sljedećom pretpostavkom:

H1: Na brzinu vozila ne mogu uticati geometrijski parametri koji:

- nisu u direktnoj fizičkoj vezi sa vozilom u trenutku kada se brzina mjeri,
- ne figurišu u području raskrsnice koje je vozilo neposredno napustilo i
- ne figurišu u području raskrsnice na koje vozio neposredno nailazi.

Tako npr. brzine koje su izmjerene prilikom prilaska raskrsnici (S_app i S_ent) mogu biti u vezi samo sa parametrima koji figurišu na prilazu i ulivnom grlu i parametrima u zoni kruženja, odnosno na kružnom dijelu raskrsnice. U slučajevima gde je testom korelacije utvrđeno da postoji veza koja je u suprotnosti sa definisanom pretpostavkom (npr. korelacija između S_app i N_lnx) ista je zanemarena. Ove veze koje odstupaju od pretpostavke H1 posljedica su međusobne povezanosti dva geometrijska parametra, što je sa druge strane posljedica projektnih normativa.

U skladu sa definisanom pretpostavkom H1 i utvrđenim koeficijentima korelacije slijedi da se kao mjerodavni geometrijski parametri - prediktori za sljedeće brzine usvajaju:

- za brzinu S_app, parametri En_lane, N_lne, W_lne, W_en i R_en;
- za brzinu S_ent, parametri En_lane, W_en, R_en, D1 i W_cr;
- za brzinu S_crc, parametri En_lane, R_en, D1, N_cr i W_cr;
- za brzinu S_ext, parametri N_cr, W_lnc, W_cr, N_lnx i W_ex

Visoki stepeni korelacije utvrđeni su između karakterističnih brzina pa nije isključena mogućnost upotrebe jedne karakteristične brzine kao prediktora u procesu utvrđivanja druge karakteristične brzine. Usvajanje karakteristične brzine kao prediktora izvršeno je na osnovu apsolutne vrijednosti Pirsonovog koeficijenta korelacija uz poštovanje sledeće pretpostavke:

H2: Za procjenu karakteristične brzine vozila mjerodavne su brzine koje je vozilo ostvarilo u prethodnom dijelu pređenog puta u radnji prolaska kroz kružnu raskrsnicu.

Na osnovu utvrđenih koeficijenata korelacije zaključeno je da se najjača veza ostvaruje sa neposredno prethodno ostvarenom karakterističnom brzinom. U skladu sa postavljenom pretpostavkom H2 i koeficijentima slijedi da:

- brzina S_{app} je prva karakteristična brzina pa se ona ne dovodi u vezu sa drugom karakterističnom brzinom;
- brzina S_{ent} ostvaruje najveću korelaciju sa brzinom S_{app} ;
- brzina S_{crc} ostvaruje najveću korelaciju sa brzinom S_{ent} ;
- brzina S_{ext} ostvaruje najveću korelaciju sa brzinom S_{crc} ;

te će ove veze biti primenjene kao mjerodavne u procesu formiranja modela i izbora potencijalnih prediktora.

7.2 Izbor potencijalnih prediktora

Postupak izbora potencijalnih prediktora izvršen je u dva koraka i to sljedećim redoslijedom:

1. Analiza uticaja tipa prolaska vozila i
2. Izbor potencijalnih prediktora formiranjem regresije najboljeg podskupa mjerodavnih prediktora.

7.2.1 Analiza uticaja tipa prolaska vozila

Prilikom analize tokova vozila napravljena je podjela tokova na dvije grupe prema načinu kretanja vozila odnosno tipu prolaska na:

- vozila koja su prilikom prolaska kroz raskrsnicu bila neometana (CON) i
- vozila čije je kretanje na neki način bilo ometeno (DIS).

Podjela uzorka na ovaj način izvršena je na osnovu sljedeće pretpostavke:

H3: Brzina vozila koja prolaze kroz raskrsnicu u situaciji kada ne postoji interakcija sa drugim učesnicima zavisi od geometrijskih karakteristika raskrsnice, u suprotnom na brzinu vozila pored geometrije dodatan uticaj stvaraju ostali faktori (pješaci, biciklisti, druga vozila).

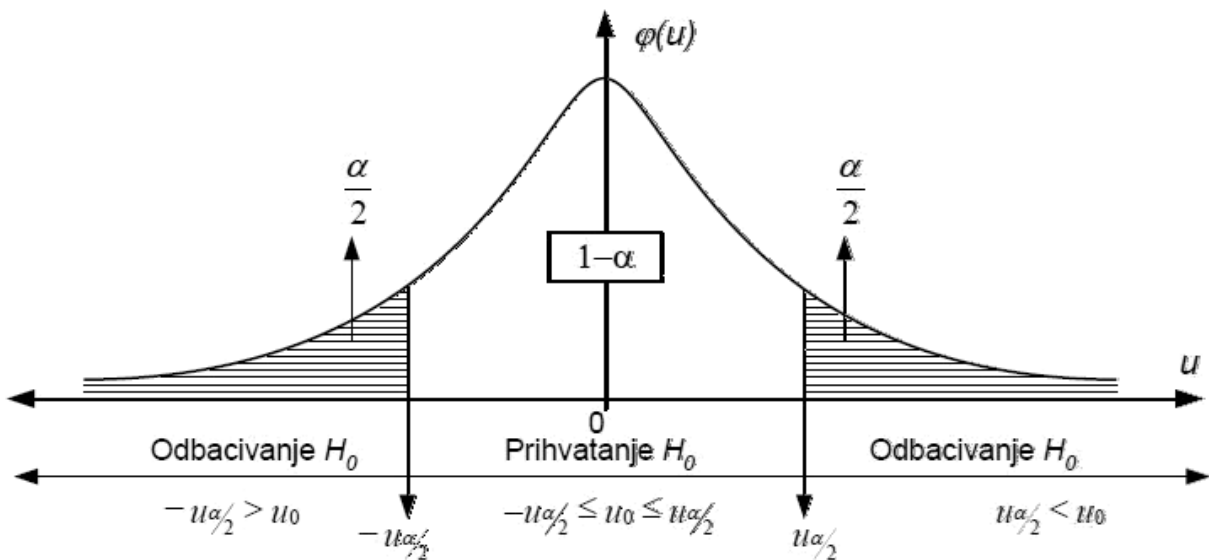
U skladu sa pretpostavkom „H3“ prilikom analize, tip prolaska, kao uticajni faktor usvojen je kao neizostavan u daljem postupku formiranja varijacija modela, pod uslovom da je ovaj uticaj dokazan. Pretpostavka o razlici brzina vozila je ispitana statističkim uporednim testom dva skupa podataka na osnovu kog je doneta odluka o opravdanosti potreba za uvođenje tipa prolaska vozila kao faktora koji figuriše u procjeni brzine.

Uporedni testovi dva skupa podataka vrše se sa ciljem da se pokaže da li postoji razlika između posmatranih obelježja, odnosno da li je ta razlika statistički značajna. U konkretnom slučaju posmatrana je razlika između brzine toka ometanih vozila sa jedne i neometanih vozila sa druge strane. S obzirom na to da analizirani skupovi podataka imaju saglasnost da normalnom raspodjelom korišćen je dvosmjerni (2-Sample t) test. Pomoću ove statistike testiraju se hipoteze o jednakosti srednjih vrijednosti obelježja kada je standardna devijacija nepoznata.

H_0 : ne postoji razlika između srednjih vrijednosti (μ) posmatranih obelježja ($\mu_1 - \mu_2 = 0$);

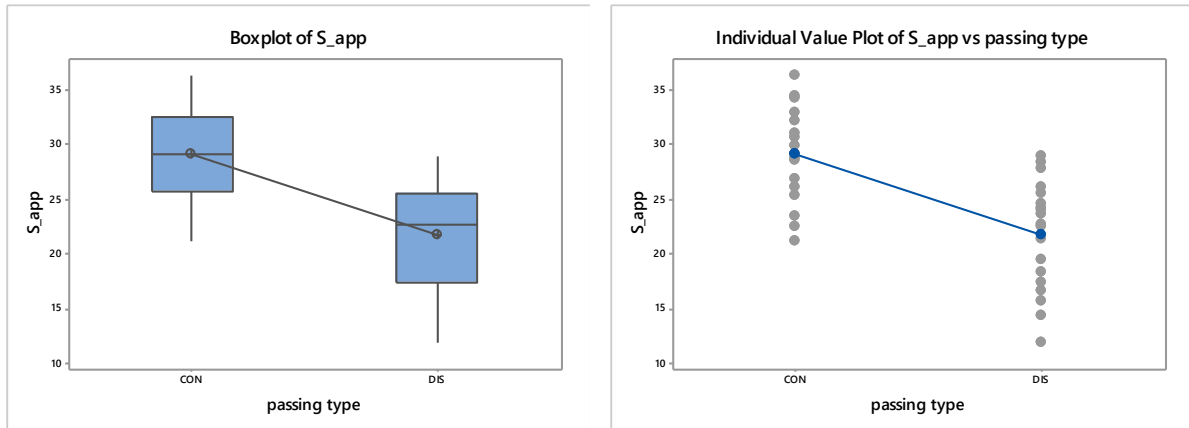
H_1 : postoji razlika između srednjih vrednosti (μ) posmatranih obelježja ($\mu_1 - \mu_2 \neq 0$).

Prihvatanje ili odbacivanje jedne od postavljenih hipoteza vrši se na osnovu utvrđene p-vrijednosti i definisanog praga značajnosti α .



Slika 7.7 Oblasti prihvatanja i odbacivanja nulte hipoteze H_0 u slučaju dvosmjernog testa

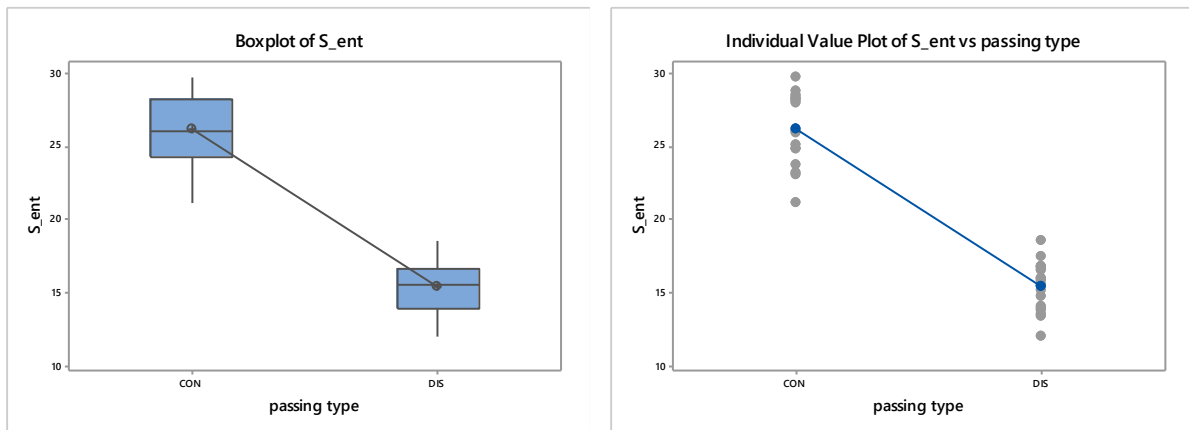
U narednim tabelama i grafikonima prikazani su rezultati dvosmjernog testa za svaku karakterističnu brzinu.



Slika 7.8 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_app

Tabela 7.7 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_app

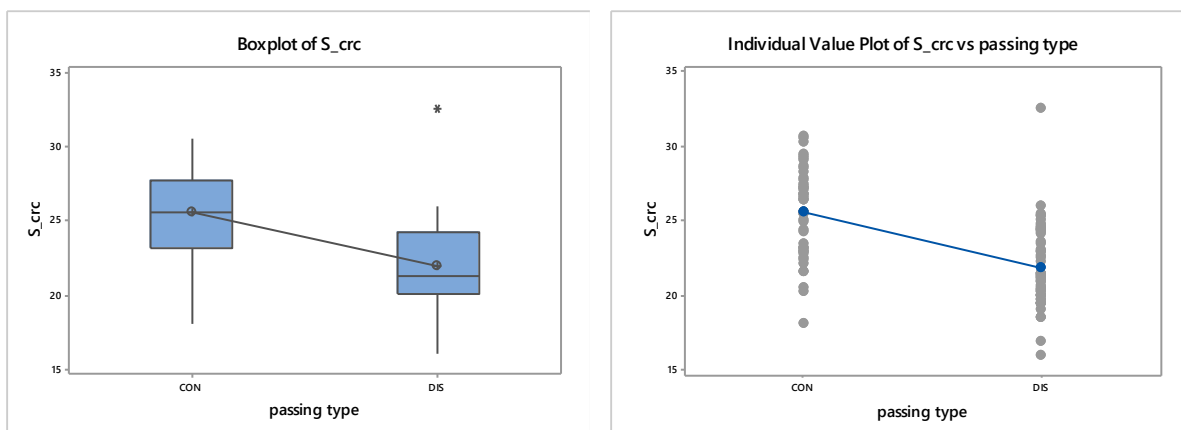
Tip prolaska	N	Mean	StDev	SE Mean
CON	17	28,98	4,37	1,1
DIS	19	21,69	4,96	1,1
H ₀ testa		μ (CON) - μ (DIS) = 0		
Utvrđena razlika		7,29		
95% CI		(4,12; 10,45)		
T-Test		T-Vrednost = 4,69 P-Vrednost = 0,000 DF = 33		



Slika 7.9 Grafički prikaz podataka posmatranih obelježja S_ent

Tabela 7.8 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_ent

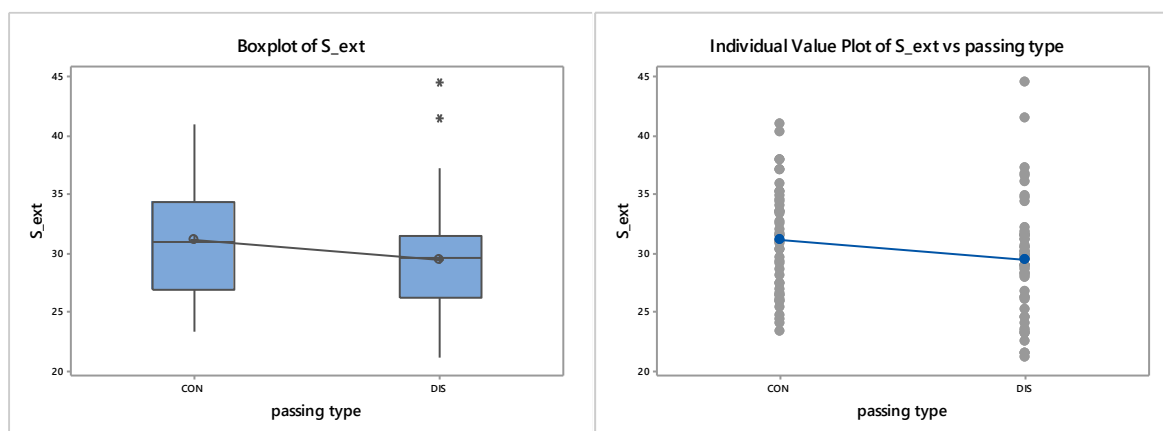
Tip prolaska	N	Mean	StDev	SE Mean
CON	17	26,14	2,49	0,60
DIS	19	15,31	1,64	0,38
H ₀ testa		μ (CON) - μ (DIS) = 0		
Utvrđena razlika		10,83		
95% CI		(9,37; 12,29)		
T-Test		T-Vrednost = 15,23 P-Vrednost = 0,000 DF = 27		



Slika 7.10 Grafički prikaz podataka posmatranih obeležja S_crc

Tabela 7.9 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_crc

Tip prolaska	N	Mean	StDev	SE Mean
CON	47	25,58	2,96	0,43
DIS	55	21,90	2,75	0,37
H ₀ testa		μ (CON) - μ (DIS) = 0		
Utvrđena razlika		3,69		
95% CI		(2,56; 4,82)		
T-Test		T-Vrednost = 6,49 P-Vrednost = 0,000 DF = 94		



Slika 7.11 Grafički prikaz podataka posmatranih obeležja S_ext

Tabela 7.10 Rezultati dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_ext

Tip prolaska	N	Mean	StDev	SE Mean
CON	47	31,01	4,48	0,65
DIS	55	29,39	4,81	0,65
H ₀ testa		μ (CON) - μ (DIS) = 0		
Utvrđena razlika		1,62		
95% CI		(-0,208; 3,448)		
T-Test		T-vrednost = 1,76 P-vrednost = 0,082 DF = 99		

Na osnovu izvršene analize mogu se donjeti sljedeći zaključci:

- Srednja brzina saobraćajnog toka neometanih vozila veća je od srednje brzine toka ometanih vozila i to 7,29 km/h na prilazu raskrsnice, 10,83 km/h na ulivnom grlu, 3,69 km/h u kruženju i 1,62 km/h na izlivnom kraku.
- Na osnovu utvrđene P-vrijednosti dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzine S_{app} , S_{ent} i S_{crc} ne može se reći da su brzine po posmatranim obelježjima jednake, te se tip prolaska za ove brzine uključuje kao faktor u daljoj analizi.
- Na osnovu utvrđene P-vrednosti dvosmjernog testa tipa prolaska vozila za brzinu S_{ext} (P-vrednost= 0,082) koja je veća od zadatog praga značajnosti $\alpha=0,05$ može se reći da su brzine po posmatranim obeležjima jednake pa tip prolaska kao faktor za utvrđivanje ovih brzina neće biti uzet u obzir u daljoj analizi.

7.2.2 Izbor potencijalnih prediktora formiranjem regresije najboljeg podskupa merodavnih prediktora

Regresija najboljeg podskupa je metoda u okviru koje se definišu modeli u kojim figurišu podskupovi promenljivih iz punog skupa mjerodavnih prediktora, a koji sa druge strane daju najveću vrijednost koeficijenta determinacije (R^2). Regresija najboljih podskupova je efikasan način da se identifikuju modeli kojim se može postići zadati cilj upotrebom što manje prediktora. Za potrebe predmetne analize regresija najboljeg podskupa izvršena je u softverskom paketu Minitab®. Postupak se sastoji u tome da se ispituju svi mogući podskupovi prediktora, počev od svih modela koji sadrže jedan prediktor, a zatim svi modeli koji sadrže dva prediktora itd. Kao podrazumjevani rezultat prikazuju se dva najbolja modela za svaki broj prediktora.

U skladu sa rezultatima sprovedene analize izvršen je izbor prediktora koji su uvršteni u proces formiranja modela. Prilikom izbora prediktora uticaj tipa prolaska vozila usvojen je u svakoj regresiji najboljeg podskupa ukoliko je uticaj ovog faktora dokazan prethodnom analizom, odnosno za sve brzine osim za S_{ext} . Izabrani prediktori koji su dalje korišćeni u postupku utvrđivanja modela prikazani su u tabeli, dok je detaljan prikaz analize najboljeg podskupa dat u okviru priloga.

7.3 Formiranje modela

Činjenica da postoji korelacija između dvije promjenljive veoma često je korisna ali ne i dovoljna za rješavanje konkretnih problema. Praktična primjena povezanosti određenih varijabli često podrazumjeva prognoziranje vrijednosti jedne (nepoznate) varijable na osnovu vrijednosti druge (poznate) varijable. Ova statistička tehnika naziva se regresiona analiza i podrazumjeva formiranje jednačine koja povezuje zavisnu promjenljivu sa jednom (prosta regresija) ili više nezavisnih promjenljivih (višestruka regresija). Prema prirodi veze, regresija može biti linearna, kod koje postoji linearna povezanost između nezavisnih promjenljivih i zavisne promjenljive ili nelinearna, kod koje zavisnost između promenljivih može biti opisana

krivom (kvadratna regresija, polinomna regresija, eksponencijalna i dr.). U okviru predmetnog istraživanja, za potrebe formiranja modela, korišćena je višestruka linearna regresiona analiza. Regresionu jednačinu definišu zavisna (responsna) promjenljiva, nezavisne (prediktorske) promjenljive i regresioni koeficijenti, a višestruka linearna regresija može biti zapisana u sljedećem obliku:

$$y = \varepsilon + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (7-1)$$

gde je:

y	- zavisna (responsna) promenljiva,
$x_1; x_2; x_n$	- nezavisne (prediktorske) promenljive,
$\beta_1; \beta_2; \beta_n$	- regresioni koeficijenti,
ε	- slučajna komponenta modela (slobodan član).

Jedan od kriterijuma za formiranje regresije je metoda najmanjih kvadrata, koja se sastoji u tome da se za ocjenu parametra uzima ona vrijednost za koju je zbir kvadrata reziduala minimalan. Reziduali predstavljaju razliku izmerenih vrijednosti od vrijednosti koju definiše kriva funkcije regresije, odnosno vertikalna odstupanja tačaka izmjerenih vrijednosti od linije regresije.

Interpretacija rezultata dobijenih regresionim modelom u prvom koraku vrši se provjerom koeficijenta determinacije R^2 (R-Sq). R^2 predstavlja jednu od statističkih mjera valjanosti modela i opisuje u kom procentu je definisana kriva regresionog modela (responsna promjenljiva) opisana prediktorima. Vrijednost R^2 uvek se kreće u granicama od 0% do 100%. Ukoliko ovaj koeficijent ima vrijednost blisku 0% znači da model ne opisuje zavisnost između responsne i prediktivnih promenljivih, dok vrijednost 100% znači da model savršeno opisuje zavisnost između responsne i prediktivnih promenljivih. Pored R^2 ne treba zanemariti i korigovani koeficijent determinacije $R^2_{(adj)}$ i predikcioni koeficijent determinacije $R^2_{(pred)}$. $R^2_{(adj)}$ je modifikovani R^2 koji je prilagođen broju prediktora u modelu. Karakteristika $R^2_{(adj)}$ je da se on povećava samo ako novi uvedeni prediktor poboljša model više nego što bi se slučajno očekivalo, a smanjuje se kada prediktor poboljšava model manje nego što se slučajno očekuje. Analiza vrijednosti koeficijenta $R^2_{(pred)}$ važna je u slučaju višestruke regresije prilikom postupka izbora prediktora u okviru modela. $R^2_{(pred)}$ definiše koliko dobro utvrđeni regresioni model predviđa vrijednost zavisne promenljive u slučaju ako bi postojeće prediktivne promenljive bile određene kao nova observacija. $R^2_{(pred)}$ ima ključnu ulogu u pokazivanju predimenzionisanja modela. U određenim situacijama R^2 i $R^2_{(adj)}$ mogu imati visoke vrijednosti, a $R^2_{(pred)}$ vrijednost 0 ili negativnu. U tom slučaju, iako na prvi pogled model izgleda kao dobar, on praktično nije primjenjiv i ne opisuje na dobar način zavisnost responsne i prediktivnih promenljivih. Programski paket koji je korišćen za predmetnu statističku analizu, Minitab®, automatski izračunava vrijednosti navedenih koeficijenata determinacije i predstavlja ih kao dio izvještaja statističke analize generisanog iz softvera.

U okviru provjere valjanosti modela vrši se analiza reziduala jer visok koeficijent korelacije ne znači neizostavno i to da je utvrđen model dobar. Reziduali prikazani na grafiku treba da budu slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije, odnosno položaj reziduala ne sme biti takav da jasno opisuje krivu određenog oblika. Takođe, da bi model bio prihvatljiv

reziduali treba da imaju saglasnost sa normalnom raspodjelom kao i da njihova srednja vrijednost bude približno jednak nuli.

Svi modeli brzina na kružnim raskrsnicama analizirani su kroz dve varijante modela:

- a) Višetraka linearna regresija koja je formirana uvrštavanjem svih potencijalnih prediktora – osnovni model i
- b) Višestruka linearna regresija bazirana na osnovnom modelu i uključenim postupkom „stepwise“ selekcije svih potencijalnih prediktora.

Kao generalni zaključak analize varijanti modela može se reći da je u slučajevima modela za brzine S_{ent} , S_{crc} i S_{ext} u okviru „stepwise“ selekcije došlo do eliminacije nekih od uvrštenih potencijalnih prediktora, a sve u cilju povećanja tačnosti modela. U slučaju modela za brzinu S_{app} utvrđeno je da je osnovni model i model dobijen „stepwise“ selekcijom identičan, te u tom slučaju nije došlo do promjene broja prediktora koji figurišu u modelu.

7.4 Model srednje brzine toka na prilazu (S_{app})

U skladu sa izvršenom analizom model brzine S_{app} u konačnoj varijanti ima sljedeći oblik:

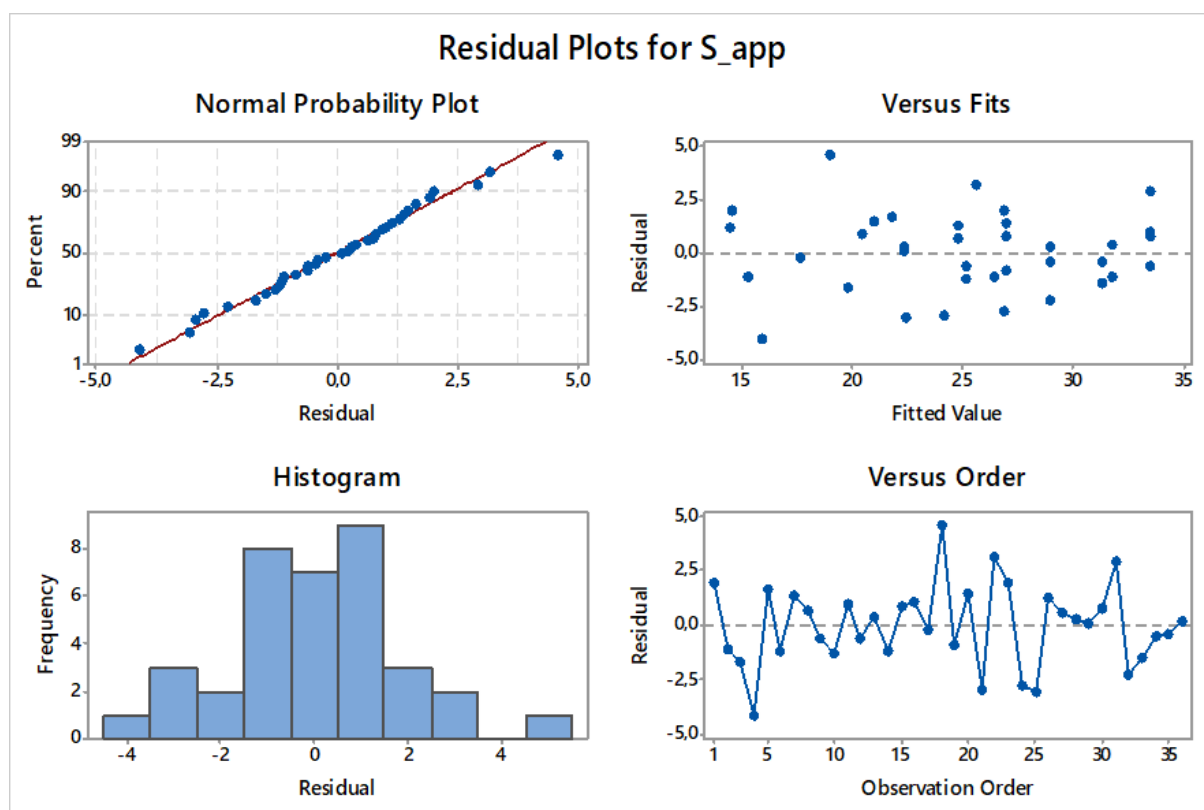
$$S_{app} = -6,23 + 6,532 P_{type} + 24,27 N_{lne} + 4,62 W_{lne} - 4,677 W_{en} + 0,2343 R_{en} \quad (7-2)$$

gde je:

- S_{app} - Srednja brzina toka na prilazu (km/h);
- P_{type} - Tip prolaska vozila (1 – tokovi neometanih vozila; 0 – tokovi vozila koja su bila ometana prilikom prolaska kroz raskrsnicu);
- N_{lne} - Broj saobraćajnih traka na prilazu;
- W_{lne} - Širina saobraćajne trake na prilazu (m);
- W_{en} - Širina ulaza (m);
- R_{en} - Radijus ulaza (m);

Dobijena regresija ima koeficijent derminacije $R^2=90,19\%$. Korigovani koeficijent determinacije $R^2_{(adj)}=88,56\%$, dok predikcioni koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(pred)}=85,95\%$. Standardna greška regresije modela brzine S_{app} iznosi $S=2,00$ (km/h). Na osnovu sumarnih parametara modela može se konstatovati da utvrđena jednačina u veoma dobroj mjeri opisuje zavisnost brzine S_{app} i izabranih prediktora.

Analizom reziduala utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije. Reziduali imaju saglasnost sa normalnom raspodjelom ($AD=0,146$; P -vrednost= $0,965$). Srednja vrijednost reziduala je veoma bliska nuli i iznosi $6,414622E-15$. Na sljedećoj slici dat je grafički prikaz reziduala modela brzine S_{app} .

Slika 7.12 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{app}

7.5 Model srednje brzine toka na ulivnom grlu (S_{ent})

U skladu sa izvršenom analizom model brzine S_{ent} u konačnoj varijanti ima sljedeći oblik:

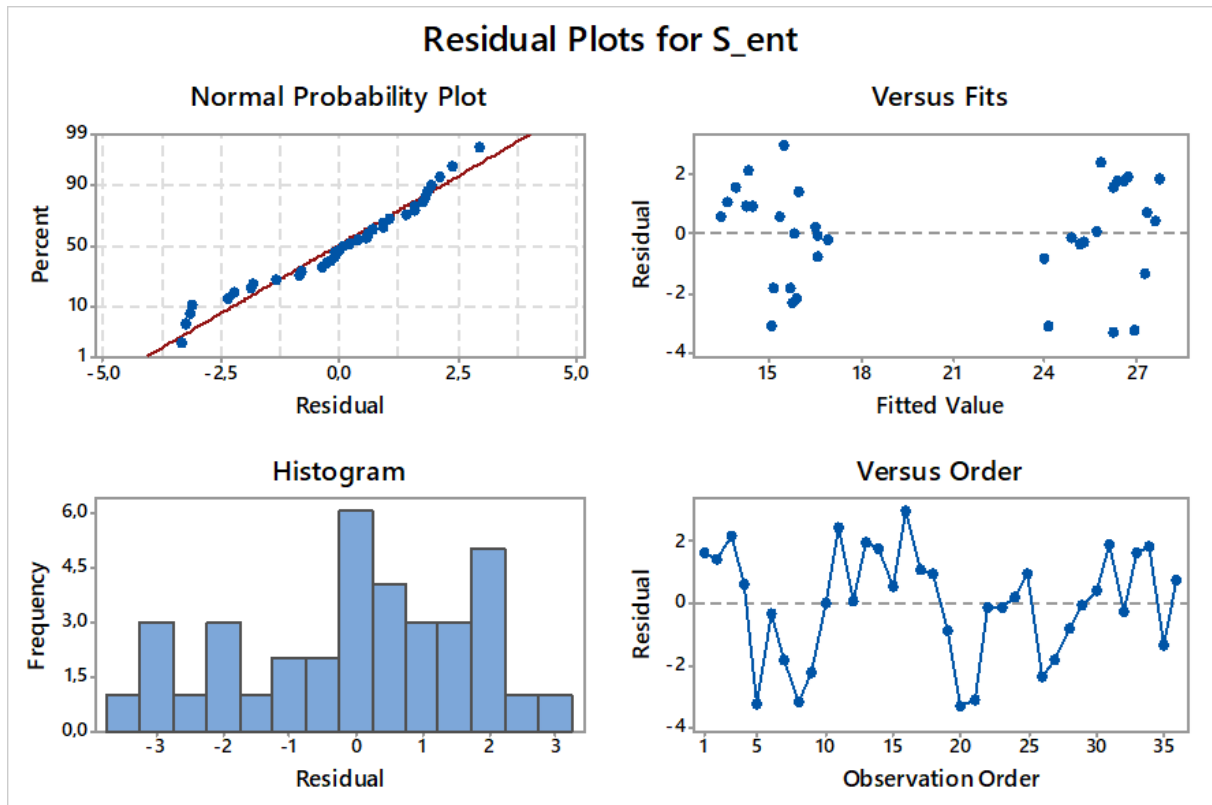
$$S_{ent} = 9,15 + 0,1061 S_{app} + 10,034 P_{type} + 0,2134 R_{en} \quad (7-3)$$

gde je:

- S_{ent} - Srednja brzina toka na ulivnom grlu (km/h);
- S_{app} - Srednja brzina toka na prilazu (km/h);
- P_{type} - Tip prolaska vozila (1 – tokovi neometanih vozila; 0 – tokovi vozila koja su bila ometana prilikom prolaska kroz raskrsnicu);
- R_{en} - Radijus ulaza (m);

Dobijena regresija ima koeficijent derminacije $R^2=90,41\%$. Korigovani koeficijent determinacije $R^2_{(adj)}=89,51\%$, dok predikcioni koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(pred)}=87,53\%$. Standardna greška regresije modela brzine S_{ent} iznosi $S=1,90$ (km/h). Na osnovu sumarnih parametara modela može se konstatovati da utvrđena jednačina u veoma dobroj mjeri opisuje zavisnost brzine S_{ent} i izabranih prediktora.

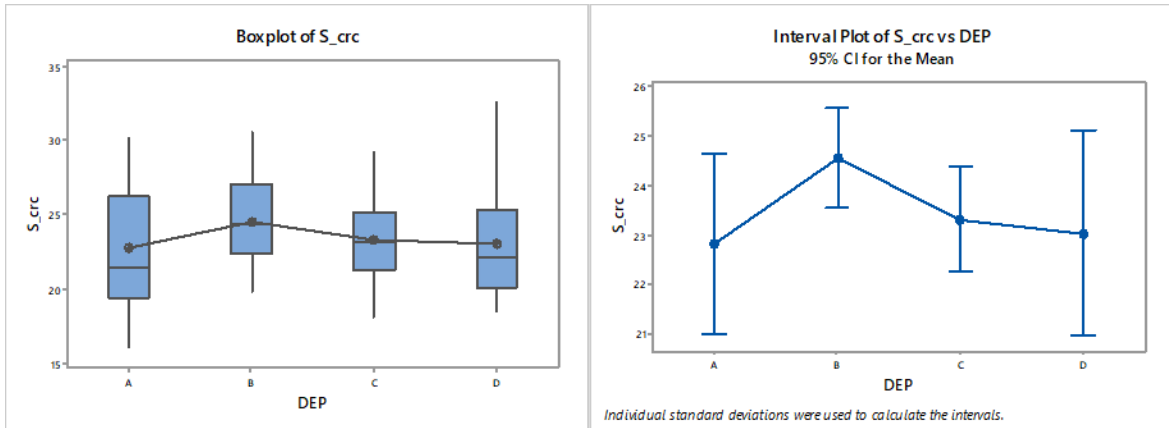
Analizom reziduala utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije formirajući dve grupe u skladu sa vrijednostima članova u uzorku. Reziduali imaju saglasnost sa normalnom raspodelom ($AD=0,219$; P -vrednost= $0,824$). Srednja vrijednost reziduala je veoma bliska nuli i iznosi $-4,14483E-15$. Na sljedećoj slici dat je grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ent} .

Slika 7.13 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ent}

7.6 Model srednje brzine toka u zoni kruženja (S_{cr})

Prilikom formiranja modela brzine S_{cr} pored potencijalnih prediktora ispitana je i zavisnost vrijednosti brzine od pravca kretanja vozila kroz kružnu raskrsnicu, odnosno izlaznog kraka, s obzirom na to da prethodna istraživanja ukazuju da može postojati razlika. U nastavku dati su grafikoni na kojim su prikazane vrijednosti brzina vozila u zavisnosti od izlivnog kraka (DEP) na kom napuštaju raskrsnicu, praktično manevra koji izvode prilikom prolaska kroz raskrsnicu. Izlivni kraci, odnosno manevri vozila u predmetnoj analizi označeni su na sledeći način:

- A. Skretanje desno nakon raskrsnice - prvi izlivni krak;
- B. Prolazak pravo nakon raskrsnice - drugi izlivni krak;
- C. Skretanje lijevo nakon raskrsnice - treći izlivni krak;
- D. Polukružno okretanje na raskrsnici - četvrti izlivni krak;

Slika 7.14 Grafički prikaz razlike brzina S_{crc} u zavisnosti od izlaznog kraka

Vrijednosti na grafikonima ukazuju da postoji razlika između srednjih vrijednosti brzina, kao i intervala u kom se te vrijednosti kreću. S obzirom na to prilikom formiranja regresionog modela izlivni krak odnosno tip manevra (DEP) usvojen je kao kategorički prediktor.

U prvom koraku formiranja regresije osnovnog modela brzine S_{crc} utvrđeni su nekarakteristično visoki reziduali u okviru analiziranog uzorka. Tom prilikom utvrđeno je da optimalna regresiona jednačina, zasnovana na bazi 102 člana, ima koeficijent determinacije $R^2=69,03\%$ i prediktivni koeficijent determinacije $R^2(pred)=61,79\%$. Saglasnost reziduala sa Normalnom raspodelom je dokaziva ali sa izuzetno malom P-vrijednosti koja iznosi 0,063. U skladu sa tim izvršena je korekcija uzorka eliminacijom ekstremnih vrijednosti te su članovi na kojim su uočeni visoki reziduali selektivno uklonjeni iz baze podataka.

Nakon toga izvršena je ponovna regresiona analiza ali u ovom slučaju bez dijela uzorka na kom su uočeni neuobičajeno visoka odstupanja reziduala. Nova analiza izvršena je na uzorku od 96,07% veličine prvobitnog uzorka, odnosno na bazi od 98 članova. U skladu sa izvršenom analizom, i u zavisnosti od vrste manevra manevra, model brzine S_{crc} u konačnoj varijanti ima sledeći oblik:

$$S_{crc}^A = 9,396 + 0,3040 S_{ent} + 0,1287 D1 + 0,609 N_{cr} \quad (7-4)$$

$$S_{crc}^B = 11,554 + 0,3040 S_{ent} + 0,1287 D1 + 0,609 N_{cr} \quad (7-5)$$

$$S_{crc}^C = 10,250 + 0,3040 S_{ent} + 0,1287 D1 + 0,609 N_{cr} \quad (7-6)$$

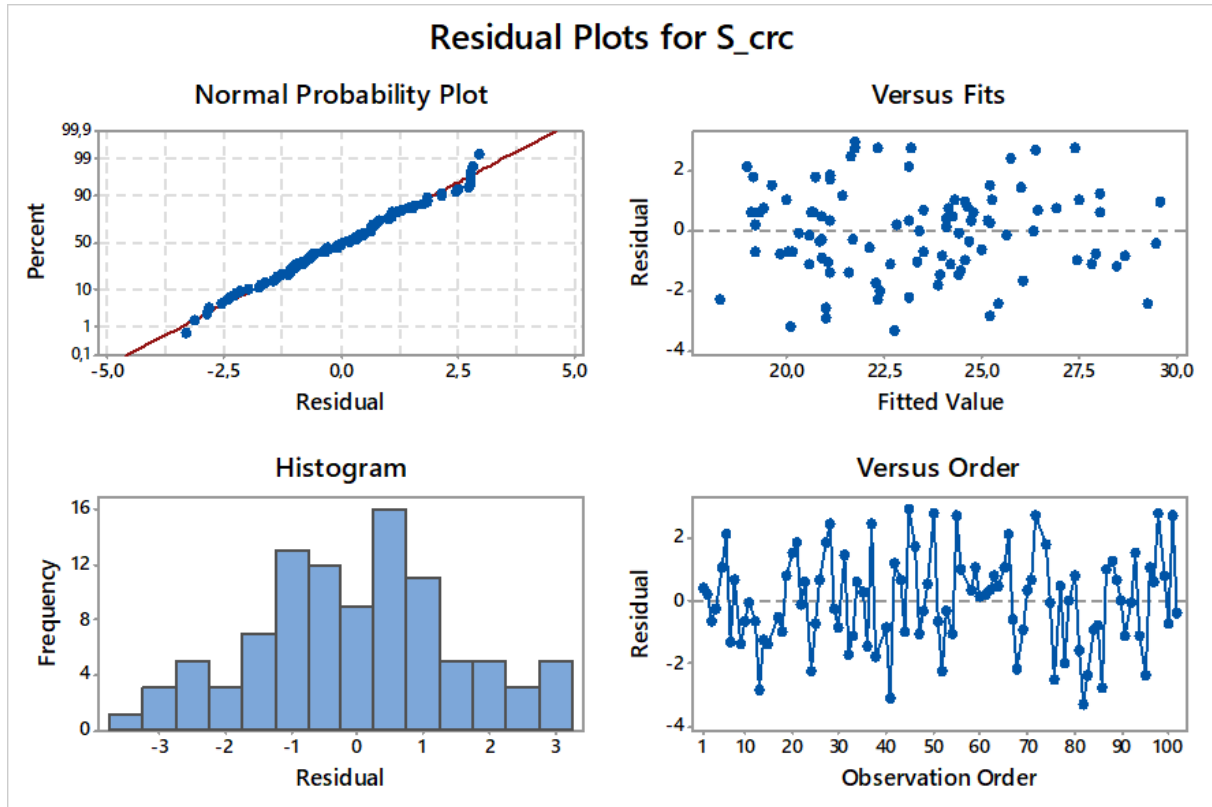
$$S_{crc}^D = 9,354 + 0,3040 S_{ent} + 0,1287 D1 + 0,609 N_{cr} \quad (7-7)$$

gde je:

- $S_{crc}^{A;B;C;D}$ - Srednja brzina toka u kruženju (km/h), u zavisnosti od vrste manevra (A – desno/prvi izlaz; B – pravo/drugi izlaz; C – levo/treći izlaz; D – polukružno/četvrti izlaz);
- S_{ent} - Srednja brzina toka na ulivnom grlu (km/h);
- $D1$ - Spoljni prečnik kružne raskrsnice (m);
- N_{cr} - Broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza;

Dobijena regresija ima koeficijent determinacije $R^2=77,85\%$. Korigovani koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(adj)}=76,39\%$ dok prediktivni koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(pred)}=73,94\%$. Standardna greška regresije modela brzine S_{crc} iznosi $S=1,54$ (km/h). Na osnovu sumarnih parametara modela može se konstatoovati da utvrđena jednačina u dobroj meri opisuje zavisnost brzine S_{crc} i izabranih prediktora.

Analizom reziduala konačnog modela utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije. Rezidualni imaju saglasnost sa normalnom raspodjelom ($AD=0,252$; $P\text{-vrijednost}=0,731$). Srednja vrijednost reziduala je veoma bliska nuli i iznosi $-2,53765E-16$. Na sljedećoj slici dat je grafički prikaz reziduala modela brzine S_{crc} .



Slika 7.15 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{crc}

7.7 Model srednje brzine toka na izlivnom grlu (S_{ext})

U skladu sa izvršenom analizom model brzine S_{ext} u konačnoj varijanti ima sljedeći oblik:

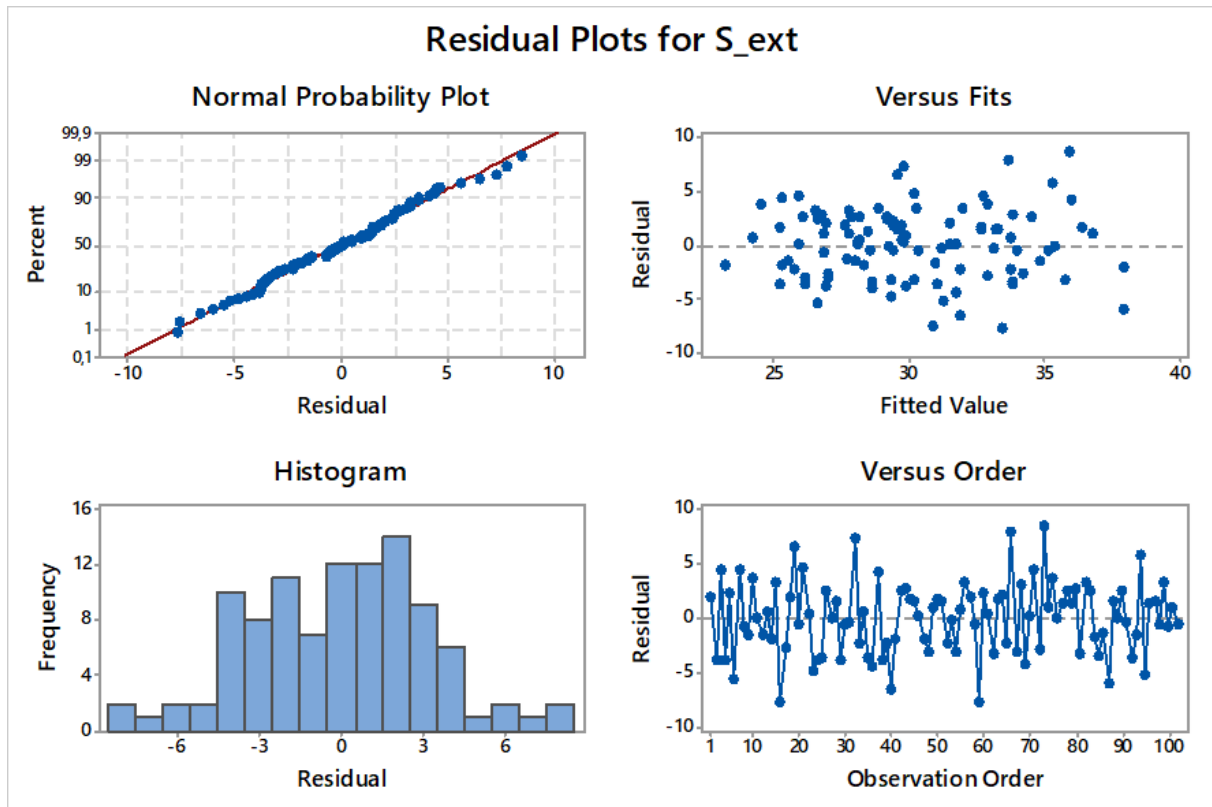
$$S_{ext} = 5,78 + 0,8143 S_{crc} + 3,645 N_{lnx} \quad (7-8)$$

gdje je:

- S_{ext} - Srednja brzina toka na izlivnom kraku (km/h);
- S_{crc} - Srednja brzina toka u kruženju (km/h), posmatra se u zavisnosti od odgovarajućeg manevra;;
- N_{lnx} - Broj saobraćajnih traka na izlazu na koji se isključuje posmatrani tok;

Dobijena regresija ima koeficijent derminacije $R^2=51,68\%$. Korigovani koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(adj)}=50,70\%$, dok predikcioni koeficijent determinacije iznosi $R^2_{(pred)}=48,06\%$. Standardna greška regresije modela brzine S_{ext} iznosi $S=3,31$ (km/h). Na osnovu sumarnih parametara modela može se konstatovati da s obzirom na prirodu saobraćajnog toka i generalne karakteristike brzine toka utvrđena jednačina na zadovoljavajućem nivou opisuje zavisnost brzine S_{ext} i izabranih prediktora.

Analizom reziduala utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije formirajući dve grupe u skladu sa vrijednostima članova u uzorku. Rezidualni imaju saglasnost sa normalnom raspodjelom ($AD=0,320$; $P\text{-vrednost}=0,528$). Srednja vrijednost reziduala je veoma bliska nuli i iznosi $3,831358E-16$. Na sljedećoj slici dat je grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ext} .



Slika 7.16 Grafički prikaz reziduala modela brzine S_{ext}

7.8 Ograničenja modela

Zakovitosti odnosa brzine toka i geometrijskih karakteristika raskrsnice zasnovani su na ograničenom uzorku. U tom smislu model poseduje određena ograničenja, odnosno primjenjiv je pod sljedećim uslovima:

- na kružnim raskrsnicama koje se nalaze na gradskim saobraćajnicama na kojim je brzina ograničena do 50 km/h;
- broj saobraćajnih traka na prilazu kružnoj raskrsnici (N_{lne}) iznosi maksimalno tri saobraćajne trake;
- širina saobraćajne trake na prilazu (W_{lne}) iznosi minimalno 3,40 m, a maksimalno 5,00 m;
- širina ulaza (W_{en}) ne može biti manja od 4,20 m i veća od 13,0 m;
- radijus ulaza (R_{en}) ne može biti manji od 12,0 m i veći od 23,7 m;
- spoljni prečnik kružne raskrsnice ($D1$) ne može biti manji od 33,0 m i veći od 57,2 m;

- broj saobraćajnih traka kružnog kolovoza (N_{cr}) iznosi maksimalno dve saobraćajne trake;
- broj saobraćajnih traka na izlivnom kraku na koji se isključuje posmatrani tok vozila (N_{inx}) iznosi maksimalno dvije saobraćajne trake;
- ugao između osa kolovoza koji se ukrštaju na raskrsnici iznosi približno 90° ;
- postupak u okviru modela prilagođen je pravilnim četvorokrakim kružnim raskrsnicama, primjena je moguća i na pravilnim trokrakim kružnim raskrsnicama pri čemu se u proračunu S_{crc} moraju poštovati definisani manevri kretanja kroz kružnu raskrsnicu.

7.9 Testiranje modela

U postupku formiranja modela validnost utvrđenih relacija potvrđena je statističkim parametrima (R^2 , $R^2_{(adj)}$ i $R^2_{(pred)}$) i sa ovog aspekta utvrđeni model daje zadovoljavajuće rezultate. Ipak, statistički validan model ne mora uvijek da pruži i zadovoljavajuće rezultate i u praktičnoj analizi. Takođe, u pojedinim situacijama model ili odnos dva skupa podataka mogu sa statističkog aspekta da budu nepovoljno ocijenjeni (što zavisi od osetljivosti testa, veličine uzorka, njihove raspodjele, itd.), dok sa praktičnog aspekta utvrđene razlike s obzirom na prirodu analiziranih podataka mogu biti zanemarene.

S obzirom na to, nakon formiranja modela izvršena je i njegova praktična valorizacija, odnosno testiranje modela. Za test lokaciju izabrana je raskrsnica R4: Bulevar Desanke Maksimović – Bulevar vojvode Stepe Stepanovića. Izbor ove lokacije izvršen je iz razloga jer se utvrđeni geometrijski parametri nalaze u granicama ograničenja modela sa jedne strane, a sa druge ova lokacija sadrži sve varijacije geometrijskih parametara koje su uključene u model. Za potrebe analize izvršeno je dodatno snimanje saobraćajnog toka i formiran novi skup podataka brzina i vremena putovanja koji nije bi uključen u postupak formiranja modela.

Ocjena validnosti modela izvršena je na osnovu:

- odstupanja prosječnog vremena putovanja vozila kroz kružnu raskrsnicu dobijena na bazi brzina utvrđenih modelom (Tvk_model), u odnosu na realno izmjerene vrijednosti vremena putovanja vozila kroz kružnu raskrsnicu (Tvk_real) i
- odstupanja vrijednosti srednje brzine toka na kružnoj raskrsnici dobijena na bazi brzina utvrđenih modelom (Svk_model)j u odnosu na realno izmjerene vrjednosti srednje brzine toka (Svk_real).

Modelovano vrijeme putovanja vozila kroz raskrsnicu (Tvk_model) zasnovano je na brzinama koje su definisane modelom (S_app , S_ent , S_crc i S_ext) i pređenim putem. Mjerodavni pređeni put sastoji se iz pređenog puta na ulivnom grlu (L_ent), pređenog puta u kruženju (L_crc) i pređenog puta na izlivnom kraku (L_ext).

Dužina pređenog puta na ulivnom grlu (L_ent) i dužina pređenog puta na izlivnom kraku (L_ext) su konstantne vrednosti i u skladu sa definisanom metodologijom iznose 20,0 m. Dužina pređenog puta u kruženju (L_crc) zavisi od prečnika kružne raskrsnice i jednaka je dužini putanje vozila kroz kružni dio raskrsnice mjereno po osi kružnog kolovoza u zavisnosti

od smijera kretanja. U konkretnom slučaju dužina pređenog puta u kruženju (L_{crc}) ima slijedeće vrijednosti:

- za tok vozila koja skreću desno nakon raskrsnice, $L_{crc_A} = 38,0$ m;
- za tok vozila koja prolaze pravo nakon raskrsnice $L_{crc_B} = 68,0$ m;
- za tok vozila koja skreću levo nakon raskrsnice $L_{crc_C} = 108,0$ m;
- za tok vozila koja vrše polukružno okretanje na raskrsnici $L_{crc_D} = 143,0$ m.

U skladu sa postavljenim principom definisanja pređenog puta, prosječno modelovano vrijeme putovanja toka vozila na kružnoj raskrsnici može se izraziti sljedećom relacijom:

$$Tvk_{model} = \frac{7,2 L_{ent}}{S_{app} + S_{ent}} + \frac{3,6 L_{crc}}{S_{crc}} + \frac{7,2 L_{ext}}{S_{crc} + S_{ext}} \quad [s] \quad (7-9)$$

gdje je:

- Tvk_{model} - Modelovano prosječno vrijeme putovanja toka kroz raskrsnicu (s);
- L_{ent} - Dužina pređenog puta na ulivnom grlu (m), iznosi 20,0 m prema definisanoj metodologiji;
- L_{crc} - Dužina pređenog puta u kruženju (m);
- L_{ext} - Dužina pređenog puta na izlivnom kraku (m), iznosi 20,0 m prema definisanoj metodologiji, posmatra se u zavisnosti od odgovarajućeg manevra prolaska kroz raskrsnicu;
- S_{app} - Srednja brzina toka na prilazu (km/h);
- S_{ent} - Srednja brzina toka na ulivnom grlu (km/h);
- S_{crc} - Srednja brzina toka u kruženju (km/h), posmatra se u zavisnosti od odgovarajućeg manevra prolaska kroz raskrsnicu;
- S_{ext} - Srednja brzina toka na izlivnom kraku (km/h);

Srednja brzina toka na kružnoj raskrsnici određuje se kao odnos pređenog puta i prosječnog vremena putovanja kroz kružnu raskrsnicu, odnosno:

$$Svk_{model} = \frac{3,6 (L_{ent} + L_{crc} + L_{ext})}{Tvk_{model}} \quad [km/h] \quad (7-10)$$

gdje je:

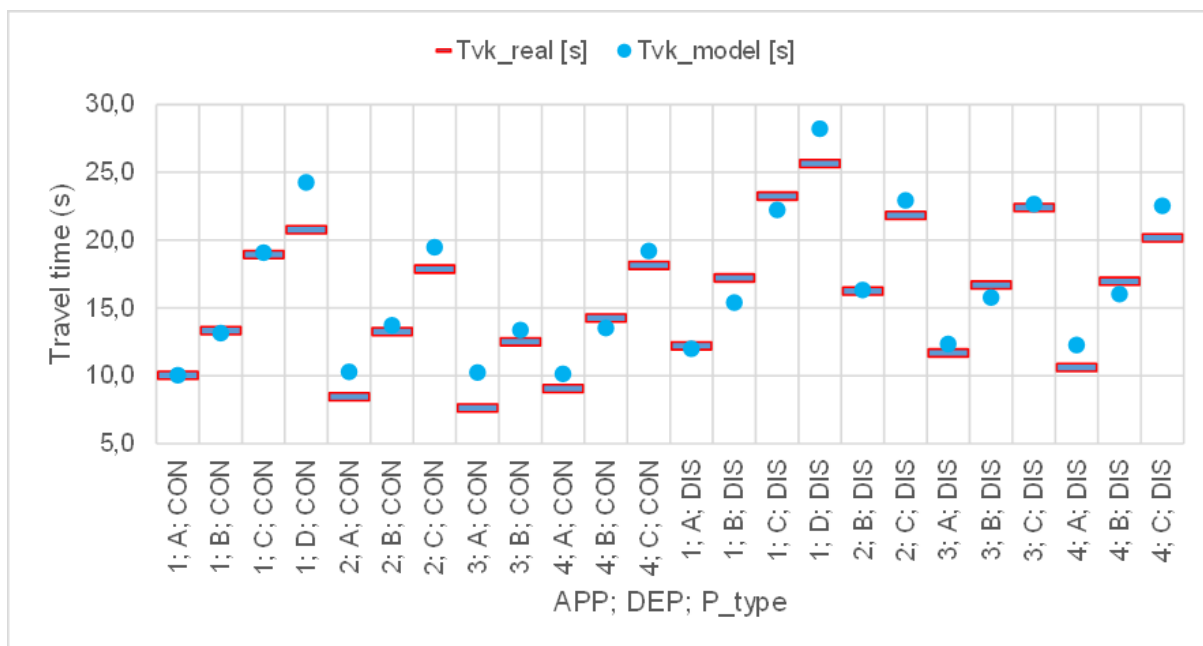
- Svk_{model} - Modelovana srednja brzina toka kroz raskrsnicu (km/h);
- Tvk_{model} - Modelovano prosječno vrijeme putovanja toka kroz raskrsnicu (s);
- L_{ent} - Dužina pređenog puta na ulivnom grlu (m), iznosi 20,0 m prema definisanoj metodologiji;
- L_{crc} - Dužina pređenog puta u kruženju (m);
- L_{ext} - Dužina pređenog puta na izlivnom kraku (m), iznosi 20,0 m prema definisanoj metodologiji, posmatra se u zavisnosti od odgovarajućeg manevra prolaska kroz raskrsnicu;

Posmatrani parametri Tvk_{model} i Svk_{model} utvrđeni su za sve realizovane tokove na posmatranoj test lokaciji. Podjela tokova izvršena je prema prilazu i tipu manevra na raskrsnici. Rezultati izmjerenih i modelovanih vrijednosti prikazani su u narednoj tabeli.

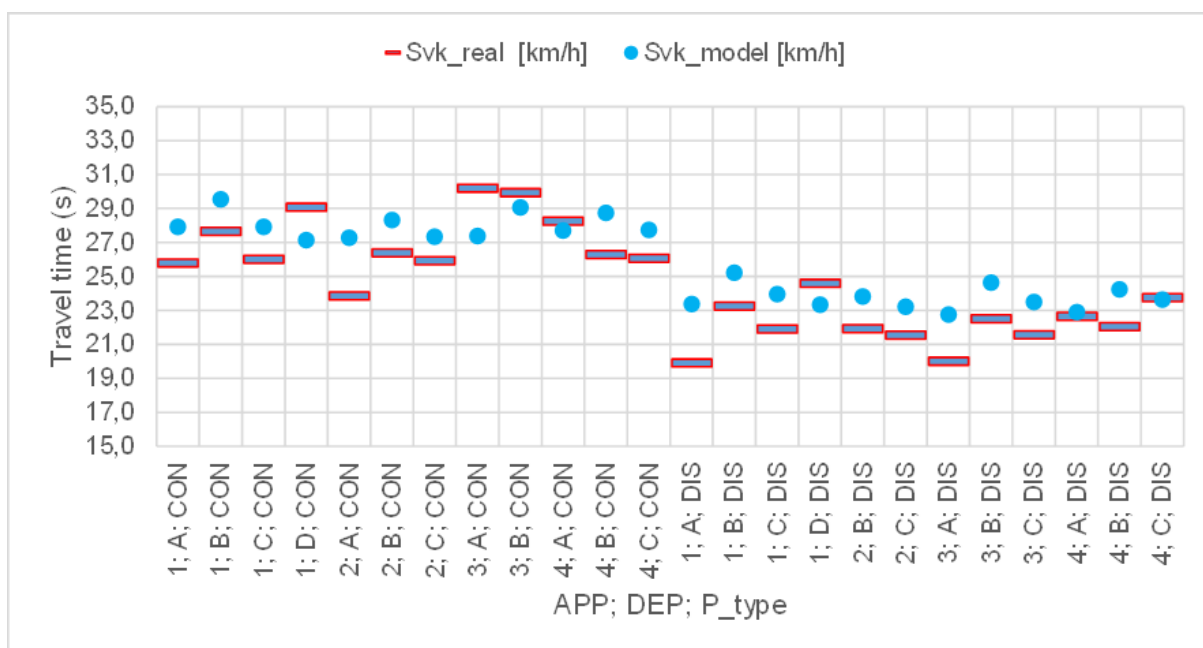
Tabela 7.11 Rezultati izmerenih i modelovanih vrednosti vremena putovanja toka i srednje brzine toka

N (vozila)	P_type	APP	DEP	Tvk_real [s]	Tvk_model [s]	Svk_real [km/h]	Svk_model [km/h]
16	CON	1	A	10,0	10,1	25,8	27,9
35	CON	1	B	13,3	13,2	27,6	29,6
27	CON	1	C	18,9	19,1	26,0	27,9
3	CON	1	D	20,7	24,3	29,1	27,1
1	CON	2	A	8,4	10,3	23,8	27,3
7	CON	2	B	13,3	13,7	26,4	28,3
9	CON	2	C	17,9	19,5	25,9	27,3
3	CON	3	A	7,6	10,3	30,2	27,4
15	CON	3	B	12,5	13,4	29,9	29,1
34	CON	4	A	9,0	10,1	28,2	27,7
21	CON	4	B	14,2	13,5	26,3	28,7
6	CON	4	C	18,1	19,2	26,1	27,7
12	DIS	1	A	12,2	12,0	19,9	23,4
20	DIS	1	B	17,2	15,4	23,2	25,2
36	DIS	1	C	23,2	22,2	21,9	24,0
2	DIS	1	D	25,6	28,2	24,6	23,3
12	DIS	2	B	16,2	16,3	21,9	23,8
11	DIS	2	C	21,8	22,9	21,5	23,2
8	DIS	3	A	11,7	12,3	20,0	22,8
17	DIS	3	B	16,7	15,8	22,5	24,6
2	DIS	3	C	22,4	22,7	21,6	23,5
28	DIS	4	A	10,6	12,3	22,6	22,9
12	DIS	4	B	17,0	16,0	22,0	24,3
12	DIS	4	C	20,2	22,5	23,8	23,6

Na sljedećim slikama dat je grafički prikaz modelovanih i izmjerenih vrijednosti za svaki tok i manevar (smijer) kretanja.



Slika 7.17 Odnos modelovanih i izmjerenih vrijednosti prosječnog vremena putovanja kroz raskrnicu



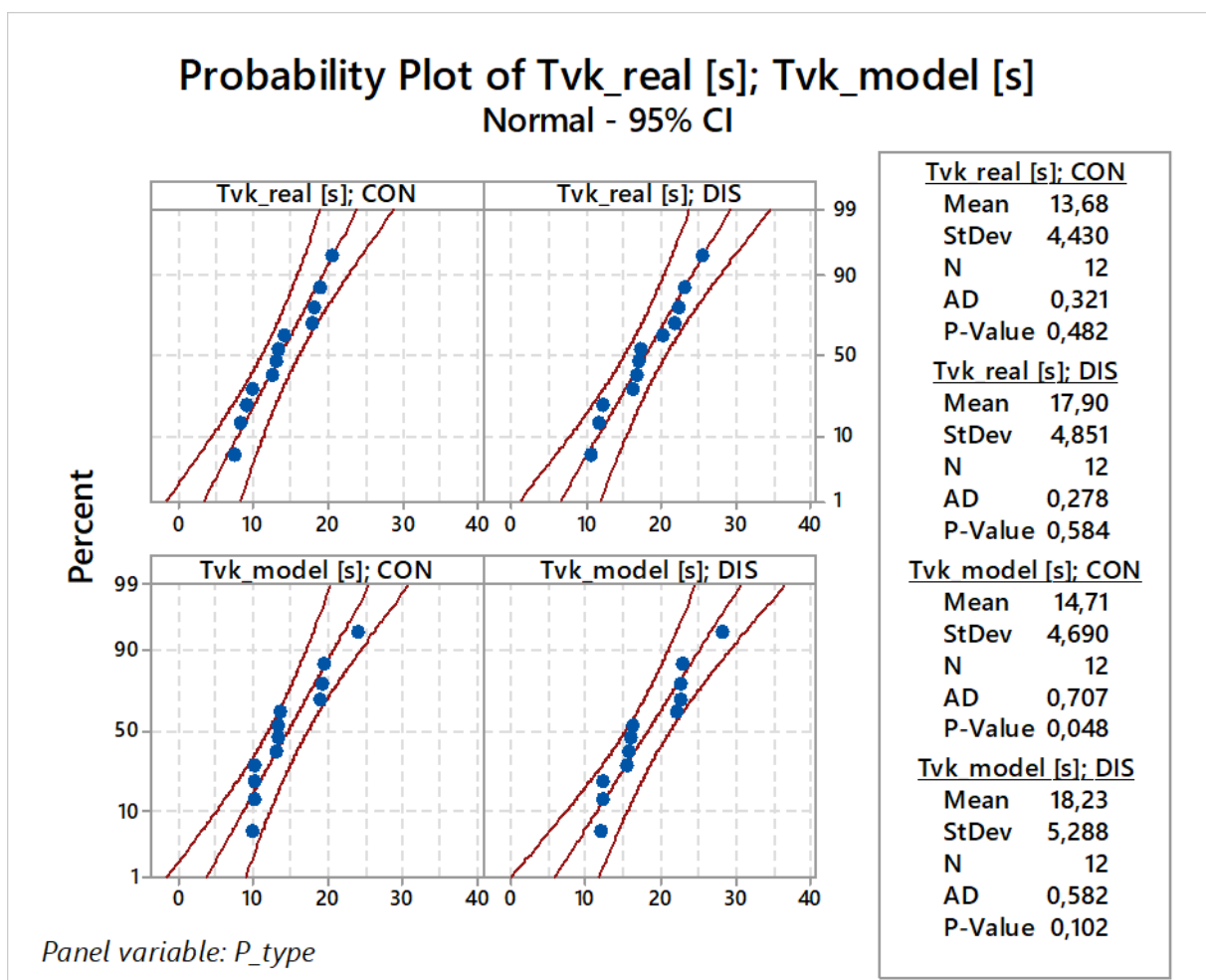
Slika 7.18 Odnos modelovanih i izmjerenih vrijednosti srednje brzine toka na raskrsnici

Na osnovu uporedne analize izmjerenih i modelovanih vrijednosti utvrđeno je sljedeće:

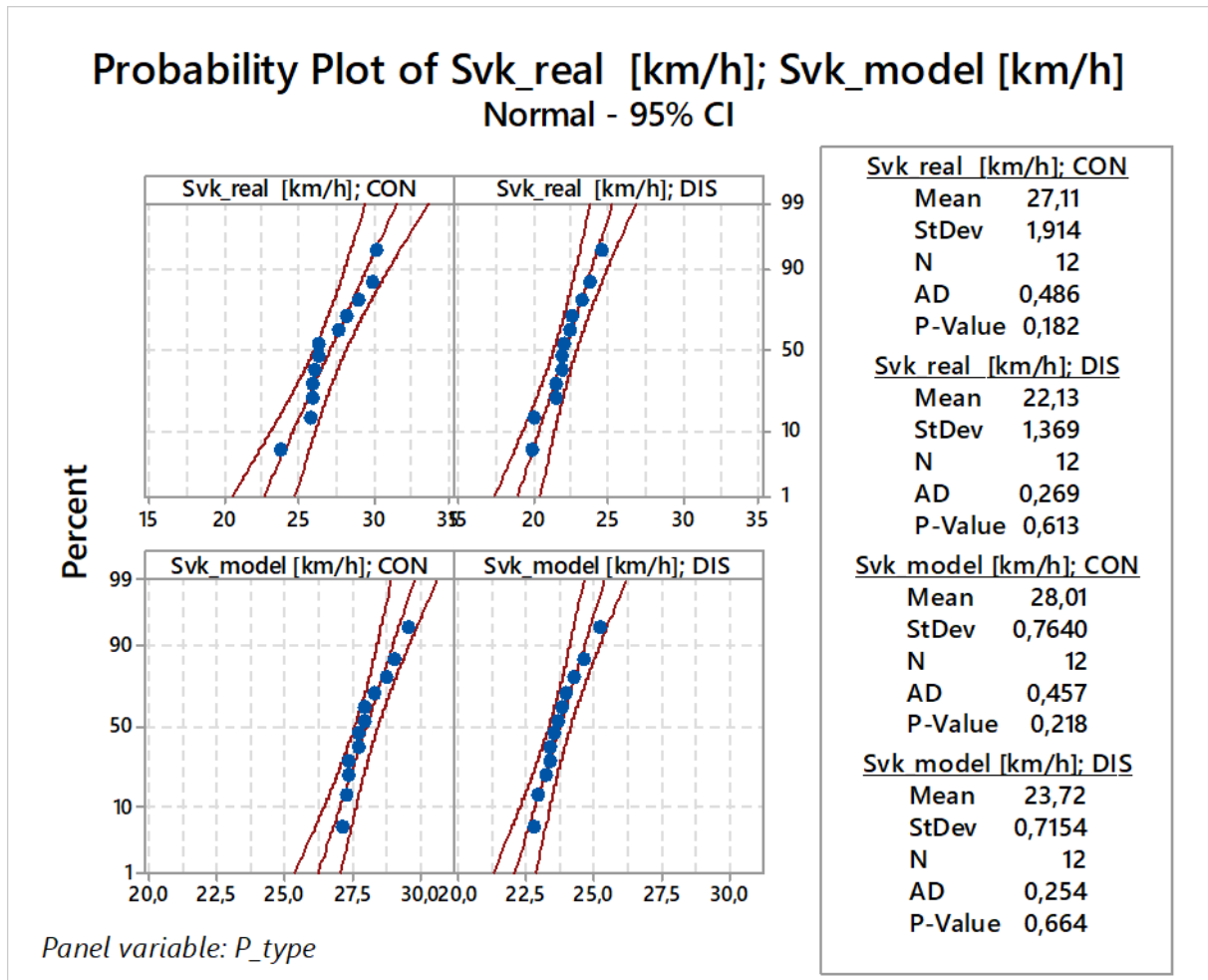
- prosječna vrijednost odstupanja realno izmjerene vrijednosti vremena putovanja kroz raskrnicu u odnosu na vrijednosti dobijene modelom za tokove neometanih vozila iznosi -1,04 s;
- prosječna vrijednost odstupanja realno izmjerene vrijednosti vremena putovanja kroz raskrnicu u odnosu na vrijednosti dobijene modelom za tokove ometanih vozila iznosi -0,33 s;

- prosečna vrijednosti odstupanja realno izmjerene vrijednosti srednje brzine toka u odnosu na vrijednosti srednje brzine toka na raskrsnici dobijene modelom za tokove neometanih vozila iznosi -0,90 km/h ;
- prosečna vrijednosti odstupanja realno izmjerene vrijednosti srednje brzine toka u odnosu na vrjednosti srednje brzine toka na raskrsnici dobijene modelom za tokove ometanih vozila iznosi -1,59 km/h;

Utvrđene razlike u brzinama ispitane su i statističkim testom. Za potrebe odabira testa prvobitno je ispitana saglasnost uzorka sa Normalnom raspodjelom. Na osnovu izvršene analize utvrđeno je da nije moguće odbaciti hipotezu da posmatrani uzorci imaju saglasnost sa Normalnom raspodjelom. Rezultati testa saglasnosti uzorka sa Normalnom raspodjelom prikazani su na sljedećim slikama.



Slika 7.19 Rezultat testa saglasnosti uzorka prosječnog vremena putovanja kroz raskrsnicu sa Normalnom raspodjelom



Slika 7.20 Rezultat testa saglasnosti uzorka srednje brzine toka na raskrsnici sa Normalnom raspodjelom

S obzirom na to da se ne može odbaciti pretpostavka da su uzorci saglasni sa Normalnom raspodjelom kao mjerodavan test za analizu razlike između realno izmjerenih i modelovanih vrijednosti izabran je upareni t-test srednjih vrijednosti. Ovaj test prikladan je za testiranje srednje vrijednosti između uparenih observacija, u slučaju kada one imaju saglasnost sa Normalnom raspodjelom. Upareni t-test uzima u obzir varijabilnost između parova koja obično dovodi do manje greške, čime se povećava osjetljivost testa hipoteze ili intervala pouzdanosti.

H_0 : ne postoji razlika između srednjih vrijednosti (μ) posmatranih obelježja ($\mu_1 - \mu_2 = 0$)

H_1 : postoji razlika između srednjih vrijednosti (μ) posmatranih obelježja ($\mu_1 - \mu_2 \neq 0$).

Rezultati uparenog t-testa prikazani su u narednim tabelama.

Tabela 7.12 Rezultati uparenog t-testa za vrijeme putovanja kroz kružnu raskrsnicu

Tip prolaska:		N	Mean	StDev	SE Mean
	CON	Tvk_real [s]	12	13,68	4,43
Tvk_model [s]		12	14,71	4,69	1,35
H ₀ testa		μ (Tvk_real) - μ (Tvk_model) = 0			
Utvrđena razlika		-1,037			
95% CI		(-2,130; 0,056)			
T-Test		T-vrednost = -2,95; P-vrednost = 0,013			
DIS			N	Mean	StDev
	Tvk_real [s]	12	17,90	4,85	1,40
	Tvk_model [s]	12	18,23	5,29	1,53
	H ₀ testa	μ (Tvk_real) - μ (Tvk_model) = 0			
	Utvrđena razlika	-0,332			
	95% CI	(-1,587; 0,922)			
	T-Test	T-vrednost = -0,82; P-vrednost = 0,428			

Tabela 7.13 Rezultati uparenog t-testa za srednju brzinu toka na raskrsnici

Tip prolaska:		N	Mean	StDev	SE Mean
	CON	Svk_real [s]	12	27,114	1,914
Svk_model [s]		12	2,012	0,764	0,221
H ₀ testa		μ (Svk_real) - μ (Svk_model) = 0			
Utvrđena razlika		-0,989			
95% CI		(-2,635; 0,839)			
T-Test		T-vrednost = -1,61; P-vrednost = 0,137			
DIS			N	Mean	StDev
	Svk_real [s]	12	22,132	1,369	0,395
	Svk_model [s]	12	23,722	0,715	0,207
	H ₀ testa	μ (Svk_real) - μ (Svk_model) = 0			
	Utvrđena razlika	1,590			
	95% CI	(-2,767; -0,412)			
	T-Test	T-vrednost = -4,19; P-vrednost = 0,002			

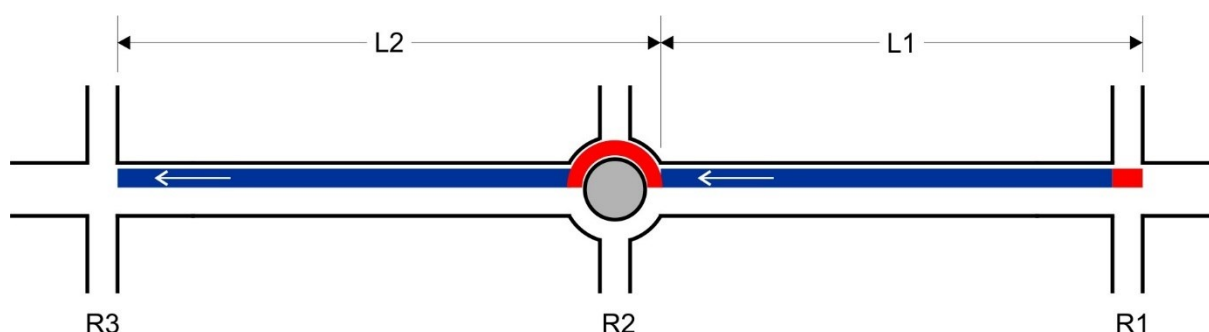
Na osnovu utvrđene p-vrijednosti testa za vrijeme putovanja kroz kružnu raskrsnicu za ometana vozila može se konstatovati da nije moguće odbaciti polaznu hipotezu da u ovom slučaju ne postoji statistički značajna razlika između realno izmjerenih vrijednosti i vrijednosti vremena putovanja dobijene modelom. P-vrijednost u testu za vrijeme putovanja kroz kružnu raskrsnicu za tokove neometanih vozila je ispod praga značajnosti $\alpha=0,05$ što znači da se polazna hipoteza o jednakosti srednjih vrijednosti može odbaciti, tj, postoji statistički značajna razlika. Sa druge strane, utvrđena razlika od 1,037 s sa praktičnog aspekta u postupku ocjene uslova odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama može biti zanemarena.

Na osnovu utvrđene p-vrijednosti testa za srednju brzinu toka neometanih vozila može se konstatovati da nije moguće odbaciti polaznu hipotezu da u ovom slučaju ne postoji statistički značajna razlika između realno izmjerenih vrijednosti i vrijednosti srednje brzine toka dobijene modelom. U slučaju testa za ocjenu razlike između realno izmjerene i modelovane vrijednosti srednje brzine toka ometanih vozila može se konstatovati da je p-vrijednost manja od zadatog praga značajnosti $\alpha=0,05$ odakle se može zaključiti da postoji statistički značajna razlika između testiranih obeležja. Sa druge strane, razlika u slučaju srednje brzine toka ometanih vozila iznosi 1,59 km/h što sa praktičnog aspekta predstavlja zanemarljivu razliku u postupcima za ocjenu uslova odvijanja saobraćaja.

Iz svega navedenog, nakon sprovedenih testova, može se doneti opšti zaključak da formirani model praktično daje zadovoljavajuće rezultate.

8 PRIMJENA MODELA NA GRADSKIM ARTERIJAMA

U skladu sa postojećom metodologijom (Highway Capacity Manual 6, 2016) kružne raskrsnice mogu biti tretirane kao čvorovi tj. kao granične raskrsnice na gradskim arterijama. U tom smislu kružna raskrsnica predstavlja sastavni element odsjeka gradske arterije. Na sljedećoj slici prikazan je princip definisanja dužine odsjeka (L1 i L2) na dijelu ulične mreže – pravca na kom postoji kružna raskrsnica.



Slika 8.1 Princip definisanja odsjeka gradske arterije prema postojećoj metodologiji HCM-a

Prema postojećoj metodologiji (Highway Capacity Manual 6, 2016) nivo usluge na gradskim arterijama određuje se na osnovu brzine putovanja polaznog toka na odsjeku $S_{T,seg}$. Sa druge strane ova brzina određuje se na osnovu utvrđene dužine odsjeka (L), vremena putovanja na odsjeku (t_R) i vremenskih gubitaka vozila prolaznog toka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (d_t), kao što je to prethodno i objašnjeno u poglavljima 2 i 3. U skladu sa postojećom metodologijom (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016) brzina vozila prolaznog toka na gradskim arterijama, izražena u metričkom sistemu mjernih jedinica, izračunava se na osnovu sljedeće jednačine (8-1).

$$S_{T,seg} = \frac{3,6 L}{t_R + d_t} \quad [km/h] \quad (8-1)$$

gdje je:

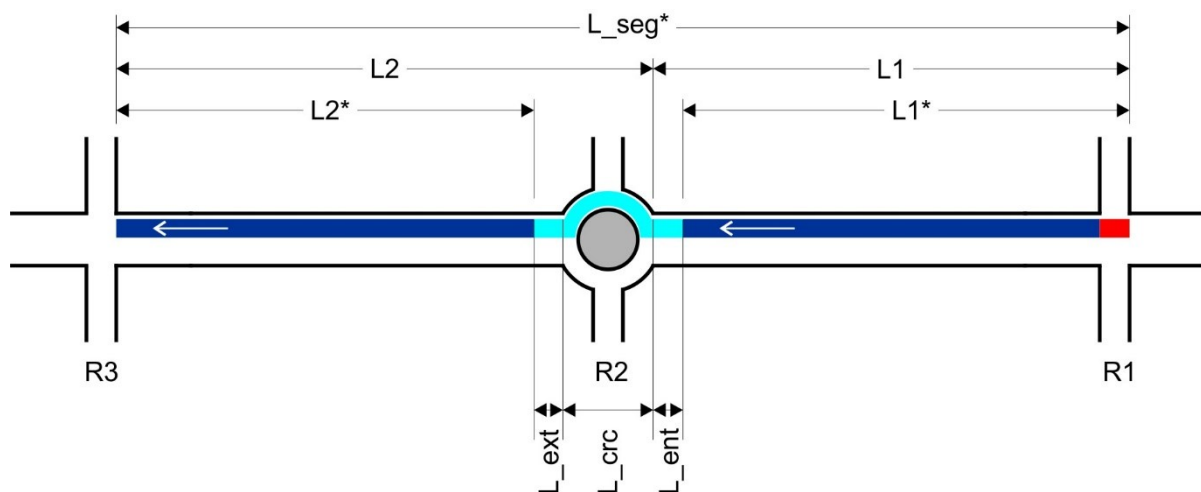
- $S_{T,seg}$ - Brzina putovanja prolaznog toka na segmentu (km/h);
- L - Dužina odsjeka (m);
- t_R - Vrijeme putovanja na odsjeku (s);
- d_t - Vremenski gubici prolaznog toka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (s).

Prema tome, ukoliko posmatramo šematski prikazanu gradsku arteriju (Slika 8.1) brzina putovanja na npr. odsjeku 1 bila bi izražena na osnovu utvrđenog vremena putovanja na dužini L1 i prosječnih vremenskih gubitaka vozila prolaznog toka na raskrsnici R2, dok bi za odsjek broj 2 mjerodavne vrijednosti bile dužina L2 i vremenski gubici prolaznog toka na raskrsnici R3. Vrijeme putovanja na odsjeku kao i vremenski gubici vozila prolaznog toka na graničnim

raskrnicama izračunavaju se po unapred utvrđenoj metodologiji, objašnjenom u prethodnim poglavljima, te u skladu sa tim neće biti predmet detaljnog razmatranja u ovoj analizi.

Predmetno istraživanje imalo je za cilj da pokaže uticaj geometrije kružne raskrsnice na nivo usluge na gradskim arterijama, odnosno na brzinu i vrijeme putovanja. Ako se posmatra način proračuna vremena putovanja na odsjeku (2-5) može se konstatovati da su kao geometrijske karakteristike saobraćajnice uzeta u obzir tip ulazne raskrsnice i broj saobraćajnih traka kroz vrijednost faktora gustine saobraćajnog toka (2-4). Međutim, u slučaju kada je granična raskrsnica kružnog tipa ne može se reći da su njene geometrijske karakteristike uzete u obzir prilikom proračuna vremena putovanja na odsjeku.

Teza na kojoj je zasnovano ovo istraživanje jeste posmatranje kružne raskrsnice kao sastavnog dijela odsjeka, ali ne kao granične raskrsnice nego kao dijela linka. U tom slučaju pored prosječnih vremenskih gubitaka koji nastaju na kružnoj raskrsnici u obzir moraju biti uzete brzina i vrijeme prolaska toka kroz kružnu raskrsnicu kao dio vremena putovanja na odsjeku uz uvažavanje geometrijskih karakteristika kružne raskrsnice. U skladu sa tim, ovaj koncept nazvan je „koncept ukupnog vremena putovanja“. Na sledećoj slici (Slika 8.2) prikazan je način definisanja elemenata segmenta gradske arterije sa kružnom raskrsnicom prema konceptu ukupnog vremena putovanja.



Slika 8.2 Princip definisanja odsjeka gradske arterije prema konceptu ukupnog vremena putovanja

Kao što se vidi na prethodnoj slici, osnovna razlika predloženog koncepta analize u odnosu na postojeću metodologiju zasniva se na uvažavanju promene brzine koja se javlja prilikom prolaska vozila kroz kružnu raskrsnicu. Postupak za proračun vremenskih gubitaka uzima u obzir samo čisto vreme čekanja na prilazu, ali ne i produženje vremena putovanja kroz kružnu raskrsnicu zbog promjene, odnosno smanjenja brzine kao posljedica uticaja specifične geometrije. U skladu sa definisanim konceptom ukupnog vremena putovanja, a uzimajući u obzir postojeću metodologiju, brzina prolaznog toka na gradskoj arteriji na kojoj kružna raskrsnica čini dio linka može se izraziti preko sljedeće jednačine:

$$S_{T,seg}^* = \frac{3,6 L_{seg}^*}{t_{R,1}^* + d_{t,R2} + Tv_{k,model} + t_{R,2}^* + d_{t,R3}} \quad [\text{km/h}] \quad (8-2)$$

$$t_{R,1}^* = \frac{6,0 - l_1}{0,0082 L1^*} f_x + \frac{3,6 L1^*}{S_f} f_v + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (8-3)$$

$$t_{R,2}^* = \frac{3,6 L2^*}{S_f} f_v + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (8-4)$$

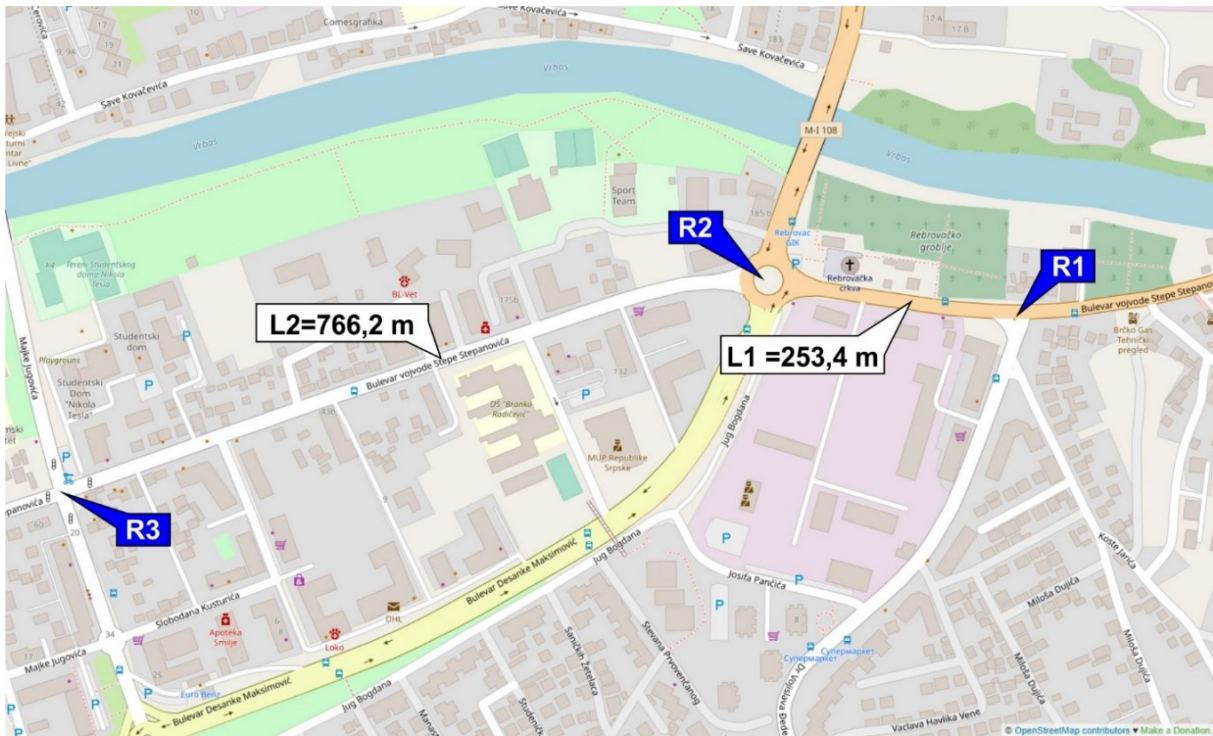
gdje je:

- $S_{T,seg}^*$ - Brzina putovanja prolaznog toka na segmentu na kom kružna raskrsnica čini dio linka (km/h);
- $t_{R,1}^*$ - Vrijeme putovanja na dijelu odsjeka prije kružne raskrsnice (s);
- $d_{t,R2}$ - Prosječni vremenski gubici prolaznog toka na kružnoj raskrsnici (s);
- $Tv_{k,model}$ - Modelovano prosječno vrijeme putovanja toka kroz kružnu raskrsnicu (s);
- $t_{R,2}^*$ - Vrijeme putovanja na dijelu odsjeka poslije kružne raskrsnice (s);
- $d_{t,R3}$ - Prosječni vremenski gubici prolaznog toka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (s);
- l_1 - Vremenski gubici na startu vozila: 2,0 s za signalisane raskrsnice; 2,5 s za nesignalisane raskrsnice;
- $L1^*$ - Dužina dijela odsjeka prije kružne raskrsnice (m) ($L1^* = L1 - L_{ent}$);
- $L2^*$ - Dužina dijela odsjeka poslije kružne raskrsnice (m) ($L2^* = L2 - L_{crc} - L_{ext}$);
- f_x - Faktor tipa ulazne granične raskrsnice (raskrsnica R1);
- S_f - Brzina slobodnog toka na posmatranom dijelu odsjeka (km/h);
- f_v - Faktor gustine saobraćajnog toka na posmatranom dijelu odsjeka;
- N_{ap} - Ukupan broj aktivnih pristupnih prilaza duž odsjeka;
- $d_{ap,i}$ - Ukupan broj aktivnih pristupnih prilaza duž posmatranog dijela odsjeka;
- d_{other} - Ostali vremenski gubici koji se mogu javiti na središnjem dijelu posmatranog dijela odsjeka (s).

8.1 Primjer primjene koncepta ukupnog vremena putovanja

Kako bi se na što bolji način pokazala mogućnost i značaj primjene proračuna nivoa usluge prema konceptu ukupnog vremena putovanja izvršena je uporedna analiza na konkretnom primjeru. Kao mjerodavni dio ulične mreže uzeta je deonica kojoj pripada prethodno izabrana test lokacija – raskrsnica R4: Bul. Desanke Maksimović – Bul. Vojvode Stepe Stepanovića.

Dionice koja je predmet analize pripada Bulevaru Vojvode Stepe Stepanovića, na dijelu između raskrsnica sa ulicama dr. Vojislava Đede Kecmanovića (raskrsnica sa oznakom R1) i Majke Jugovića (raskrsnica sa oznakom R3).



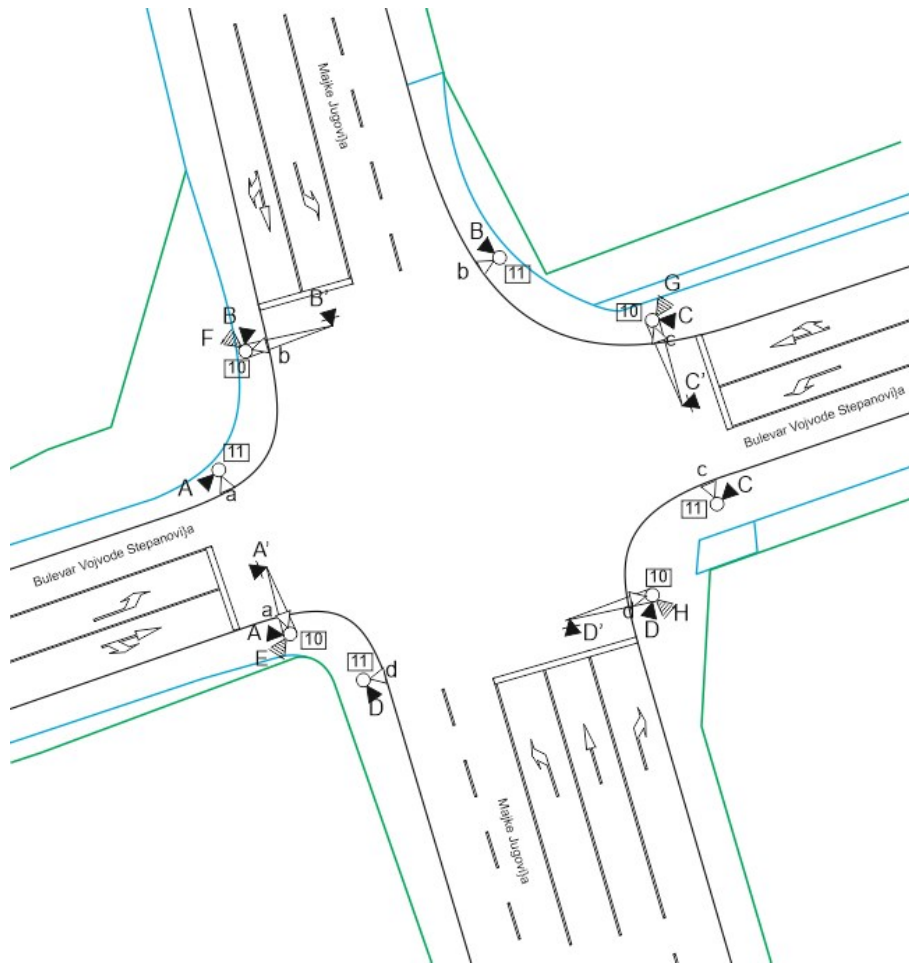
Slika 8.6 Položaj analiziranih raskrsnica i gradske arterije

Raskrsnica R1 Bulevar vojvode Stepe Stepanovića i Dr Vojislava Đede Kecmanovića predstavlja trokraku semaforisanu raskrsnicu. Zbog činjenice da je ona granična raskrsnica posmatranog odseka, i da kao takva nema uticaja na vrijeme putovanja za posmatrani smjer kretanja, ona neće biti predmet posebnih analiza.

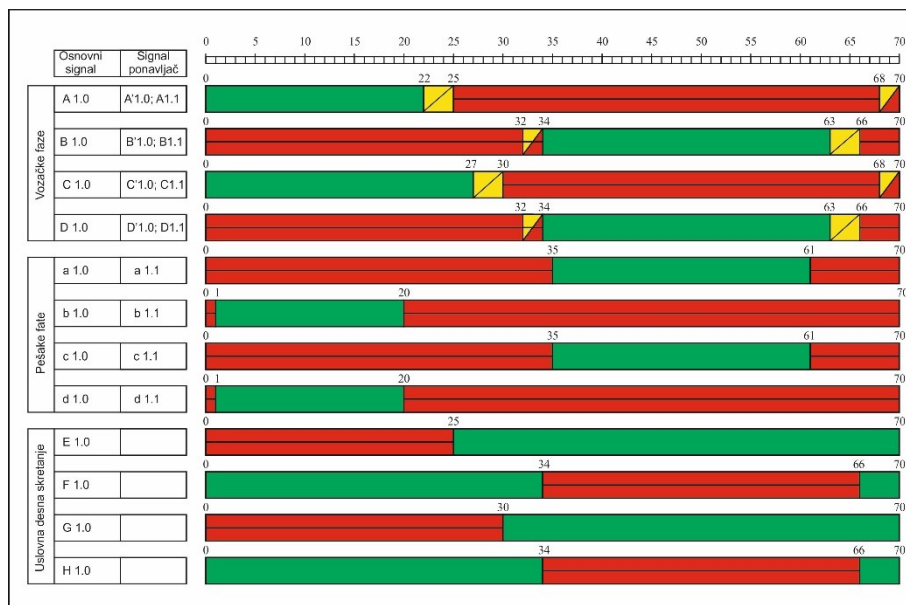
Raskrsnica označena kao R2, predstavlja kružnu raskrsnicu na kojoj se ukrštaju Bulevar vojvode Stepe Stepanovića sa Bulevarom Desanke Maksimović. Ova raskrsnica je prethodno bila predmet analiza i prilikom analiza u prethodnim poglavljima označena je oznakom R4, sa geometrijskim karakteristikama opisanim u poglavljima 5 i 6 i prikazana na ortofoto podlozi. Za ovu raskrsnicu izvršene su analize karakteristika saobraćajnog toka i proračun vremenskih gubitaka.

Raskrsnica R3 na kojoj se ukršta Bulevar Vojvode Stepe sa ulicom Majke Jugovića predstavlja četvorokraku signalisanu raskrsnicu. Dispozicija svjetlosnih signala i plan tempiranja za ovu raskrsnicu prikazani su na narednim slikama.

Uzimajući u obzir karakteristike sigalnog plana i veličinu zahteva za protokom koji je procenjen na osnovu izlaznog toka prilikom prethodnih analiza za raskrsnicu R2, utvrđeni su ukupni prosječni vremenskih gubici od $d_t = 25$ s.



Slika 8.3 Dispozicija svjetlosnih signala na raskrsnici Bulevar vojvode Stepe Stepanovića - Majke Jugovića



Slika 8.4 Plan tempiranja svjetlosnih signala na raskrsnici Bulevar vojvode Stepe Stepanovića - Majke Jugovića

Ukupna dužina posmatrane analizirane deonice iznosi 1.019,6 m od čega dužina odsjeka 1 koji se nalazi između raskrsnica R1 i R2 iznosi $L_1=253,4$ m, a dužina odsjeka 2 koji se nalazi između raskrsnica R2 i R3 iznosi $L_2=766,2$ m. Dužine odsjeka L1 i L2 određene su u skladu sa načinom koji je definisan HCM-om (Slika 8.1), a za potrebe analize posmatran je smjer od raskrsnice R1 ka raskrsnici R3.

Na osnovu prethodno utvrđenih parametara saobraćajnog toka i prema gore prikazanim relacijama utvrđene su vrijednosti promenljivih koje su neophodne za proračun nivoa usluge na gradskim arterijama. Prilikom analize, za brzine kretanja vozila na linku usvojena je brzina koja odgovara nivou usluge raskrsnice koja ulazi u postupak analize.

Za potrebe utvrđivanja nivoa usluge na analiziranim saobraćajnicama definisane su granične vrijednosti za baznu vrijednost brzine u slobodnom toku koja iznosi 55 km/h. Uzimajući u obzir kriterijume za definisanje nivoa usluge na osnovu bazne brzine slobodnog toka i usvojenu vrijednost ove brzine, kvalitativna ocijena uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama može se klasifikovati na način prikazan u narednoj tabeli (Garunović, N., 2020)

Tabela 8.1 Kriterijumi za definisanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama (BFFS = 55 km/h)

LOS	A	B	C	D	E	F
$S_{T,seg}$ (km/h)	55 – 44	44 – 37	37 – 28	28 – 22	22 – 17	17 – 0

Rezultati analize i vrednosti parametara koji su proračunati prema metodologiji (Highway Capacity Manual 6, 2016) prikazani su tabelarno u narednoj tabeli.

Tabela 8.2 Ključni rezultati analize uslova odvijanja saobraćaja na posmatranoj dionici prema postojećoj metodologiji

Odsek 1				Odsek 2			
L1 (m)	$t_{R,1}$ (s)	$d_{t,R2}$ (s)	$S_{T,seg1}$ (km/h)	L2 (m)	$t_{R,2}$ (s)	$d_{t,R3}$ (s)	$S_{T,seg2}$ (km/h)
253,4	19,1	7,6	32,1	766,2	86,9	25,0	31,5
LOS: C				LOS: C			

Na osnovu utvrđenih vrijednosti može se konstatovati da ukupno prosječno vrijeme putovanja na dionici između posmatranih raskrsnica R1 i R3 iznosi 107,6 s. Uzimajući u obzir ukupnu dužinu dionice i ukupno vrijeme putovanja može se reći da prosječna brzina toka na posmatranoj deonici između raskrsnica R1 i R3 iznosi 31,6 km/h, što odgovara nivou usluge C. Rezultati analize prema predloženom konceptu, sa istim vrednostima parametara kao u prethodnoj analizi prikazani su u narednoj tabeli. Za potrebu određivanja dužina L_1^* i L_2^* rastojanja koja prelaze vozila prolaznog toka u kružnoj raskrsnici imaju sljedeće vrijednosti: $L_{ent} = 20,0$ m, $L_{crc} = 68,0$ m, $iL_{ext} = 20,0$ m. Prilikom utvrđivanja prosječnog vremena putovanja toka kroz kružnu raskrsnicu uzet je u obzir izmjereni procenat ometanih i neometanih vozila koji u konkretnom slučaju iznosi 47% neometanih vozila u toku, odnosno 53% ometanih vozila u toku (Tabela 7.11).

Tabela 8.3 Ključni rezultati analize uslova odvijanja saobraćaja na posmatranoj dionici prema konceptu ukupnog vremena putovanja

L1* (m)	t _{R,1} * (s)	d _{t,R2} (s)	Tvk _{model} (s)	L2*(m)	t _{R,2} * (s)	d _{t,R3} (s)	S _{T,seg} * (km/h)
233,4	28,8	7,6	14,7	678,2	55,5	25,0	27,9
LOS: D							

Na osnovu utvrđenih rezultata dobijenih prema predloženom konceptu ukupno vrijeme putovanja iznosi 131,6 s što je za 18,2% veće od ukupnog vremena dobijeno primjenom klasičnih postupaka, kao i smanjenja brzina sa 31,6 km/h na 27,9 km/h, odnosno za 11,7%. Zbog uvećanog vremena putovanja i smanjenja brzine, analizom prema predloženom konceptu dobija se niži nivo usluge D, u odnosu na nivo usluge C koji se dobija primenom metodologije (Highway Capacity Manual 6, 2016).

Prema tome, na osnovu rezultata sprovedene analize u prethodnom primjeru može se zaključiti da postoje značajne razlike u vremenu putovanja i brzini na odsjecima arterija ukoliko se proračun vrši prema predloženom konceptu u odnosu na rezultate koji se dobijaju primjenom metodologije preporučene u priručniku (Highway Capacity Manual 6, 2016).

9 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Kružne raskrsnice na kojima je saobraćaj regulisan po principu prioriteta za tokove u zoni kruženja se od 80-tih godina prošlog vijeka, ravnopravno sa drugim tipovima raskrsnica, implementiraju praktično na sve dijelove putne i ulične mreže. Na početku primjene, kružne raskrsnice su se uglavnom koristile na sekundarnoj uličnoj mreži, ali su zbog pozitivnih efekata primjene vrlo brzo počele da se primenjuju i na gradskim arterijama. Za potrebe planiranja i regulisanja saobraćaja, odnosno u operativnoj i planskoj analizi, efekti primjene kružnih raskrsnica na arterijama se analiziraju primjenom klasičnih metoda, bez uvažavanja specifičnih uslova odvijanja saobraćaja koje generiše geometrija kružnih raskrsnica. Mnoga istraživanja još od kraja prošlog vijeka su na objektivnan način pokazala da kružne raskrsnice utiču na brzinu saobraćajnog toka, odnosno da imaju efekat usporivača, što nije karakteristično za ostale tipove površinskih raskrsnica. Klasične metode za analizu uslova odvijanja saobraćaja ne uzimaju u obzir smanjenje brzine, odnosno ne razmatraju promjene brzine na prilazima, zoni kruženja i izlivnim grlima kružnih raskrsnica, odnosno efekte i uticaj kružnih raskrsnica na vrijeme putovanja gradskim arterijama. U cilju stvaranja alata za objektivnu analizu efekata primjene kružnih raskrsnica na gradskim arterijama i uslove odvijanja saobraćaja, istraživanja u okviru ove doktorske disertacije bila su orijentisana na analizu uticaja kružnih raskrsnica i njenih osnovnih geometrijskih elemenata na promjenu brzine. Za razliku od klasične metode koja se trenutno najčešće primenjuje u postupcima analiza (Highway Capacity Manual 6, 2016) istraživanja su bila usmjerena na sve segmente kružnih raskrsnica kako bi u daljem postupku analize bili obuhvaćene sve promjene brzine.

U prvom koraku, izvršeno je istraživanje u realnom saobraćajnom toku na četiri kružne raskrsnice sa različitim geometrijskim elementima. Uticaj geometrije elemenata kružne raskrsnice je bio predmet različitih istraživanja, međutim u okviru ovog rada, pored geometrijskih elemenata uzet je u obzir i uticaj saobraćajnog toka, odnosno interakcije sa ostalim vozilima na kružnoj raskrsnici, odnosno ometanja koja su rezultat interakcije. Za istraživanje u realnom saobraćajnom toku izabrana je tzv fotografska metoda iz razloga što se svi potencijalni uticaji primene ove metode istraživanja na ponašanje vozača i saobraćajni tok u potpunosti eliminišu. Za razliku od prethodnih istraživanja, u okviru ovog rada istraživanje karakterističnih brzina obradom prethodno sačinjenog video zapisa vršeno je na ulivnom segmentu, zoni kruženja i izlivnom segmentu na više uzastopnih presjeka primenom softverskog alata „DataFromaSky Viewer“. Rezultat ovako sprovedene analize su bila dva statistični obrađena reprezentativna uzorka karakterističnih brzina na segmentima raskrsnice, za ometana i neometana vozila.

Nakon formiranja baze podataka o karakterističnim brzinama, izdvojeno je 14 geometrijskih parametara kružne raskrsnice koji potencijalno mogu imati uticaj na brzinu na segmentima

kružne raskrsnice, kao i međusobni uticaj brzina. Višestrukom regresionom analizom formirani su modeli za proračun:

- Srednje brzine saobraćajnog toka na prilazu kružne raskrsnice u kome figuriše tip dolaska, broj saobraćajnih traka na prilazu, širina saobraćajne trake na prilazu, širina ulaza i radijus ulaza,
- Srednje brzine toka na ulivnom grlu kružne raskrsnice u kome figuriše srednja brzina toka na prilazu, tip dolaska i radijus ulaza,
- Srednje brzine toka u zoni kruženja u kome figuriše srednja brzina toka na ulivnom grlu, spoljni prečnik kružne raskrsnice i broj saobraćajnih traka u zoni kruženja.
- Srednje brzine toka na ulivnom grlu kružne raskrsnice u kome figuriše srednja brzina toka u kruženju i broj traka na izlivnom grlu.

Za svaki model data su ograničenja i u skladu sa njima opisana je mogućnost primjene predloženih modela u postupcima analiza.

U cilju objektivizacije analize uticaja kružnih raskrsnica na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim arterijama definisan je novi koncept analize vremena putovanja i brzine na odsjecima arterija. U poređnom analizom uslova odvijanja saobraćaja na izabranom odsjeku gradske arterije prema predloženom konceptu i primjenom metodologije (Highway Capacity Manual 6, 2016) utvrđene su značajne razlike u vremena putovanja i brzini, odnosno nivou usluge.

Sprovedenim istraživanjima potvrđene su osnovne hipoteze, odnosno da geometrija i prostorna distribucija zahteva za protokom utiču na brzinu saobraćajnog toka na kružnoj raskrsnici, kao i na brzinu i uslove odvijanja saobraćaja na gradskoj arteriji kojoj kružna raskrsnica pripada.

Dalja istraživanja trebala bi biti usmerena na širu zonu prilaza kružnih raskrsnica od one koja je obuhvaćena analizom u okviru ovog rada. Naime, sprovedena analiza nije mogla obuhvatiti širu zonu prilaza zbog ograničenog prostora koji je bio obuhvaćen video zapisom sačinjenim iz drona. Rezultati analiza brzina na početku prilaza ukazuju na činjenicu da su prosječni vozači na početku prilaza već bili u režimu usporavanja, odnosno da su usporavanje započinjali pre definisanog početka prilaza. Pored toga, u narednim istraživanjima potrebno je razmotriti uticaj strukture saobraćajnog toka na brzinu po segmentima raskrsnice, kao i uticaje pješaka i biciklista.

LITERATURA

- (HA), Highways Agency. (2017). *Geometric Design of Roundabouts. Design Manual of Roads and Bridges*.
- Ahac S., Džambas, T., Dragčević, V. (2016). Review of fastest path procedures for single-lane roundabouts. *The 4th International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA)*. Šibenik: Department of Transportation, Faculty of Zagreb.
- Akcelik R., Besley M. (2001). Microsimulation and analytical methods for modelling urban traffic. *Paper presented at the Conference on Advance Modeling Techniques and Quality of Service in Highway Capacity Analysis*. Truckee, California, USA.
- Akcelik, R. (2002). Estimating negotiation radius, distance and speed for vehicles using. *24th conference of Australian Institutes of Transport Research*. Sydney: University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Akçelik, R. (2011). Some common and differing aspects of alternative models for roundabout capacity and performance estimation. *International roundabout conference, Transportation Research Board*. Carmel, Indiana, USA.
- Alhajyaseen W.K.M., Asano M., Nakamura H. (2013). Stochastic approach for modeling the effects of intersection geometry on turning vehicle paths. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 32, 179-192.
- Almoarawi M., D. E. (2018). Predicting Operating Speeds at Urban Multilane in Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Journal of Advanced Transportation*.
- Al-Ohmari B.H., Ghuzlan K.A., Al-Helo L.B. (2014). Modeling through traffic speed at roundabouts along urban and suburban street arterials. *Journal of the Transportation Research Forum*, 7-19.
- Arndt, O. (1998). Road design incorporating fundamental safety parameters: conflicts, relative speed, progressive design speed reduction. *Technology Transfer Forum*. Brisbane, Queensland, Australia.
- AUSTROADS. (1993). *Guide to Traffic Engineering Practice, Part 6 - Roundabouts*. Sydney, Australia: AUSTROADS.
- B. W. Robinson, L. Rodegerds, W. Scarborough, W. Kittelson, R. Troutbeck, W. Brilon, L. Bondizo, K. Courage, M. Kyte, J. Mason, W. Flannery, E. Myers, J. Bunker and G. Jacquemart. (2000). *"Roundabouts: An informational guide; report No. FHWA-RD-00-067,"*. Washington DC. U.S.A.: U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.
- Bastos Silva, A. V. (2014a). Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 111*, 137 - 146.

- Bastos Silva, A., Seco, A., (2005). *Trajectory deflection influence on the performance of roundabouts*. Strasbourg, France: European Transport Conference (ETC) Association for European Transport.
- Bezina, Š., Dragičević, V., Stančerić I., (2019). Approach Alignment Impact on the Geometric Design of Urban Roundabouts. *AIIIT 2nd International Congress on Transport Infrastructure and Systems in a changing world (TIS Roma 2019)* (str. 700-707). Rome, Italy: Transportation Research Procedia.
- Bogdanović, V. (2005). *Prilog proučavanju kapaciteta i nivoa usluge na trokrakim i kružnim prioritetnim raskrscnicama po novom konceptu*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., & Han, L. D. (2013). Toward a Capacity Analysis Procedure for Nonstandard Two-Way Stop-Controlled Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2395, 132-138.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., Han, L. (2014). Toward a Capacity Analysis Procedure for Nonstandard Two-Way Stop-Controlled Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2395, 132 - 138.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić Z., Simeunović M., (2013,). The Research of Vehicle Acceleration at Signalized Intersections, *Promet Traffic & Transportation, ISSN 0353-5320, Vol 25,* 33-42.
- Bonneson, J. A., M. P. Pratt, and M. A. Vandehey. (2008). *Predicting the Performance of Automobile Traffic on Urban Streets: Final Report. National Cooperative Highway Research Program Project 3-79*. Texas: Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station.
- Brewer, M., Murillo, D., & Pate, A. (2014). *Handbook for Designing Roadways for the Aging Population*. US Department of transportation - Federal Highway Administration. Report FHWA-SA-14-015, pp. 41-44.
- Brilon, W., Koenig, R., Troutbeck, R. J. (1999). Useful estimation procedures for critical gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33,, 161-186.
- Brown, M. (1995). *The design of roundabouts*. London: Transport Research Laboratory.
- Chen, Y., Persaud, B., Lyon, C. (2011). Effect of speed on roundabout safety performance – implications for use of speed as a surrogate measure. *Transportation Research Board 90th Annual Meeting*. Washington DC, United States: Transportation Research Board.
- Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, E. (2013). Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed. *Accidents Analysis and Prevention*, 196-203.
- Cheng, J., Yang, X., Deng, W., & Huang, X. (2008). Driver's Critical Gap Calibration at Urban Roundabouts: A Case Study in China. *Thinghua Science and Technology, Vol. 13 (2)*, 237-242.
- Conway, H., Roenisch, R. (2006). *Understanding Architecture: An Introduction to Architecture and Architectural History*.
- CROW. (1993). *"Signup for the bike; Design manual for a cycle- friendly infrastructure"*,. The Netherlands: Center for standardization in Civil Engineering .
- Daniels, S., Wets, G. (2005). *Traffic Safety Effects Of Roundabouts: A Review With Emphasis On Bicyclist's Safety*. Helsinki, Finland: 18th ICTCT workshop.
- Davidović S., Bogdanović V., Garunović N., Papić Z., Pamučar D. (2021). Research on Speeds at Roundabouts for the Needs of Sustainable Traffic Management. *Sustainability*.

- (2007). *Design Manual for Roads and Bridges, vol. 6, section 2, part 3*. U. K. Department of Transport.
- Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2017). Geometric design of turbo roundabouts. *Tehnički vjesnik - Technical gazette*, 309-318.
- FHWA. (2000). *Roundabouts: An informational Guide*. United States Federal Highway Administration's.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen -FGSV-, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln. (2006). *Merkblatt für die Anlage von kleinen Kreisverkehren*. Köln: FGSV Verl.
- Fortuijn, L. G. H. (2009a). Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance. *Transportation Research Record*, 2096, 16-24.
- Fortuijn, L. G. (2009b). Turbo Roundabouts: Estimation of Capacity. *Transportation Research Record* 2130, 83-92.
- Gallelli, V., Vaiana, R., Iuele, T.,. (2014). Comparison between simulated and experimental crossing speed profiles on roundabout with different geometric features. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* , 117-126.
- Garunović, N. (2020). *Model za utvrđivanje uticaja izdvojenih nesignalisanih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica - doktorska disertacija*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad.
- Garunović, N. (2020). *Model za utvrđivanje uticaja izdvojenih nesignalisanih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica - doktorska disertacija*. Novi Sad.
- Gazzarri, A., Martello, M. T., Pratelli, A., Souleyrette, R. R. (2013). Gap Acceptance Parameters for HCM 2010 Roundabout Capacity Model Applications in Italy. *Transport systems and traffic engineering (1)*, 1-6.
- Goodwin, L. C. (2002). *Weather Impacts on Arterial Traffic Flow*. Fairview Park: Mitretek systems inc.
- Greenshields, B.D. (1933). The Photographic Method of studying Traffic Behaviour. *Proceedings of the 13th Annual Meeting of the Highway Research Board*.
- Guichet, B. (1997). Roundabouts in France: Development, Safety, Design, and Capacity. *3rd International Symposium on Intersections Without Traffic Signals*, (str. pp. 100-105). Portland.
- Guichet, Bernard. (2008). French Roundabouts Today. *National Roundabout Conference of Transportation Research Board* (str. pp 43). Kansas: National Roundabout Conference of Transportation Research Board.
- Hammond, H. F. and Sorenson, L. J. (1941.). *Traffic Engineering Handbook*., New York,,: Institute of Traffic Engineers and National Conservation Bureau,.
- Hammond, S., Hunter, C, Chang, K. (2014). The Effect of Additional Lane Length on Double-Lane Roundabout Operation. *Journal of Transportation of the Institute of Transportation Engineers*.
- Hammond, S., Rat, A., Delle Monache, M.L., Piccoli, B. (2018). Operational Performance of a Double-Lane Roundabout with Additional Lane Length Design: Lighthill-Whitham-Richards Model Analysis. *TRB 2018 - Transportation Research Board 97th Annual Meeting*, (str. 1-14). Washington, D.C., United States.

- Harders, J. (1968). *Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkehrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]*. Bonn: Bundesminister für Verkehr.
- Highway Capacity Manual*. (1965). Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (1985). Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (1994). Washington: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (2000). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual*. (2010). Washington D.C: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual 6*. (2016). Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Highway Capacity Manual Edition 6*. (2016). Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Jensen, S. U. (2014). *Safety Effects of Height of Central Islands, Sight Distances*. Lyngby, Denmark: Trafitec.
- KDOT. (2003). *Kansas Roundabout Guide, A supplement to FHWA's Roundabouts: An Informational Guide (Chapter 6. Geometric design)*. Kansas.
- Kuzović, Lj. (2000). *Kapacitet i nivo usluge drumskih saobraćajnica*. Beograd: Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Laurence, C. B. (1980). MIHE: Roundabouts: Evolution, Revolution, and the Future. *The Highway Engineer* (str. 2-9). London: Industrial Newspapers.
- Lazar, Ronald L. Wasserstein & Nicole A. (2016). The ASA Statement on. *The American Statistician*, 129-133.
- Maletin, M. (2009). *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*. Beograd: Orion art.
- Maletin, M. (2009). *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
- Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. (2009). Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Manual, ODOT Highway Design. (2012). *White Paper, Roundabout Entrance and Exit Geometry*. Oregon: Oregon Department of Transportation.
- Mehmood, A., Easa. S. M. (2006). Optimizing Geometric Design of Roundabouts: Multi-Objective Analysis. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 33, No. 1, 29-44.
- Ministarstvo građevinarstva, s. i. (2017). *Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji*. Beograd, Republika Srbija: "Službeni glasnik Republike Srbije", broj 85/17.
- Montella A., Turner S., Chiaradonna S., Aldridge D. (2012). Proposals for Improvement of the Italian Roundabout Geometric Design Standard. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 189-202.
- Montella, A. (2011). Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and. *Accident Analysis and Prevention* 43, 1451–1463.

- Montella, A., Turner, S., Chiaradonna, S., Aldridge, D. (2013). International overview of roundabout design practices and insights for improvement of the Italian standard. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1215-1226.
- Mussone, L. (2013). The analysis of roundabouts through visibility. *SIDT Scientific Seminar 2012* (str. 250 - 268). Milano: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 87.
- NACTO. (2012). *Urban street design guide*. New York: National Association of City Transportation Officials.
- (2010). *NCHRP report 672, Roundabouts: An informational Guide, Second Edition*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Niittymäki, J., P.G. Höglund. (1999). Estimating Vehicle Emissions and Air Pollution related to Driving Patterns and Traffic Calming. *Urban Transport Systems Conference*. Lund, Sweden: Urban Transport Systems Conference.
- Nikolic, G, Pringle, R., Bragg, K. (2010). *Evaluation of analytical tools used for the operational analysis of roundabouts*. Halifax, New Scotia: Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- Petz, D. (1985). Quasi-entropies for States of a von Neumann Algebra. *RIMS, Kyoto University*, 787-800.
- Polus, A. V. (2005). *Evaluation of Roundabouts versus Signalized and Unsignalized Intersections in Delaware*. Delaware, USA: The Delaware Department of Transportation.
- Pratelli, A. L. (2019). Mini-roundabouts for Improving Urban Accessibility. *Explorations in Technology Education Research*, 333-382.
- Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji. (2012). Beograd, Republika Srbija: Javno preduzeće Putevi Srbije.
- Putevi Srbije, J. p. (2012). *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, Odeljak 5.3. - Kružne raskrsnice*. Beograd: JP Putevi Srbije.
- Rabinow, P. (1995). *French Modern: Norms and Forms of the Social Environment*. Chicago: University of Chicago Press.
- Robinson, B et al. (2000). *"Roundabout an information guide, 2000", Report No. FHWA-RD-00-67*. Washington, D.C.: Washington, D.C: Federal Highway Administration.
- Robinson, B., & Rodegerdts, L. (2000). *Capacity and Performance of Roundabouts: A Summary of*.
- Rodegerdts, L. A., A. Malinge, P. S. Marnell, S. G. Beard, M. J. Kittelson, and Y. S. Mereszczak. (2015). *Assessment of Roundabout Capacity Models for the Highway Capacity Manual: Volume 2 of Accelerating Roundabout Implementation in the United States, Report FHWA-SA-15-070*. Washington, D.C: Federal Highway Administration.
- Rodegerdts, L. B. (2010). *Roundabouts: An informational guide. Report 672 - Second Edition*. Washington DC, USA: Transportation Research.
- Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., & O'Brien, A. (2010). *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 672 Roundabouts: An Informational Guide (2nd ed.)*. Washington D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.

- Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., i drugi. (2010). *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 672 Roundabouts: An Informational Guide (2nd ed.)*. Washington D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.
- (2005). *Roundabout Design Standards - A Section of the Traffic Engineering Policy & Design*. City of Colorado Springs - Transportation Engineering.
- Saccomanno, F. F., Cunto, F., Guido, G., Vitale, A. (2008). Comparing Safety at. *Journal of the Transportation Research Board* 2078, 90-95.
- Siegloch, W. (1973). Die leistungsermittlung an knotenpunkten ohne lichtsignalanlagen (Capacity calculations at unsignalized intersections). *Series Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*.
- Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima u BiH. (2005). Sarajevo/Banja Luka, Bosna i Hercegovina: Javno preduzeće Putevi Republike Srpske Banja Luka, Javno preduzeće Ceste Federacije Bosne i Hercegovine Sarajevo.
- Stover, V.G. (2008). Issues relating to the geometric design of intersections. *Proceedings of the 8th International Conference in ACCESS Management*. Baltimore, MD, USA.
- Strickland, I.R. (1947). A study of Merging Vehicular Traffic Movements. *Bureau of Highway Traffic*, 81 - 85.
- Šurdonja, S., Dragčević, V., Deluka-Tibijaš A. (2018). Analyses of maximum-speed path definition at single-lane roundabouts. *Journal of traffic and transportation engineering*, 83-95.
- Thai Van M, B. P. (2013). Design of roundabouts in France. *Transportation Research Record*, pp. 92-97.
- Todd, K. (1988). A History of Roundabouts in the United States and France Vol 42, No. 4. *Transportation Quarterly*. Westport CT: Eno Foundation.
- Tolazzi, T. (2004). The Contribution to the Procedure of Capacity Determination at Unsignalized Priority-controlled Intersections. *Promet – Traffic – Traffico, Vol. 16 (1)*, 31-36.
- Trueblood, M., Dale, J. (2003). Simulating Roundabouts With VISSIM. *2nd Urban Street Symposium: Uptown, Downtown, or Small Town: Designing Urban Streets* (str. 11p). Anaheim, California: Transportation Research Board.
- Vaiana R., Gallelli V., Iuele T. (2013). Methodological Approach for Evaluation of Roundabout Performances through Microsimulation. *Applied Mechanics and Materials, vol. 1956*, 253-255.
- Varhelyi, A. (2002). The Effects of Small Roundabouts on Emissions and Fuel Consumption: A Case Study. *Transportation Research Part D, Vol. 7*, pp. 65-71.
- Vasconcelos, A. L., Seco, A. J., & Silva, A. M. (2013). Comparison of Procedures to Estimate Critical Headways at Roundabouts. *Promet - Traffic & Transportation, Vol. 25 (No. 1)*, 43-53.
- Velth G., Arndt O. (2011). *Guide to Road Design Part 4B: Roundabouts*. Sydney: Austroads.
- Vincenzo, G., Rosolino, V., Teresa, I. (2014). Comparison between simulated and experimental crossing speed profiles on roundabout with different geometric features. *EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation* (str. 117-126). Porto, Portugal: Procedia - Social and Behavioral Sciences 111 .

- Wallwork. (1996). "Modern Roundabouts", *For the Roundabout Design Workshop*. Montpelier.
- Wanga, W., & Yangb, X. (2012). Research on Capacity of Roundabouts in Beijing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 157-168. doi:10.1016/j.sbspro.2012.04.088
- Weinert, A. (2000). Estimation of critical gap and follow-up time at rural unsignalized intersections in Germany. *Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity* (str. 409-421). Maui, Hawaii: Transportation Research Board of The National Research Council.
- wikipedia. (2020). https://en.wikipedia.org/wiki/Columbus_Circle.
- wikipedia. (2020). https://en.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A8ne_H%C3%A9nard#CITEREFRabinow1995.
- WisDOT. (2011). *Facilities Development Manual, Chapter 11, section 26*. Wisconsin: Wisconsin Department of Transportation.
- WisDOT. (2011). *Roundabout Designs, Chapter 11, section 26, Facilities Development*. Wisconsin : Wisconsin Department of Transportation.
- Wu, N. (1999). Capacity of shared-short lanes at unsignalized in-tersections. *ELSE-VIER, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 33, Issues 3-4*, 255-274.
- Wu, N. (2006). Capacity Enhancement and Limitation at Roundabouts with Double-Lane or Flare Entries. *5th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service: Technical Papers, Vol. 2*. Yokohama, Japan: Japan Society of Traffic Engineers.
- Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima. (2009). Beograd, Srbija: "Službeni glasnik Republike Srbije", br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - Odluka Ustavnog suda, 55/2014, 96/2015 - dr.zakon, 9/2016 - Odluka Ustavnog suda, 24/2018, 41/2018 i 41/2018 - dr. zakon.
- Zakon o osnovama bezbjednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini. (2006). Sarajevo, Bosna i Hercegovina: "Službeni glasnik Bosne i Hercegovine", br. 06/06, 75/06, 44/07, 84/09, 48/10, 18/13, 08/17, 09/18.
- Zegeer, C.V., Seiderman, C., Langerway, P., Cynecki, M., Ronkin, M., & Schneider, R. (2002). *Pedestrian facilities user guide: Providing safety and mobility*. Washington D.C.: Federal Highway Administration Office of Safety Research and Development.
- Zhou, Y., Lu, J. J., Mierzejewski, E. A., & Le, X. (2000). Development of Driver Population Factor for Capacity Analysis of Signalized Intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1710* (str. 239-245). Washington, D.C.: TRB, National Research Council.
- Zong Z. Tian, F. X. (2007). *Roundabout Geometric Design Guidance California Department of Transportation Division of Research & Innovation*. Federal Report # F/CA/RI-2006/13 .

PRILOG

Prilog 1 Rezultati statističke obrade brzina na raskrsnicama – deskriptivna statistika

Descriptive Statistics: S_app

Variable	INT	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	R1	83	0	16,233	0,646	5,882	7,289	12,165	15,409	20,025	34,037
	R2	280	0	28,531	0,391	6,538	10,790	24,150	28,700	33,455	50,840
	R3	180	0	20,699	0,432	5,802	8,210	16,863	19,865	24,475	36,530
	R4	271	0	27,434	0,420	6,915	7,380	22,239	27,647	32,086	45,488

Descriptive Statistics: S_app

S_app	- Brzina vozila na rilazu raskrnsici[km/h]
CON	- Kretanje vozila konstantnom brzinom
DIS	- Kretanje vozila sa ometanjem
APP	- Prilaz na sa kog vozilo dolazi do raskrsnice

Results for INT = R1; APP = 1

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	DIS	7	0	16,48	2,89	7,66	9,62	11,61	15,23	18,72	32,48

Results for INT = R1; APP = 2

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	CON	5	0	23,46	2,87	6,41	18,70	19,00	20,28	29,52	34,04
	DIS	33	0	14,199	0,626	3,595	7,789	11,452	14,743	16,158	21,289

Results for INT = R1; APP = 3

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	CON	8	0	25,232	0,868	2,456	22,071	23,438	24,644	27,137	29,745
	DIS	14	0	18,16	1,34	5,00	9,69	13,42	17,74	21,87	26,30

Results for INT = R1; APP = 4

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	DIS	16	0	11,875	0,759	3,035	7,289	8,959	12,186	14,077	17,290

Results for INT = R2; APP = 2; Entry lane = 1

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app	CON	26	0	32,078	0,963	4,908	19,420	28,950	31,975	35,250	41,460
	DIS	42	0	24,569	0,732	4,743	16,090	20,710	24,900	26,903	36,460

Results for INT = R2; APP = 2; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	48	0	30,516	0,878	6,082	20,100	26,298	30,950	33,547	50,840
DIS	43	0	23,919	0,973	6,383	10,790	19,370	24,000	29,200	34,980

Results for INT = R2; APP = 4; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	22	0	34,48	1,18	5,54	24,68	29,51	34,91	38,74	42,99
DIS	40	0	28,332	0,913	5,773	16,500	24,070	28,560	33,203	39,230

Results for INT = R2; APP = 4; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	20	0	32,87	1,20	5,38	24,21	28,60	32,77	36,70	44,30
DIS	39	0	27,696	0,894	5,581	14,860	24,330	28,000	30,600	41,670

Results for INT = R3; APP = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	14	0	28,71	1,28	4,77	19,28	24,72	29,81	32,20	35,36
DIS	21	0	23,602	0,931	4,266	17,360	18,875	24,560	26,950	30,950

Results for INT = R3; APP = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	16	0	26,08	1,12	4,48	18,84	22,19	26,99	28,21	36,53
DIS	24	0	21,34	1,29	6,31	9,44	17,97	20,98	25,54	32,95

Results for INT = R3; APP = 3

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	26	0	22,439	0,565	2,882	18,070	20,383	21,715	24,192	30,140
DIS	48	0	15,548	0,513	3,555	8,210	12,592	15,465	18,852	22,060

Results for INT = R3; APP = 4

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	8	0	21,18	1,19	3,38	16,87	18,48	20,39	24,05	27,03
DIS	23	0	17,371	0,461	2,212	13,060	15,850	17,370	19,360	21,430

Results for INT = R4; APP = 1; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	21	0	34,220	0,709	3,248	28,219	31,493	34,575	36,978	40,767
DIS	20	0	28,89	1,58	7,06	17,03	22,49	30,27	33,35	43,54

Results for INT = R4; APP = 1; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	25	0	36,337	0,967	4,837	24,078	33,970	35,939	39,483	45,488

DIS 27 0 24,13 1,11 5,79 14,66 19,75 21,48 29,41 39,47

Results for INT = R4; APP = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	23	0	26,708	0,755	3,620	22,011	24,388	26,522	28,248	38,340
DIS	30	0	19,38	1,07	5,83	7,38	15,75	18,56	23,71	31,02

Results for INT = R4; APP = 3; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	8	0	29,85	2,08	5,88	24,08	24,76	28,25	36,03	39,50
DIS	11	0	26,08	1,14	3,77	15,99	24,67	27,65	28,16	29,29

Results for INT = R4; APP = 3; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	18	0	30,87	1,33	5,63	21,79	27,23	30,13	33,62	43,51
DIS	22	0	25,42	1,22	5,74	7,64	21,90	25,45	29,34	32,84

Results for INT = R4; APP = 4; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	15	0	28,49	1,21	4,67	21,84	23,02	29,27	32,72	35,34
DIS	13	0	22,67	1,42	5,11	8,95	20,76	22,62	26,58	29,42

Results for INT = R4; APP = 4; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_app CON	25	0	29,122	0,800	3,998	22,206	26,733	28,846	31,003	40,491
DIS	13	0	22,451	0,853	3,076	19,253	19,933	21,094	25,796	27,756

Descriptive Statistics: S_ent

Variable	INT	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent R1	83	0	17,892	0,525	4,788	8,393	14,983	17,389	20,888	33,495	
R2	280	0	19,634	0,509	8,511	3,440	12,900	18,770	26,268	51,250	
R3	180	0	18,667	0,402	5,387	3,410	16,340	19,420	22,423	32,140	
R4	271	0	21,591	0,449	7,386	2,497	15,174	22,063	26,807	39,149	

Descriptive Statistics: S_ent

S_ent - Brzina vozila na ulivnom grlu raskrsnice[km/h]
 CON - Kretanje vozila konstantnom brzinom
 DIS - Kretanje vozila sa ometanjem
 APP - Prilaz na sa kog vozilo dolazi do raskrsnice

Results for INT = R1; APP = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent DIS	7	0	15,50	1,31	3,46	10,44	12,47	15,69	18,18	20,63

Results for INT = R1; APP = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	5	0	23,73	2,69	6,02	19,12	19,41	20,78	29,52	33,50

DIS 33 0 17,371 0,688 3,955 9,496 15,554 17,563 20,958 22,886

Results for INT = R1; APP = 3

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	8	0	24,80	1,17	3,32	20,73	21,78	23,93	28,51	29,10
DIS	14	0	16,48	1,34	5,03	8,39	12,44	15,98	20,45	26,45

Results for INT = R1; APP = 4

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent DIS	16	0	15,974	0,532	2,130	12,647	13,846	16,370	17,301	20,187

Results for INT = R2; APP = 2; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	26	0	28,703	0,763	3,889	21,660	25,057	28,075	32,150	35,720
DIS	42	0	13,684	0,725	4,701	6,300	10,078	13,025	16,580	25,050

Results for INT = R2; APP = 2; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	48	0	28,381	0,796	5,518	20,850	24,375	27,025	31,027	51,250
DIS	43	0	15,844	0,595	3,901	8,600	13,940	15,130	19,430	26,170

Results for INT = R2; APP = 4; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	22	0	28,26	1,04	4,89	20,27	24,40	27,70	31,75	41,41
DIS	40	0	13,265	0,773	4,888	3,440	9,482	13,500	16,718	23,080

Results for INT = R2; APP = 4; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	20	0	25,793	0,985	4,406	19,310	22,360	25,325	28,805	36,340
DIS	39	0	11,912	0,731	4,568	3,500	8,620	11,670	15,490	20,100

Results for INT = R3; APP = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	14	0	24,767	0,706	2,643	21,010	22,552	24,085	26,380	30,510
DIS	21	0	15,157	0,694	3,181	8,430	12,360	15,660	17,640	19,670

Results for INT = R3; APP = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	16	0	23,153	0,911	3,643	17,340	20,598	23,250	25,705	31,900
DIS	24	0	13,97	1,13	5,52	3,41	9,34	16,23	18,70	23,50

Results for INT = R3; APP = 3

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	26	0	22,945	0,487	2,481	20,090	21,153	22,605	24,262	32,140
DIS	48	0	18,465	0,532	3,687	5,750	16,767	18,515	20,797	25,140

Results for INT = R3; APP = 4

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	8	0	21,044	0,770	2,179	18,090	18,903	21,060	22,692	24,600
DIS	23	0	14,69	1,14	5,47	7,80	9,37	14,74	20,13	22,98

Results for INT = R4; APP = 1; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	21	0	28,017	0,861	3,945	20,169	24,928	28,319	30,983	34,362
DIS	20	0	16,772	0,885	3,957	10,389	14,199	15,757	19,169	24,980

Results for INT = R4; APP = 1; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	25	0	29,677	0,780	3,899	24,657	26,261	29,312	33,235	37,347
DIS	27	0	16,749	0,765	3,973	6,687	14,544	17,629	19,033	23,363

Results for INT = R4; APP = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	23	0	25,061	0,542	2,599	21,187	22,749	25,161	26,807	31,092
DIS	30	0	15,415	0,779	4,269	7,371	12,096	14,450	19,366	22,362

Results for INT = R4; APP = 3; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	8	0	27,86	1,47	4,15	23,96	24,53	26,45	32,70	34,26
DIS	11	0	13,39	1,14	3,79	6,22	9,91	13,59	15,38	20,12

Results for INT = R4; APP = 3; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	18	0	28,17	1,29	5,47	16,74	24,79	27,97	32,52	39,15
DIS	22	0	13,86	1,14	5,34	2,50	10,11	12,81	17,89	23,97

Results for INT = R4; APP = 4; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	15	0	25,964	0,884	3,422	21,086	22,746	25,706	28,202	33,200
DIS	13	0	15,82	1,18	4,24	11,67	12,89	14,23	18,83	26,71

Results for INT = R4; APP = 4; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ent CON	25	0	28,090	0,878	4,390	22,229	24,711	28,053	31,193	38,493
DIS	13	0	16,52	1,06	3,84	11,74	12,50	16,67	19,61	23,84

Descriptive Statistics: S_crc

Variable	INT	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc	R1	83	0	20,820	0,285	2,594	15,790	18,712	20,542	22,301	29,524
	R2	280	0	23,382	0,293	4,904	15,395	20,293	22,358	25,578	51,850

R3 180 0 22,613 0,255 3,418 10,080 20,508 22,608 24,919 31,850
 R4 271 0 25,830 0,239 3,928 13,336 23,142 25,866 28,036 38,195

Descriptive Statistics: S_crc

S_crc - Brzina vozila u kruženju[km/h]
 CON - Kretanje vozila konstantnom brzinom
 DIS - Kretanje vozila sa ometanjem
 DEP - izlazni krak raskrsnice na kom vozilo završava kretanje

Results for INT = R1; DEP = A

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 2 0 24,88 4,64 6,56 20,24 * 24,88 * 29,52
 DIS 18 0 20,388 0,676 2,868 15,790 18,225 19,832 22,153 27,202

Results for INT = R1; DEP = B

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 8 0 22,595 0,975 2,759 19,676 20,496 21,692 24,269 28,057
 DIS 40 0 20,696 0,358 2,267 16,823 18,594 20,641 22,456 26,129

Results for INT = R1; DEP = C

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 2 0 19,84 1,73 2,44 18,11 * 19,84 * 21,57
 DIS 12 0 19,986 0,484 1,677 17,833 18,262 20,032 21,188 22,984

Results for INT = R1; DEP = D

passing SE
 Variable type N N* Mean Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 1 0 23,200 * * 23,200 * 23,200 * 23,200

Results for INT = R2; DEP = A; Entry lane = 2

passing SE
 Variable type N N* Mean Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc DIS 1 0 16,020 * * 16,020 * 16,020 * 16,020

Results for INT = R2; DEP = B; Entry lane = 1

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 21 0 27,82 1,05 4,79 21,18 24,67 25,93 32,04 40,14
 DIS 21 0 21,569 0,733 3,360 15,710 19,073 21,930 24,157 26,895

Results for INT = R2; DEP = B; Entry lane = 2

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 54 0 28,770 0,773 5,678 18,910 25,064 28,538 30,866 51,850
 DIS 63 0 22,318 0,463 3,677 15,395 20,300 22,150 24,700 32,125

Results for INT = R2; DEP = C; Entry lane = 1

passing
 Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
 S_crc CON 22 0 22,997 0,472 2,215 19,080 21,387 22,915 24,478 27,480
 DIS 46 0 20,187 0,356 2,415 15,417 18,533 19,945 21,587 27,590

Results for INT = R2; DEP = C; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	14	0	23,313	0,493	1,843	19,503	22,392	23,130	25,058	25,793
DIS	12	0	20,406	0,417	1,444	18,420	18,852	20,743	21,579	22,597

Results for INT = R2; DEP = D; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	5	0	21,191	0,502	1,122	20,372	20,376	20,977	22,114	23,103
DIS	15	0	19,949	0,332	1,286	17,803	18,993	20,163	21,090	22,580

Results for INT = R2; DEP = D; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc DIS	6	0	20,519	0,573	1,404	18,155	19,563	20,640	21,779	21,913

Results for INT = R3; DEP = A

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	15	0	24,565	0,935	3,623	20,490	20,930	24,010	27,080	31,850
DIS	35	0	21,207	0,813	4,811	10,080	18,090	21,340	24,770	29,980

Results for INT = R3; DEP = B

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	35	0	25,124	0,346	2,048	19,770	24,035	25,135	26,460	29,115
DIS	57	0	21,572	0,337	2,545	15,585	19,865	21,305	23,320	27,355

Results for INT = R3; DEP = C

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	12	0	23,693	0,547	1,894	20,820	21,800	23,845	24,919	26,833
DIS	23	0	21,542	0,438	2,098	16,953	20,403	21,390	23,370	24,803

Results for INT = R3; DEP = D

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	2	0	25,731	0,631	0,893	25,100	* 25,731	* 26,363		
DIS	1	0	19,503	*	*	19,503	* 19,503	* 19,503		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 0

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	3	0	25,54	3,31	5,73	20,29	20,29	24,67	31,65	31,65
DIS	1	0	25,965	*	*	25,965	* 25,965	* 25,965		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 1

passing SE

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_crc CON	1	0	22,398	*	*	22,398	* 22,398	* 22,398		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
---------------	---	----	------	---------	-------	---------	----	--------	----	---------

S_crc CON 39 0 28,824 0,699 4,364 20,165 26,060 27,966 31,321 38,195
DIS 27 0 20,344 0,644 3,346 13,336 18,016 21,065 22,045 27,724

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 0

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 13 0 26,703 0,497 1,792 23,530 25,696 26,714 27,998 30,053
DIS 16 0 25,066 0,902 3,609 21,002 22,199 25,075 26,324 35,553

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 1

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 22 0 27,440 0,528 2,478 23,070 25,510 27,238 29,432 32,649
DIS 19 0 24,898 0,551 2,402 20,803 23,139 24,781 27,203 29,278

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 2

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 24 0 29,693 0,592 2,902 25,076 27,308 29,669 32,513 34,893
DIS 30 0 24,252 0,407 2,231 19,628 22,831 24,222 25,809 28,461

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 0

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 7 0 26,376 0,736 1,947 22,656 25,959 26,480 28,407 28,494
DIS 12 0 24,208 0,758 2,625 20,305 22,283 24,022 26,531 29,061

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 1

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 20 0 26,874 0,504 2,255 22,860 24,475 27,143 28,862 30,777
DIS 22 0 24,157 0,340 1,593 22,048 22,684 23,731 25,470 26,880

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 2

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 5 0 29,008 0,871 1,948 26,207 27,254 28,827 30,852 30,875
DIS 4 0 23,63 1,46 2,92 21,08 21,43 22,82 26,66 27,82

Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 0

passing SE
Variable type N N* Mean Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc DIS 1 0 32,582 * * 32,582 * 32,582 * 32,582

Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 1

passing
Variable type N N* Mean SE Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc CON 1 0 26,762 * * 26,762 * 26,762 * 26,762
DIS 3 0 25,017 0,501 0,868 24,442 24,442 24,593 26,015 26,015

Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 2

passing SE
Variable type N N* Mean Mean StDev Minimum Q1 Median Q3 Maximum
S_crc DIS 1 0 18,470 * * 18,470 * 18,470 * 18,470

Descriptive Statistics: S_ext

Variable	INT	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	R1	83	0	26,724	0,594	5,413	16,080	23,725	26,461	30,223	42,782
	R2	280	0	31,469	0,461	7,721	15,590	25,670	31,410	37,993	50,620
	R3	180	0	27,926	0,399	5,350	15,400	23,618	27,645	31,620	41,370
	R4	271	0	32,988	0,350	5,760	20,049	28,562	32,822	36,655	48,390

Descriptive Statistics: S_ext

Results for INT = R1; DEP = A

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	2	0	25,808	0,0411	0,0581	25,767	* 25,808	* 25,849		
	DIS	18	0	26,26	1,28	5,45	16,89	20,62	26,39	31,01	36,69

Results for INT = R1; DEP = B

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	8	0	29,79	1,71	4,83	24,24	25,88	29,17	32,24	39,62
	DIS	40	0	25,868	0,906	5,728	16,080	21,348	25,045	29,693	42,782

Results for INT = R1; DEP = C

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	2	0	24,499	0,210	0,297	24,288	* 24,499	* 24,709		
	DIS	12	0	28,78	1,47	5,08	20,68	24,70	28,65	33,20	36,47

Results for INT = R1; DEP = D

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	1	0	26,373	*	*	26,373	* 26,373	* 26,373		

Results for INT = R2; DEP = A; Entry lane = 2

passing SE

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	DIS	1	0	22,360	*	*	22,360	* 22,360	* 22,360		

Results for INT = R2; DEP = B; Entry lane = 1

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	21	0	37,56	2,06	9,46	15,59	36,00	38,72	44,34	48,00
	DIS	21	0	31,61	1,74	7,99	16,69	24,12	33,38	38,56	41,10

Results for INT = R2; DEP = B; Entry lane = 2

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	54	0	35,254	0,948	6,970	17,390	30,730	36,190	39,918	50,620
	DIS	63	0	32,160	0,998	7,922	16,210	26,270	34,050	38,600	45,700

Results for INT = R2; DEP = C; Entry lane = 1

passing

Variable	type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext	CON	22	0	28,18	1,05	4,90	19,19	23,99	26,93	33,29	36,01
	DIS	46	0	27,445	0,708	4,801	16,420	23,712	27,480	29,928	41,630

Results for INT = R2; DEP = C; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	14	0	25,702	0,837	3,130	21,010	22,475	25,915	28,275	30,490
DIS	12	0	25,52	1,06	3,66	18,32	23,79	26,34	28,78	29,06

Results for INT = R2; DEP = D; Entry lane = 1

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	5	0	33,17	4,20	9,39	17,31	24,67	37,34	39,59	39,68
DIS	15	0	33,40	1,91	7,41	15,81	27,84	34,24	38,88	43,62

Results for INT = R2; DEP = D; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext DIS	6	0	31,86	4,27	10,46	16,62	20,28	35,03	41,48	41,52

Results for INT = R3; DEP = A

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	15	0	29,05	1,52	5,90	18,94	23,80	28,90	35,47	39,12
DIS	35	0	26,96	1,13	6,68	15,40	21,45	26,90	31,20	40,46

Results for INT = R3; DEP = B

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	35	0	30,172	0,680	4,021	20,870	26,640	29,950	32,910	37,930
DIS	57	0	27,549	0,662	4,998	20,740	23,290	27,130	31,310	41,370

Results for INT = R3; DEP = C

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	12	0	29,04	1,27	4,39	20,05	26,02	29,26	32,35	35,38
DIS	23	0	25,89	1,05	5,06	18,31	21,99	25,73	30,35	37,11

Results for INT = R3; DEP = D

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	2	0	27,00	3,71	5,25	23,28	* 27,00	* 30,71		
DIS	1	0	23,340	*	* 23,340	* 23,340	* 23,340	* 23,340		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 0

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	3	0	30,25	1,60	2,77	28,27	28,27	29,06	33,42	33,42
DIS	1	0	31,389	*	* 31,389	* 31,389	* 31,389	* 31,389		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 1

passing SE

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
S_ext CON	1	0	26,316	*	* 26,316	* 26,316	* 26,316	* 26,316		

Results for INT = R4; DEP = A; Entry lane = 2

passing

Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
---------------	---	----	------	---------	-------	---------	----	--------	----	---------

S_ext	CON	39	0	35,445	0,784	4,895	24,549	32,425	35,480	38,334	48,161
	DIS	27	0	29,79	1,01	5,26	20,05	25,95	29,13	33,24	39,77

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 0

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	13	0	30,840	0,995	3,589	24,531	28,542	30,092	34,184	36,231
	DIS	16	0	29,95	1,31	5,23	21,32	25,42	29,86	34,47	39,69

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 1

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	22	0	35,61	1,22	5,73	26,25	31,92	34,11	39,59	47,61
	DIS	19	0	35,79	1,10	4,81	28,45	31,13	35,40	40,28	43,42

Results for INT = R4; DEP = B; Entry lane = 2

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	24	0	34,30	1,31	6,43	24,16	28,23	34,23	39,71	46,34
	DIS	30	0	31,655	0,963	5,277	23,551	27,548	31,561	34,730	43,844

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 0

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	7	0	37,09	2,70	7,13	28,64	31,27	36,28	44,59	48,39
	DIS	12	0	37,24	1,61	5,58	28,70	32,11	37,36	41,81	46,58

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 1

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	20	0	30,89	1,05	4,71	25,62	27,27	29,11	34,31	40,85
	DIS	22	0	30,877	0,904	4,241	22,320	27,817	31,042	34,201	36,878

Results for INT = R4; DEP = C; Entry lane = 2

passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	5	0	34,43	1,62	3,62	31,47	31,85	33,36	37,54	40,56
	DIS	4	0	24,49	1,30	2,60	21,37	21,87	24,84	26,76	26,91

Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 0

passing											
SE											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	DIS	1	0	44,444	*	* 44,444	* 44,444	* 44,444	* 44,444		

Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 1

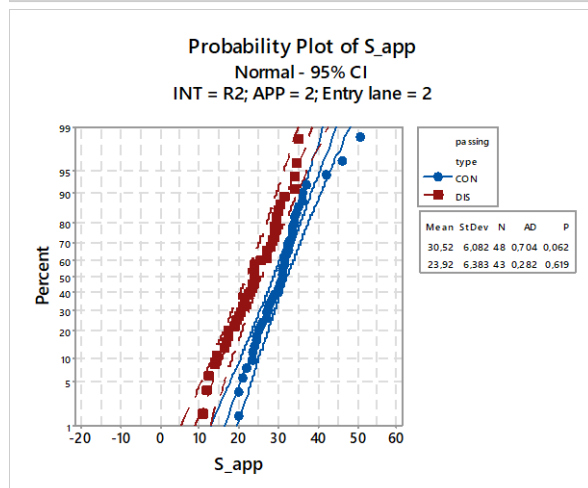
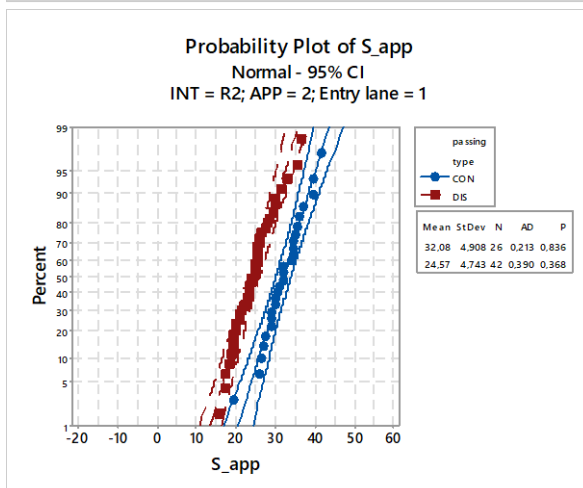
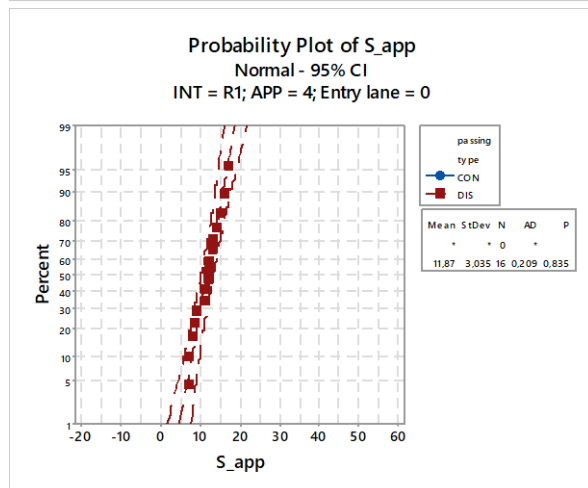
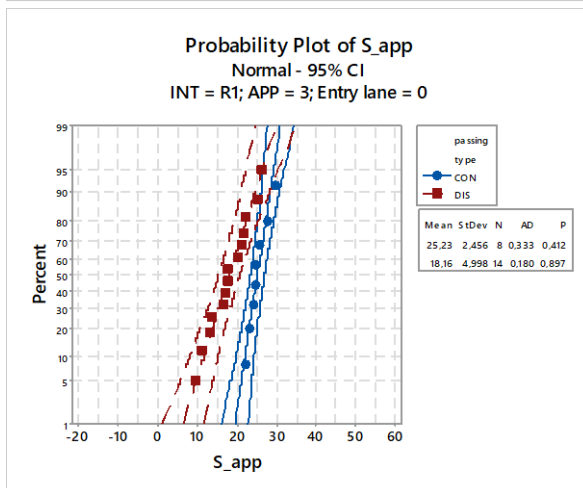
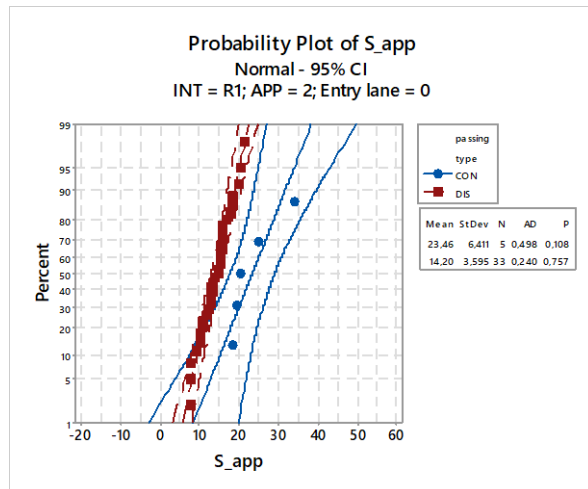
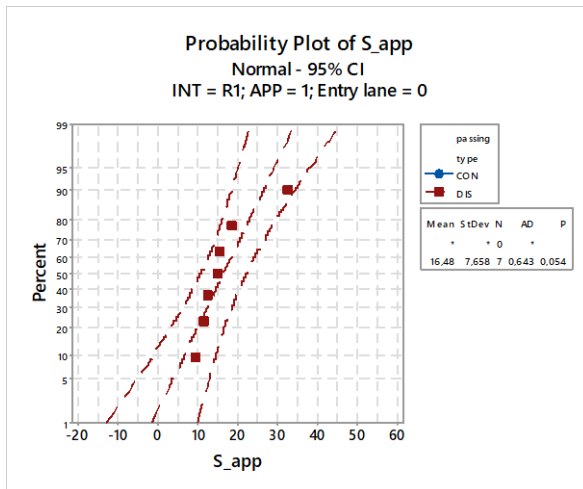
passing											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	CON	1	0	33,283	*	* 33,283	* 33,283	* 33,283	* 33,283		
	DIS	3	0	36,37	5,34	9,24	26,09	26,09	39,02	43,99	43,99

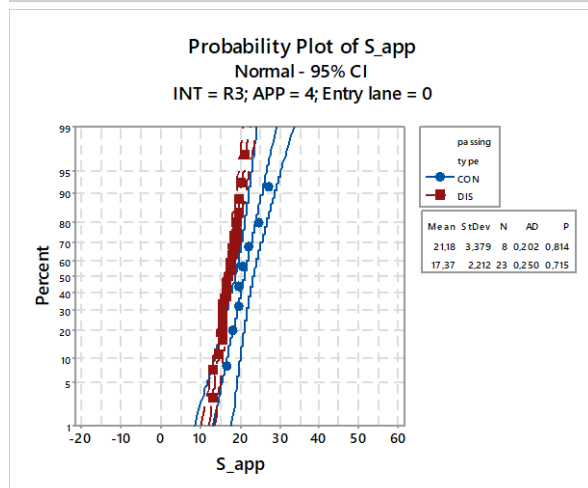
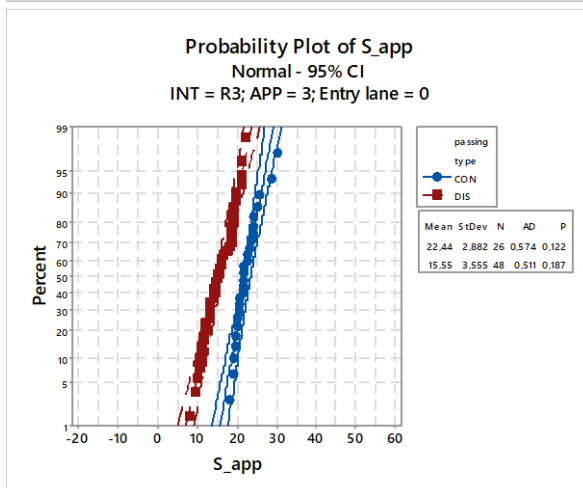
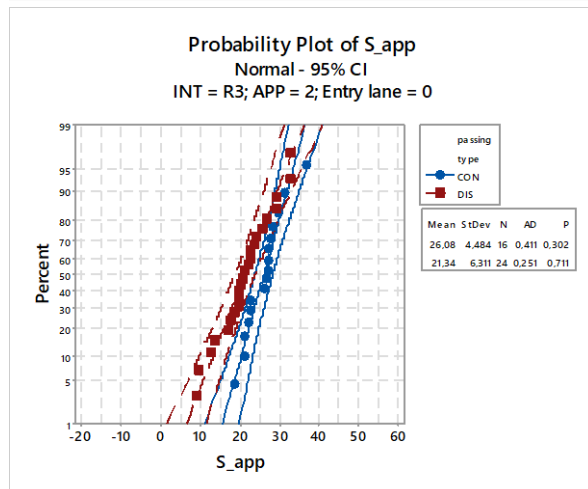
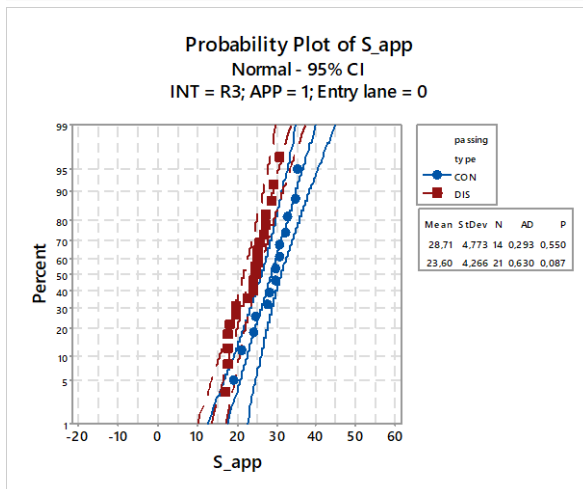
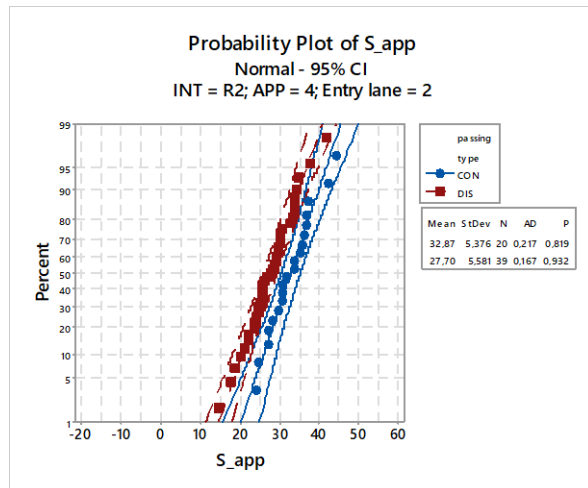
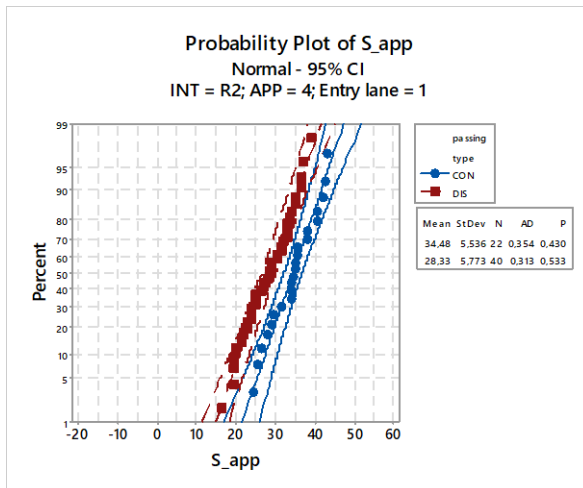
Results for INT = R4; DEP = D; Entry lane = 2

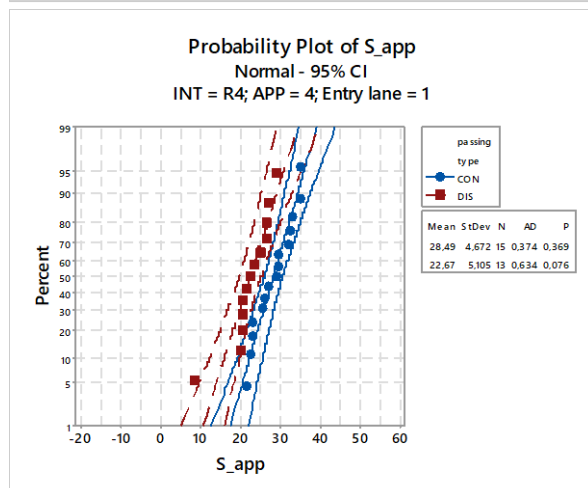
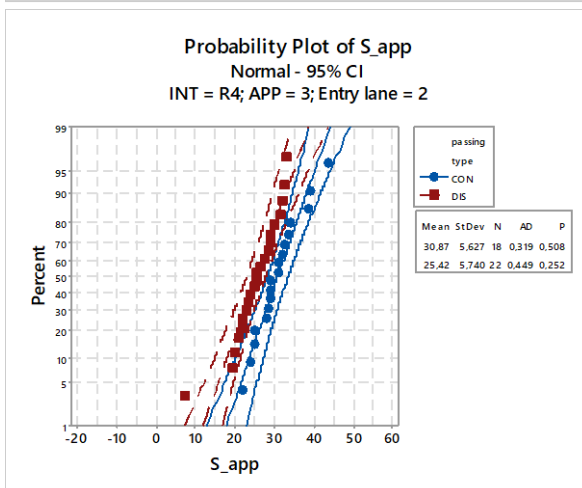
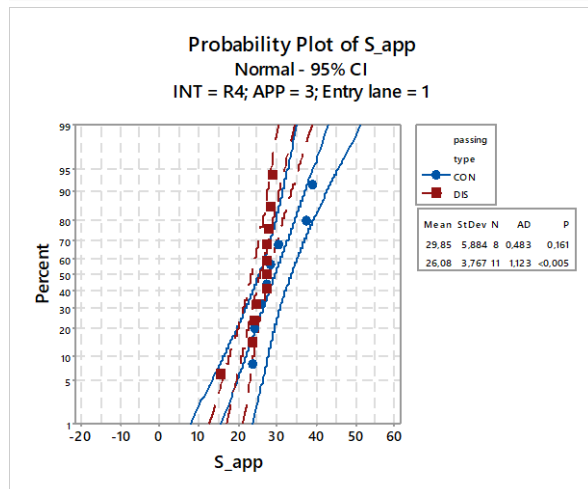
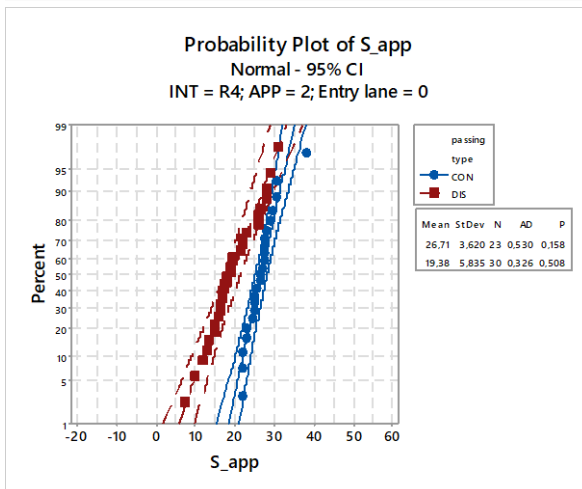
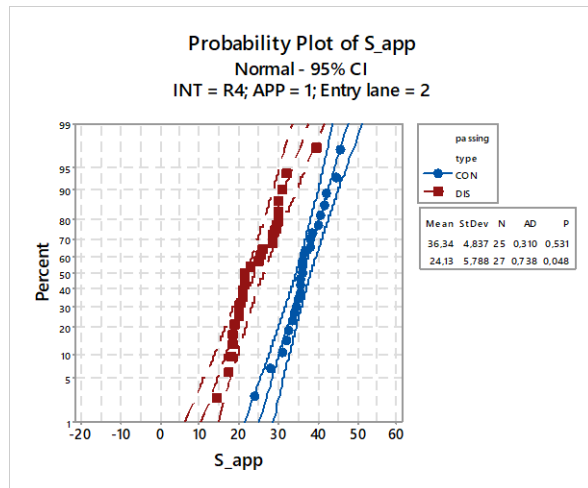
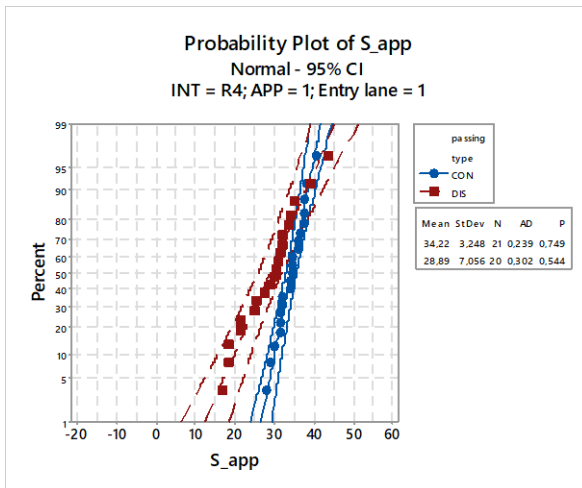
passing											
SE											
Variable type	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	
S_ext	DIS	1	0	28,040	*	* 28,040	* 28,040	* 28,040			

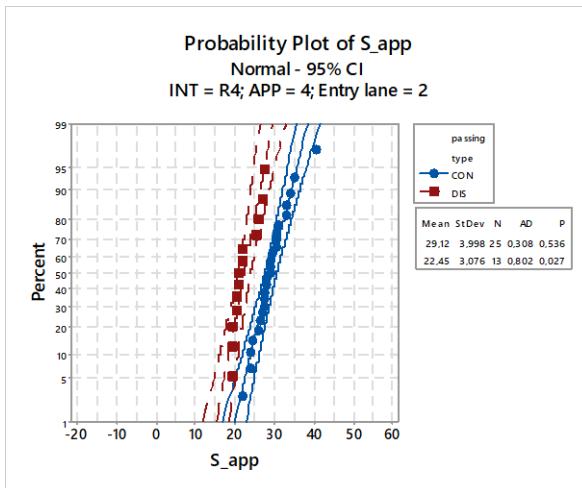
Prilog 2 Grafički prikaz saglasnosti uzorka sa Normalnom raspodelom

Brzina vozila na prilazu raskrsnici (S_app)

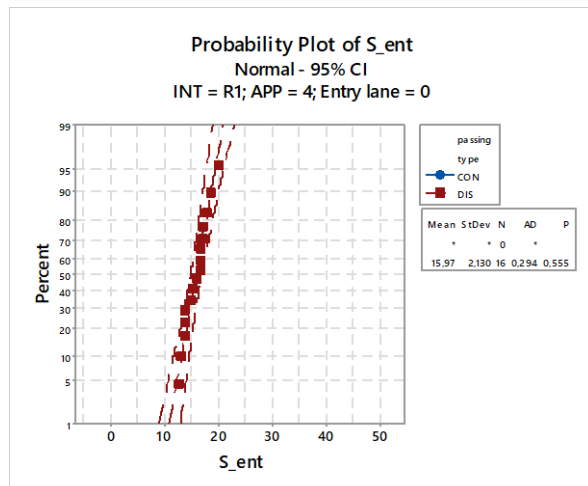
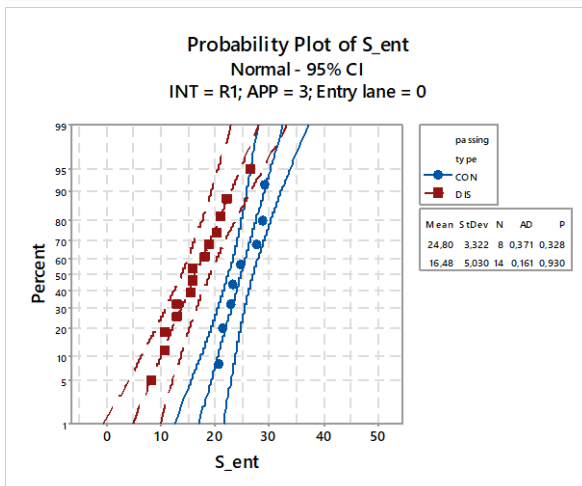
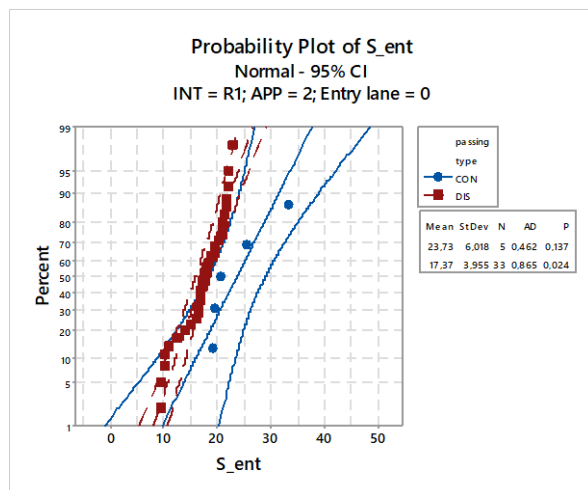
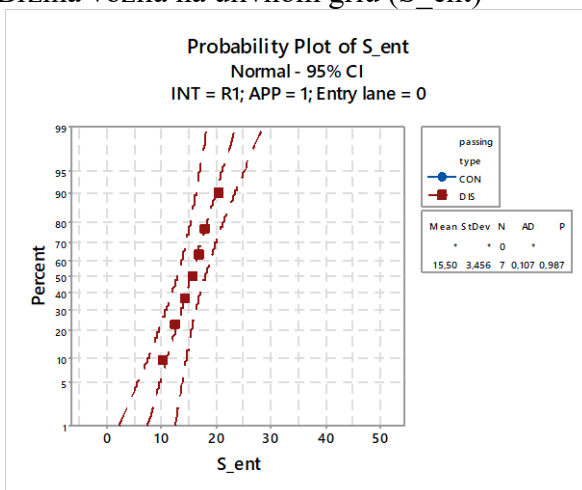


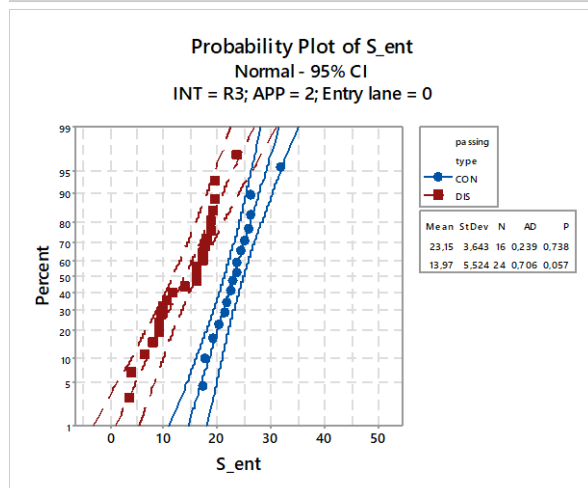
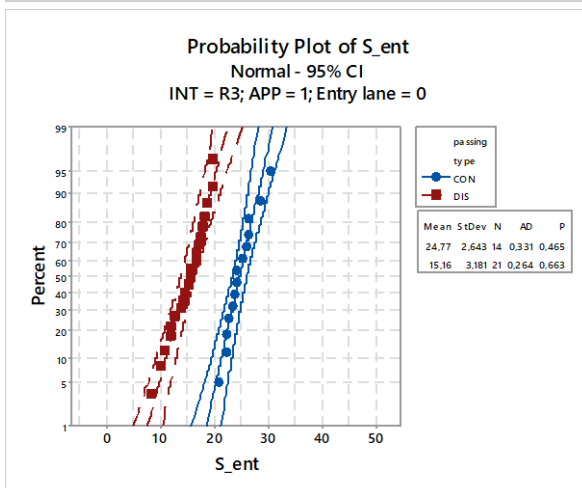
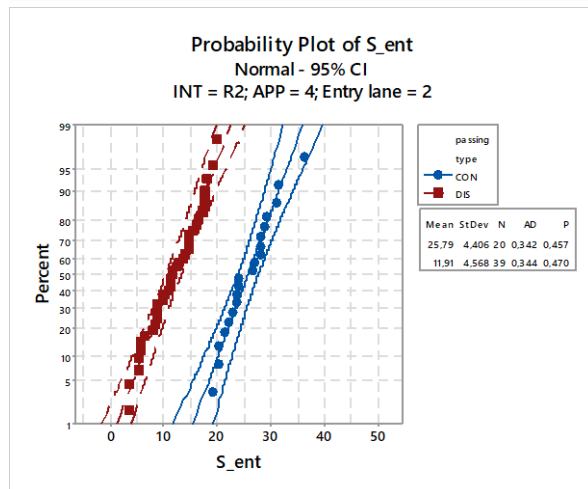
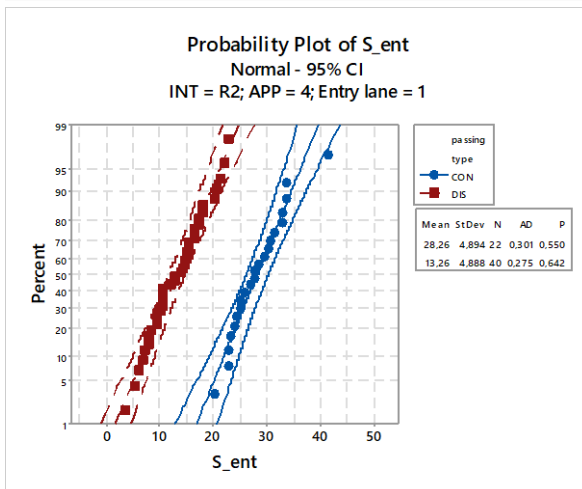
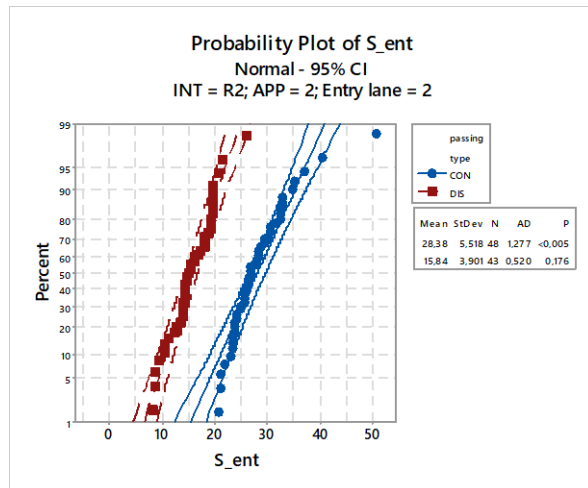
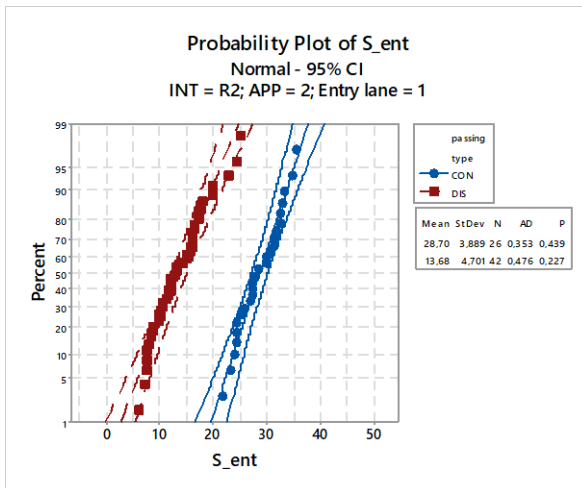


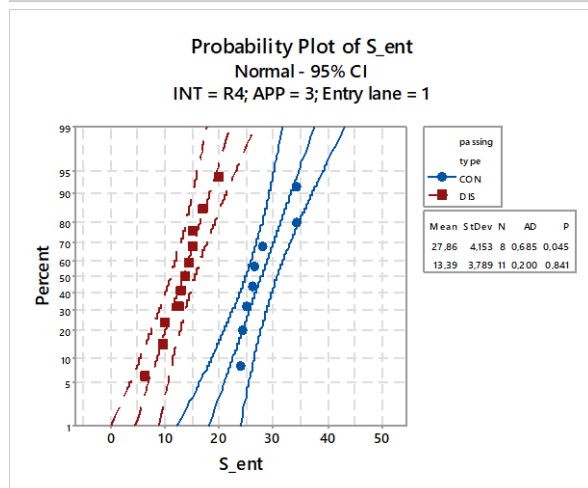
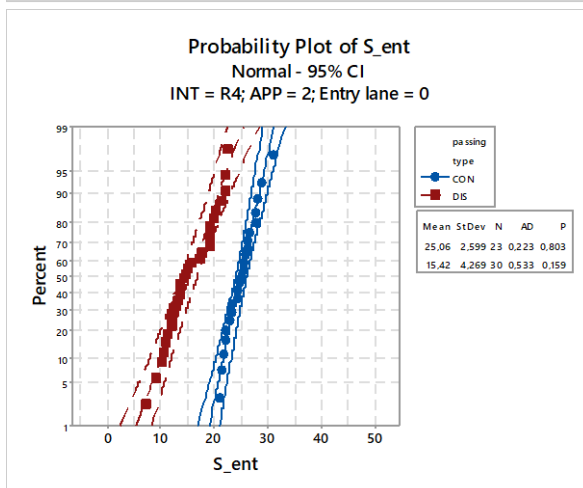
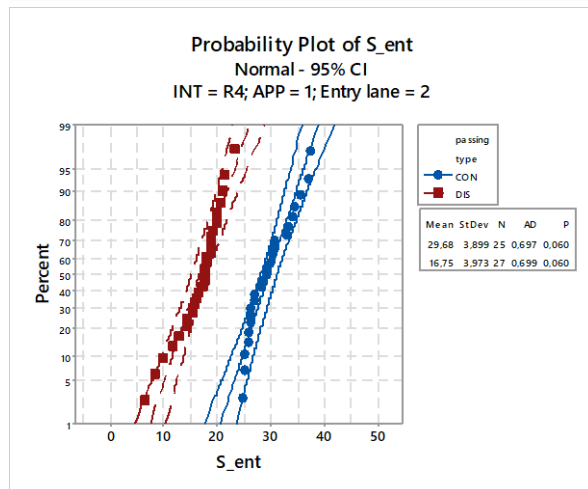
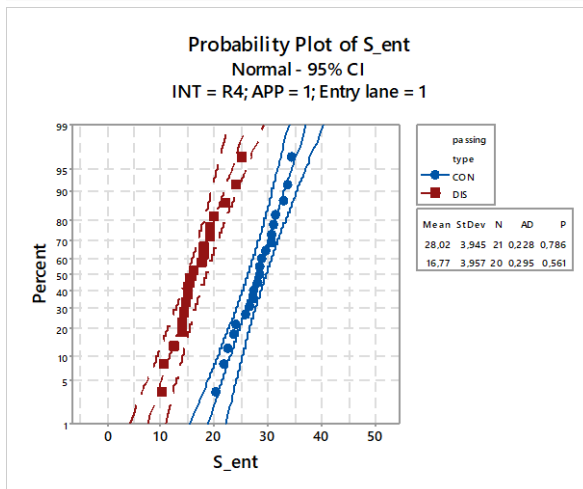
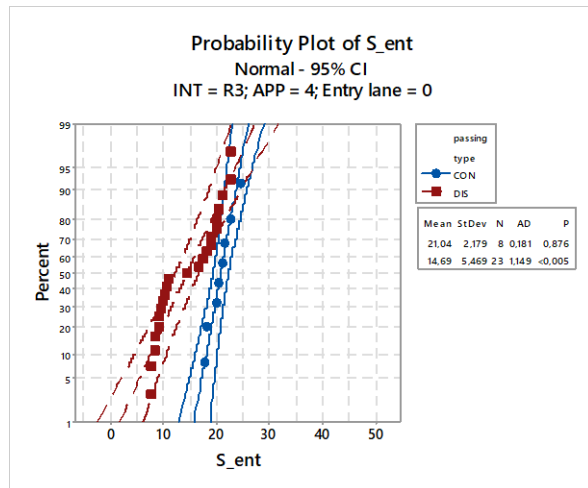
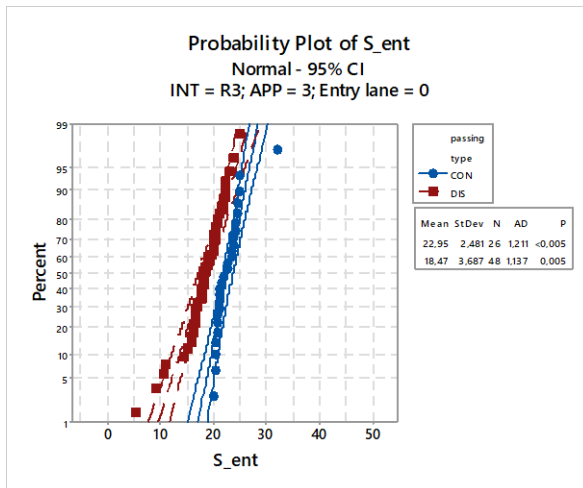


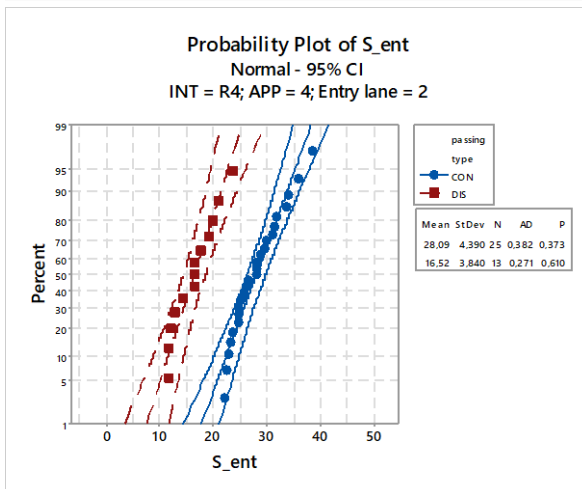
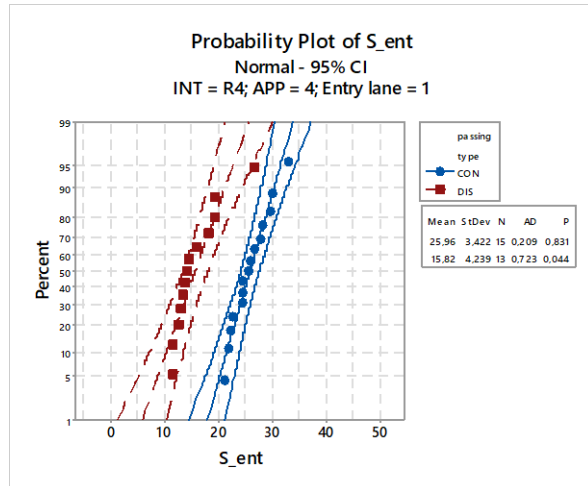
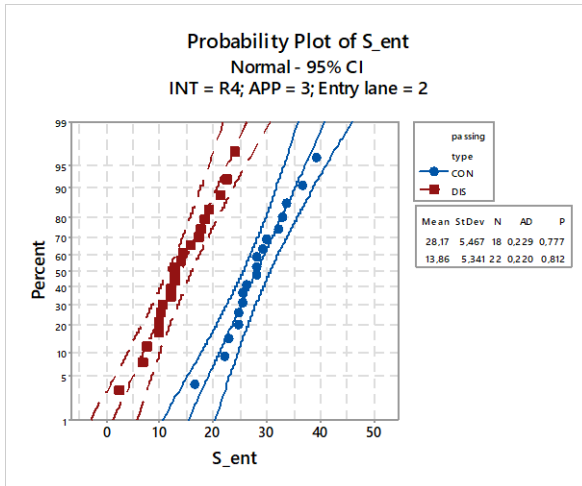


Brzina vozila na ulivnom grlu (S_ent)

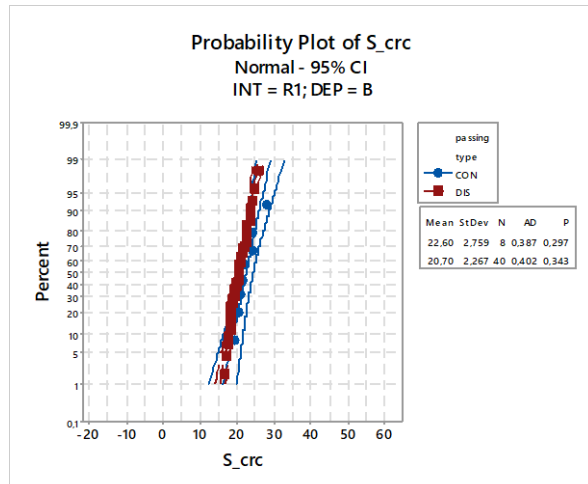
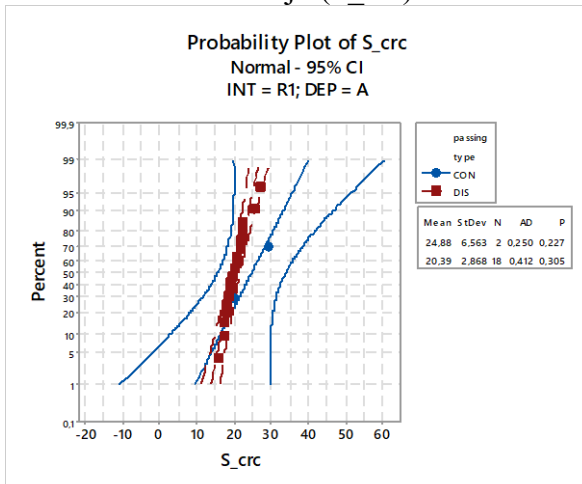


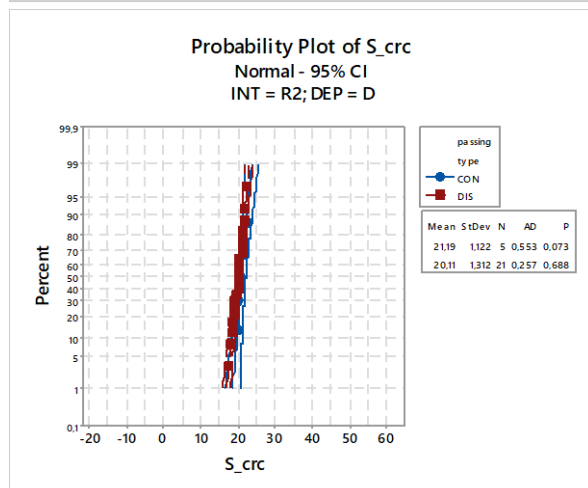
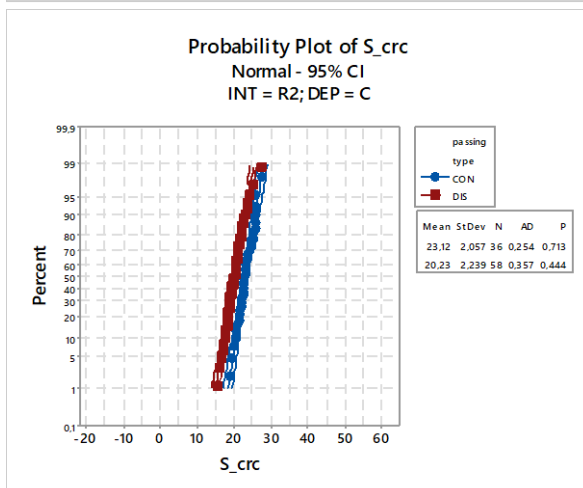
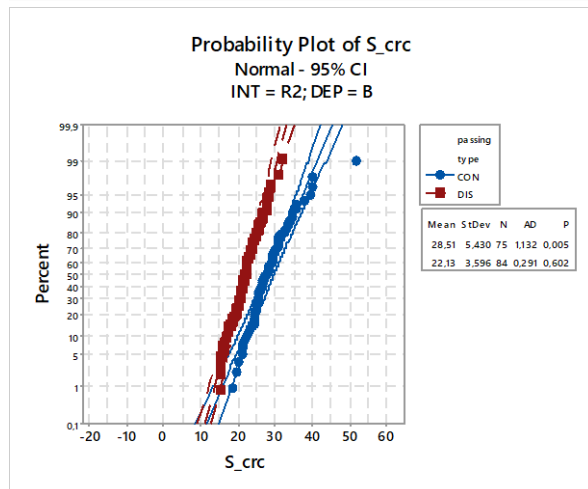
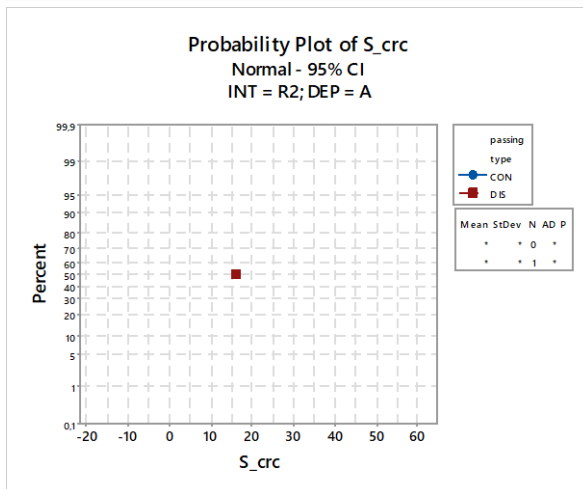
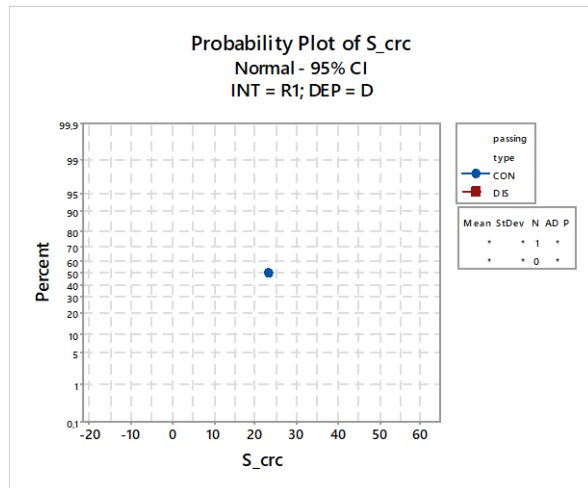
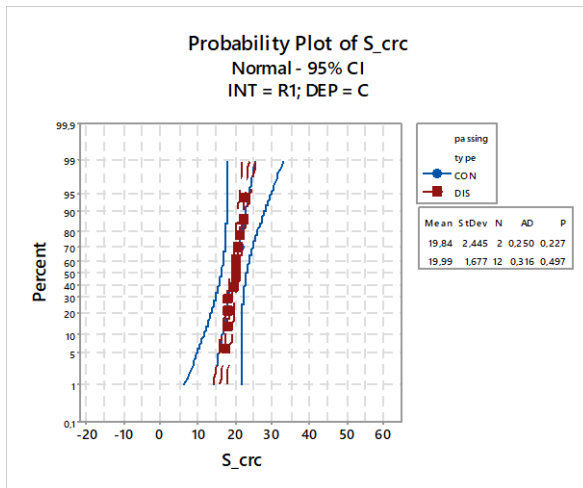


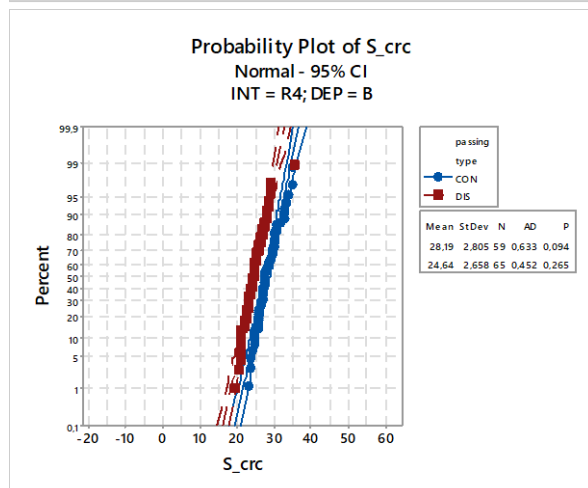
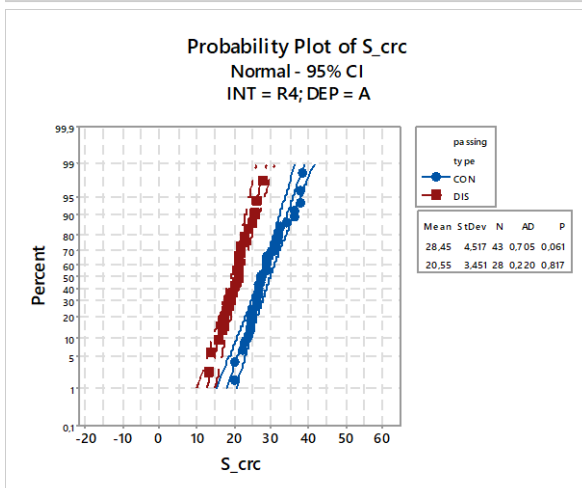
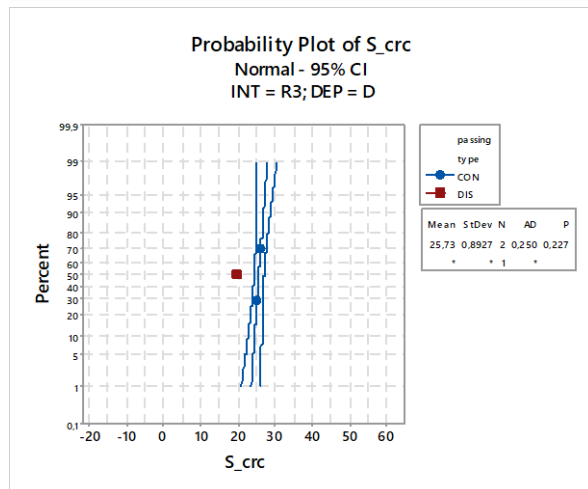
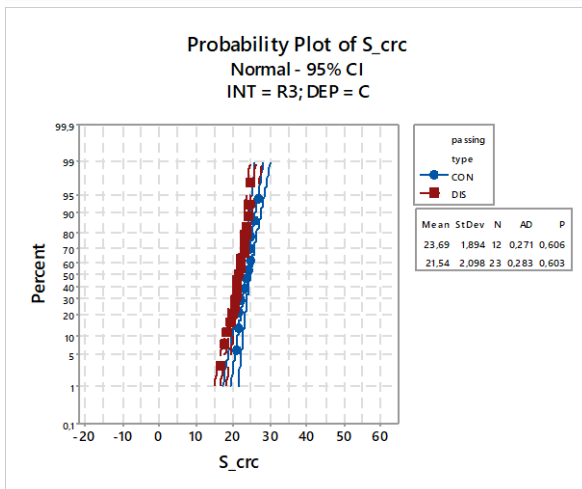
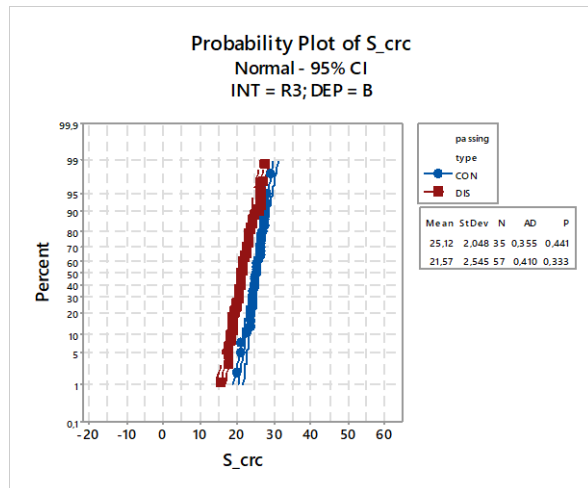
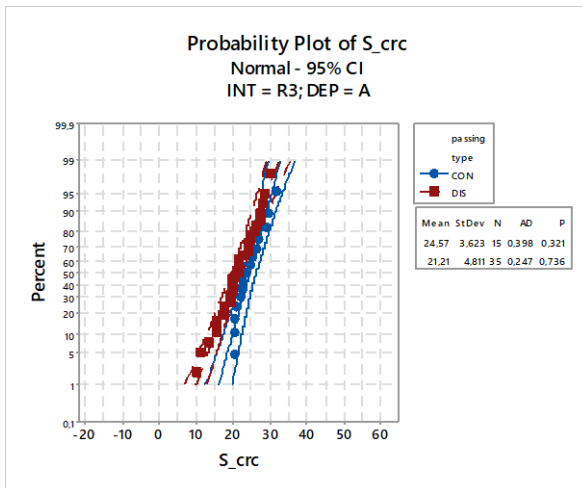


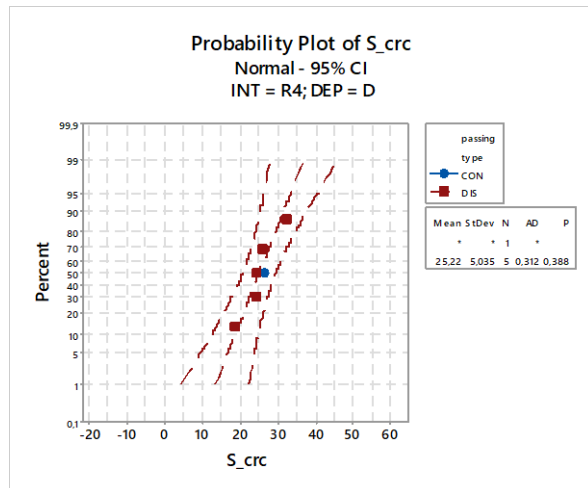
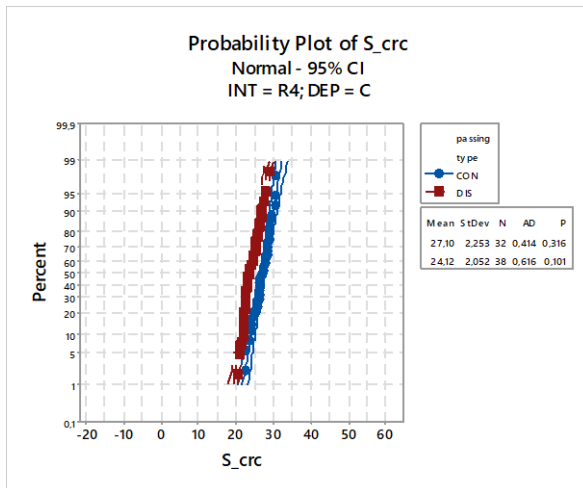


Brzina vozila u kruženju (S_crc)

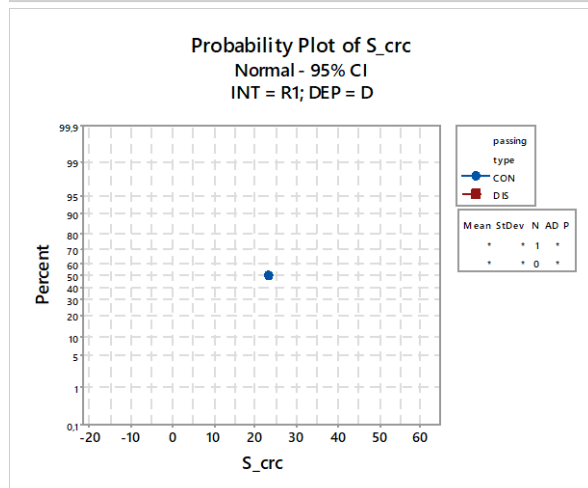
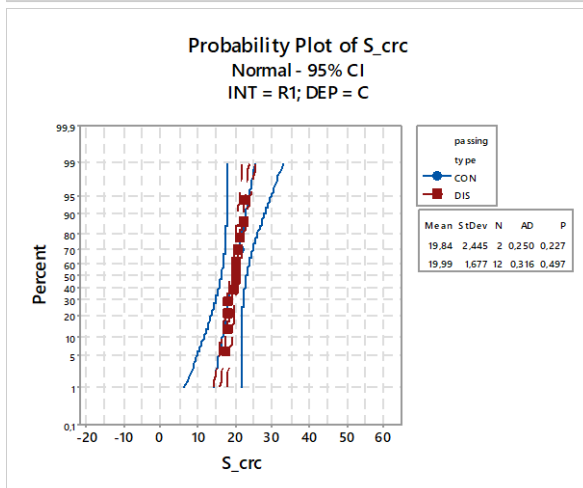
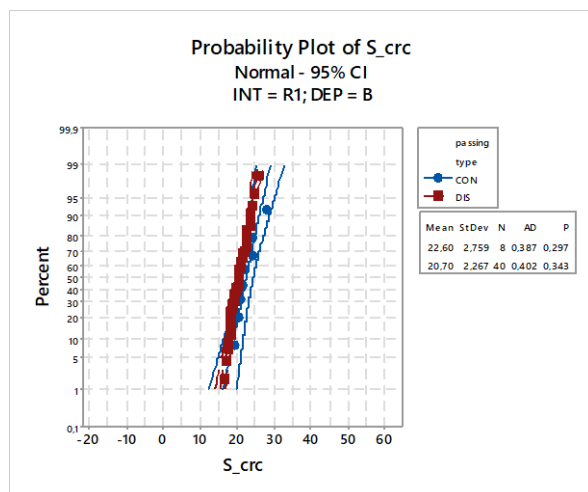
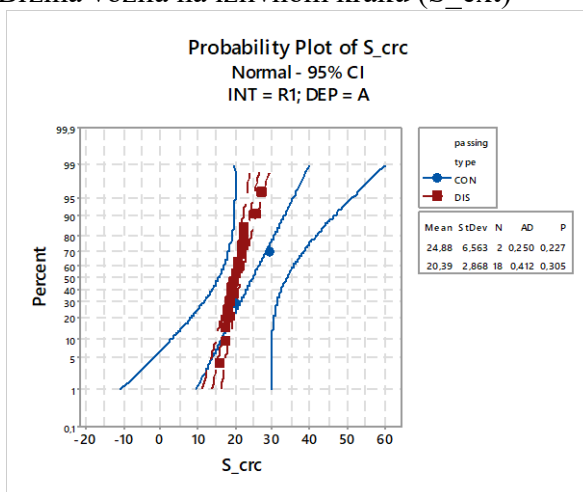


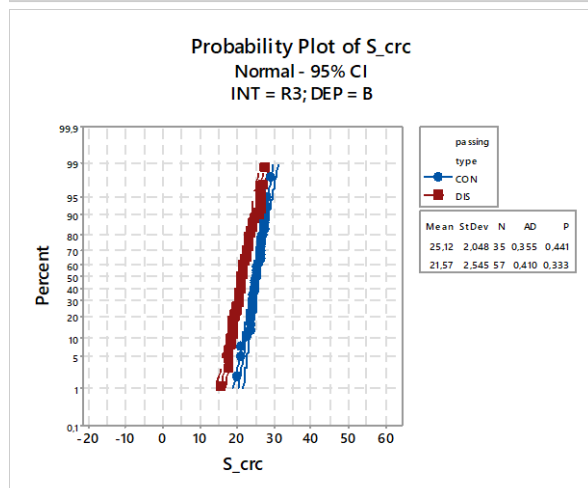
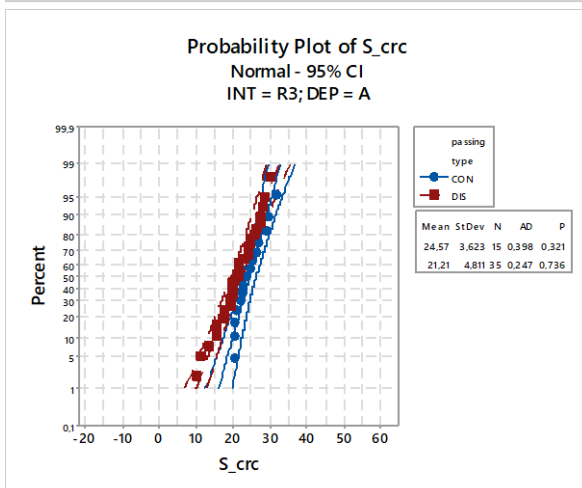
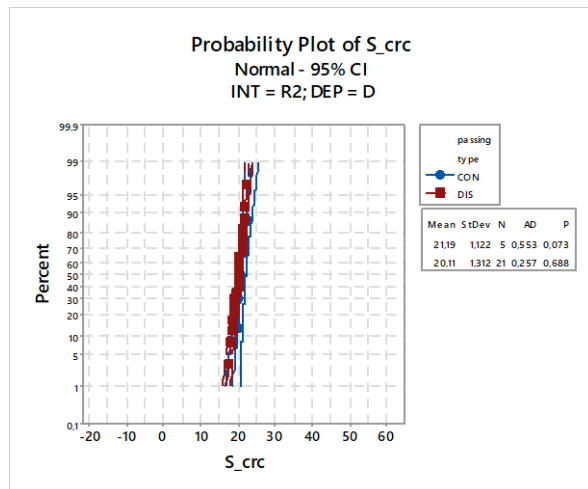
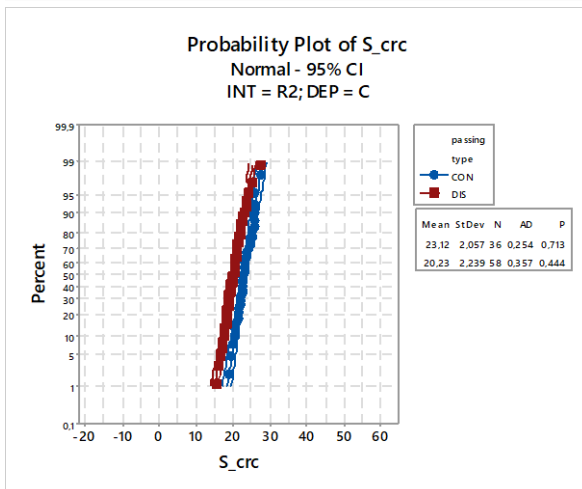
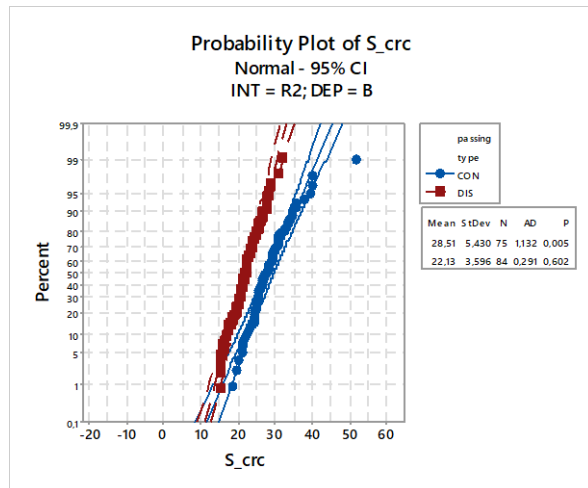
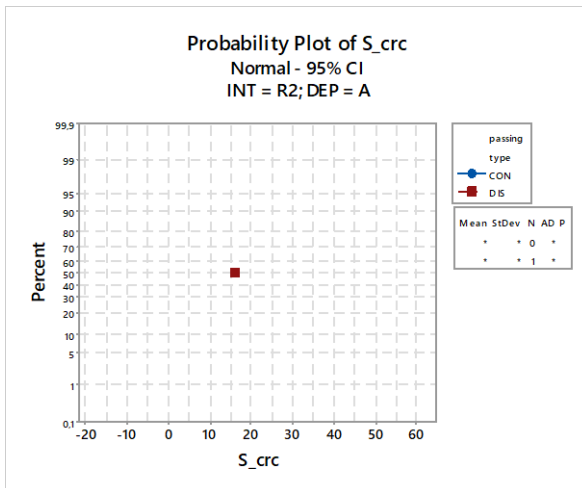


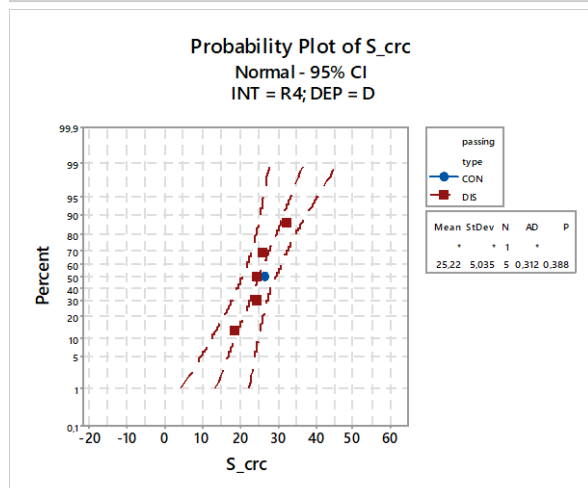
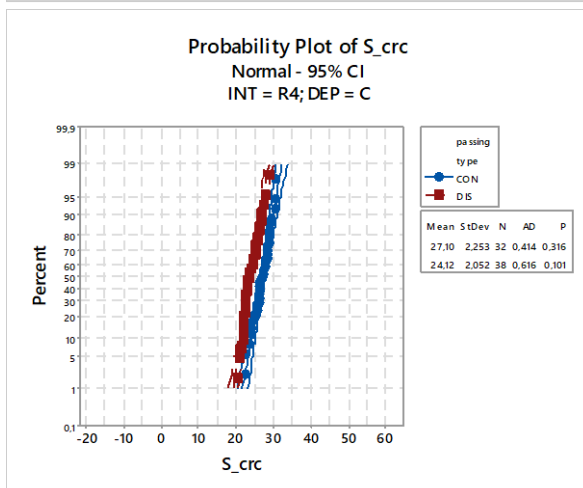
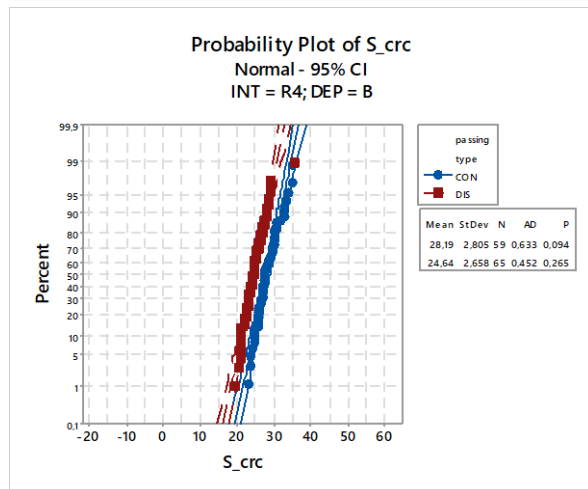
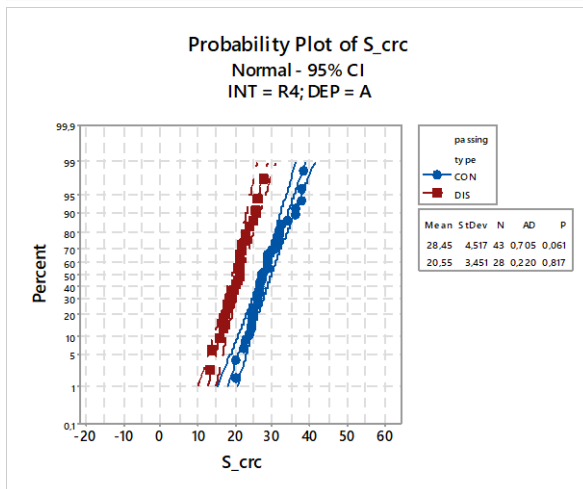
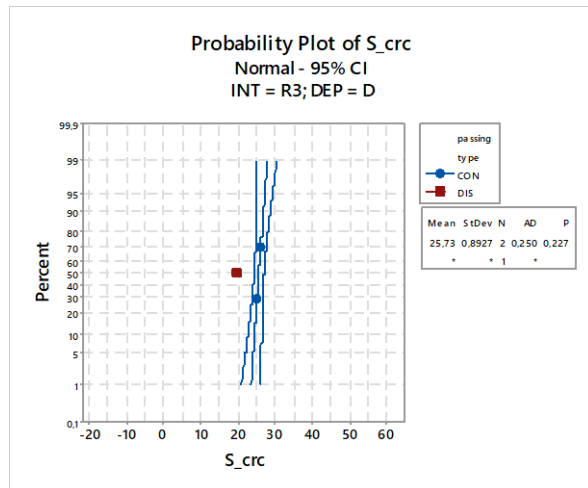
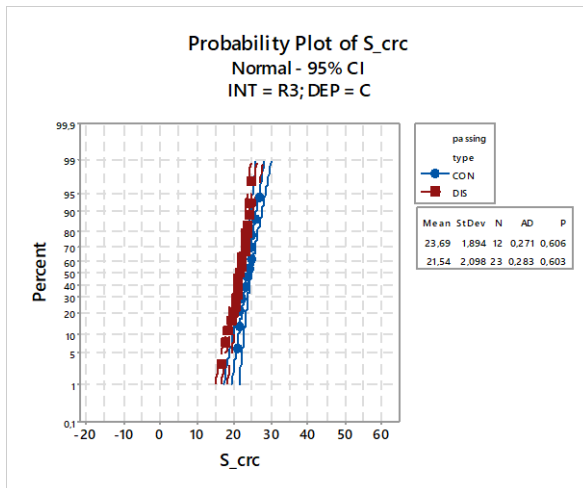




Brzina vozila na izlivnom kraku (S_ext)







Prilog 3 Faktori korelacije brzina i geometrijskih parametara raskrsnice

Correlation: S_app; S_ent; S_crc; S_ext; Entry lane; N_lne; W_lne; W_en; ...

	S_app	S_ent	S_crc	S_ext	Entry lane	N_lne
S_ent	0,411 0,000					
S_crc	0,414 0,000	0,673 0,000				
S_ext	0,243 0,000	0,241 0,000	0,538 0,000			
Entry lane	0,478 0,000	0,153 0,000	0,243 0,000	0,249 0,000		
N_lne	0,440 0,000	0,137 0,000	0,167 0,000	0,201 0,000	0,778 0,000	
W_lne	-0,257 0,000	-0,105 0,003	-0,140 0,000	-0,160 0,000	-0,665 0,000	-0,783 0,000
W_en	0,346 0,000	0,150 0,000	0,168 0,000	0,182 0,000	0,697 0,000	0,973 0,000
R_en	-0,116 0,001	0,184 0,000	0,262 0,000	0,105 0,003	0,021 0,559	-0,141 0,000
D1	0,095 0,007	0,141 0,000	0,302 0,000	0,168 0,000	0,053 0,133	-0,239 0,000
D2	-0,098 0,005	0,089 0,011	0,203 0,000	0,047 0,181	-0,242 0,000	-0,526 0,000
N_cr	0,527 0,000	0,139 0,000	0,271 0,000	0,322 0,000	0,773 0,000	0,754 0,000
W_lnc	-0,502 0,000	-0,088 0,012	-0,162 0,000	-0,264 0,000	-0,763 0,000	-0,855 0,000
W_cr	0,463 0,000	0,173 0,000	0,345 0,000	0,333 0,000	0,655 0,000	0,515 0,000
N_lnx	0,395 0,000	0,057 0,104	0,146 0,000	0,304 0,000	0,635 0,000	0,723 0,000
W_lnx	-0,391 0,000	-0,055 0,114	-0,110 0,002	-0,187 0,000	-0,605 0,000	-0,715 0,000
W_ex	0,378 0,000	0,055 0,116	0,161 0,000	0,297 0,000	0,537 0,000	0,496 0,000
R_ex	-0,132 0,000	0,057 0,107	0,195 0,000	0,139 0,000	-0,220 0,000	-0,322 0,000

W_en	W_lnc	W_en	R_en	D1	D2	N_cr
	-0,753					
	0,000					
R_en	-0,164	-0,062				
	0,000	0,076				
D1	0,164	-0,268	0,700			
	0,000	0,000	0,000			
D2	0,415	-0,505	0,693	0,925		
	0,000	0,000	0,000	0,000		
N_cr	-0,624	0,627	-0,002	0,217	-0,166	
	0,000	0,000	0,946	0,000	0,000	
W_lnc	0,689	-0,738	0,271	0,155	0,513	-0,931
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
W_cr	-0,456	0,397	0,305	0,593	0,244	0,912
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
N_lnx	-0,553	0,645	-0,292	-0,216	-0,488	0,717
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
W_lnx	0,584	-0,614	0,284	0,223	0,525	-0,759
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
W_ex	-0,395	0,394	-0,117	0,073	-0,189	0,685
	0,000	0,000	0,001	0,037	0,000	0,000
R_ex	0,257	-0,274	0,296	0,311	0,419	-0,260
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
W_cr	W_lnc	W_cr	N_lnx	W_lnx	W_ex	
	-0,700					
	0,000					
N_lnx	-0,808	0,494				
	0,000	0,000				
W_lnx	0,847	-0,542	-0,796			
	0,000	0,000	0,000			
W_ex	-0,667	0,592	0,905	-0,706		
	0,000	0,000	0,000	0,000		
R_ex	0,376	-0,092	-0,215	0,373	-0,164	
	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Prilog 4 Regresiona analiza zavisnosti brzina i geometrijskih parametara

Brzina vozila na prilazu raskrsnici (S_app)

Best Subsets Regression: S_app versus Entry lane; N_lne; ...

Response is S_app

The following variables are included in all models: P_type

	E	n	_N W	l__ W R	a l l __
	R-Sq	R-Sq	Mallows	n n n e e	
Vars	R-Sq (adj)	(pred)	Cp	S	e e e n n
1	69,3	67,4	63,9	61,0	3,3790 X
1	68,5	66,6	62,0	63,3	3,4213 X
2	85,2	83,8	82,0	15,7	2,3789 X X
2	72,2	69,6	65,9	54,2	3,2617 X X
3	88,4	86,9	84,4	8,4	2,1430 X X X
3	85,4	83,6	81,9	17,1	2,3985 X X X
4	90,2	88,6	86,0	5,0	2,0016 X X X X
4	88,8	86,9	84,5	9,2	2,1410 X X X X
5	90,2	88,2	85,5	7,0	2,0347 X X X X X

Regression Analysis: S_app versus P_type; N_lne; W_lne; W_en; R_en

Stepwise Selection of Terms

Candidate terms: P_type; N_lne; W_lne; W_en; R_en

	----Step 1----		----Step 2----		----Step 3----		----Step 4----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	21,69		13,91		18,65		3,21	
P_type	7,29	0,000	6,93	0,000	6,890	0,000	6,650	0,000
N_lne			4,767	0,000	19,73	0,000	21,96	0,000
W_en					-4,016	0,000	-4,190	0,000
W_lne							3,34	0,007
R_en								
S	4,69270		3,42126		2,37895		2,14300	
R-sq	38,90%		68,48%		85,22%		88,38%	
R-sq(adj)	37,10%		66,57%		83,84%		86,88%	
R-sq(pred)	31,56%		61,97%		81,98%		84,37%	
Mallows' Cp	154,88		66,41		17,20		9,53	

	----Step 5----	
	Coef	P
Constant	-6,23	
P_type	6,532	0,000
N_lne	24,27	0,000
W_en	-4,677	0,000
W_lne	4,62	0,001
R_en	0,2343	0,025

S 2,00161
R-sq 90,19%
R-sq(adj) 88,56%
R-sq(pred) 85,95%
Mallows' Cp 6,00

α to enter = 0,15; α to remove = 0,15

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	1105,20	221,040	55,17	0,000
P_type	1	374,59	374,585	93,50	0,000
N_lne	1	386,77	386,772	96,54	0,000
W_lne	1	58,93	58,926	14,71	0,001
W_en	1	242,82	242,817	60,61	0,000
R_en	1	22,17	22,172	5,53	0,025
Error	30	120,19	4,006		
Lack-of-Fit	28	118,87	4,246	6,43	0,143
Pure Error	2	1,32	0,660		
Total	35	1225,40			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,00161	90,19%	88,56%	85,95%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-6,23	6,49	-0,96	0,345	
P_type	6,532	0,676	9,67	0,000	1,02
N_lne	24,27	2,47	9,83	0,000	24,37
W_lne	4,62	1,20	3,84	0,001	2,57
W_en	-4,677	0,601	-7,79	0,000	21,15
R_en	0,2343	0,0996	2,35	0,025	1,36

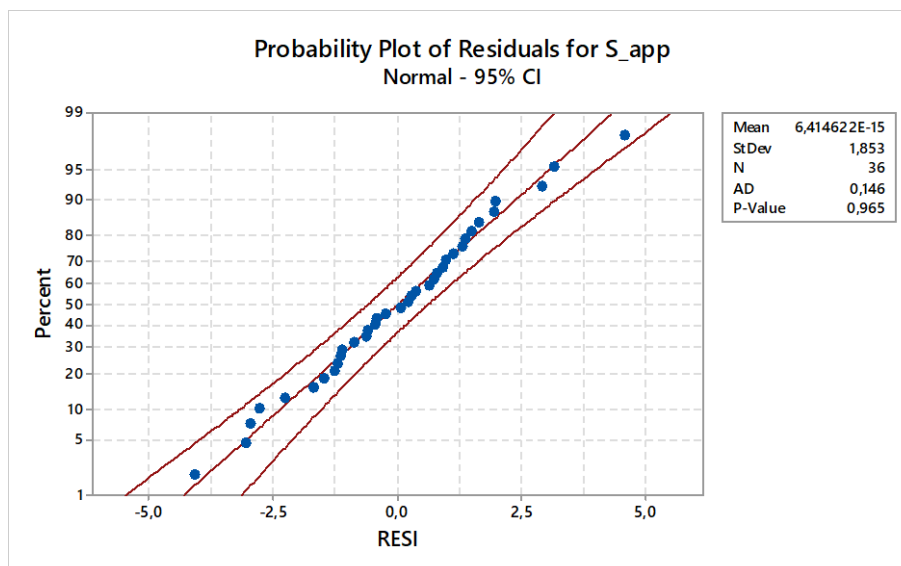
Regression Equation

$S_{app} = -6,23 + 6,532 P_type + 24,27 N_lne + 4,62 W_lne - 4,677 W_en + 0,2343 R_en$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	S_app	Fit	Resid	Std Resid
4	11,875	15,964	-4,090	-2,27 R
18	23,602	19,035	4,566	2,44 R

R Large residual



Brzina vozila na ulivnom grlu (S_ent)

Best Subsets Regression: S_ent versus S_app; Entry lane; ...

Response is S_ent

The following variables are included in all models: P_type

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	p	n	e	D	c
1	89,7	89,1	87,8	2,6	1,9353	X				
1	89,1	88,5	87,1	4,4	1,9885		X			
2	90,7	89,8	88,2	1,5	1,8697	X	X			
2	90,5	89,6	87,8	2,2	1,8907	X	X			
3	91,0	89,9	87,4	2,5	1,8657	X	X	X		
3	91,0	89,8	87,4	2,6	1,8697		X	X	X	
4	91,2	89,7	87,1	4,0	1,8818	X	X	X	X	
4	91,1	89,6	86,5	4,2	1,8880	X	X	X	X	
5	91,2	89,3	86,0	6,0	1,9130	X	X	X	X	X
5	91,2	89,3	86,5	6,0	1,9137	X	X	X	X	X
6	91,2	89,0	85,0	8,0	1,9468	X	X	X	X	X

Regression Analysis: S_ent versus S_app; P_type; R_en; D1; W_cr

Stepwise Selection of Terms

Candidate terms: S_app; P_type; R_en; D1; W_cr

----Step 1----		----Step 2----		----Step 3----	
Coef	P	Coef	P	Coef	P

Constant	15,308		11,54		9,15	
P_type	10,835	0,000	10,808	0,000	10,034	0,000
R_en		0,2085	0,016	0,2134	0,013	
S_app			0,1061	0,136		

S	2,08311		1,93532		1,89725	
R-sq	87,71%		89,71%		90,41%	
R-sq(adj)	87,35%		89,08%		89,51%	
R-sq(pred)	86,19%		87,76%		87,53%	
Mallows' Cp	9,66		4,90		4,53	

α to enter = 0,15; α to remove = 0,15

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1085,59	361,864	100,53	0,000
S_app	1	8,41	8,414	2,34	0,136
P_type	1	551,23	551,226	153,14	0,000
R_en	1	25,04	25,037	6,96	0,013
Error	32	115,19	3,600		
Total	35	1200,78			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,89725	90,41%	89,51%	87,53%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	9,15	2,18	4,19	0,000	
S_app	0,1061	0,0694	1,53	0,136	1,64
P_type	10,034	0,811	12,37	0,000	1,64
R_en	0,2134	0,0809	2,64	0,013	1,00

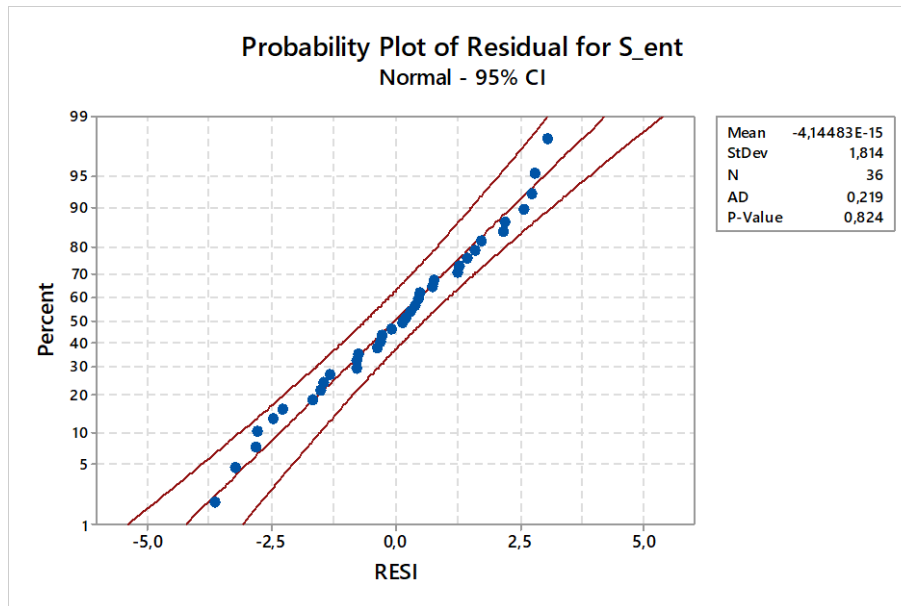
Regression Equation

$S_{ent} = 9,15 + 0,1061 S_{app} + 10,034 P_{type} + 0,2134 R_{en}$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	S_ent	Fit	Resid	Std Resid
21	21,044	24,676	-3,632	-2,09

R Large residual



Brzina vozila u kruženju (S_crc)

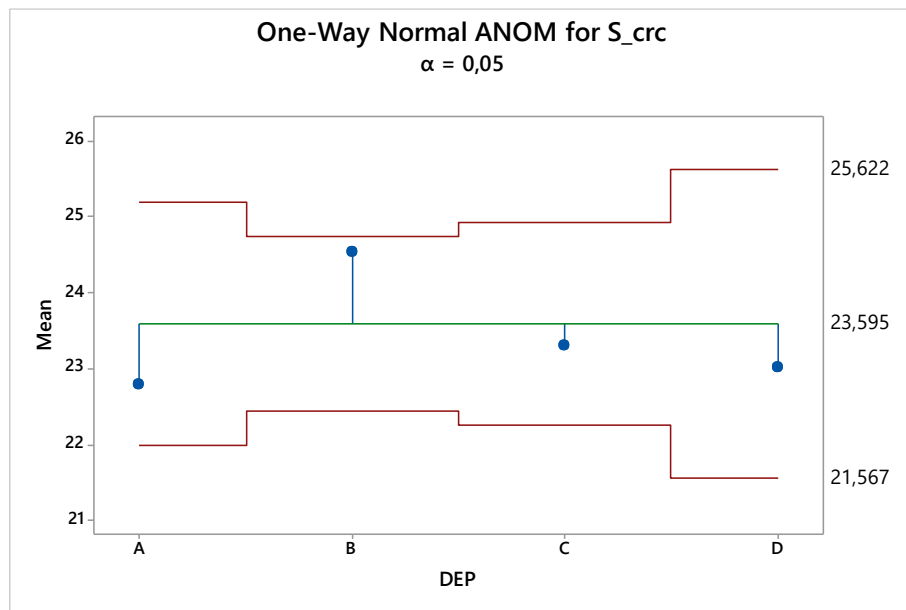
Best Subsets Regression: S_crc versus S_ent; Entry lane; ...

Response is S_crc

The following variables are included in all models: P_type

	R-Sq		R-Sq Mallows		n ne D cc					
Vars	R-Sq (adj)	(pred)	Cp	S	t	e	n	l	r	r
1	52,2	51,2	49,1	28,2	2,3612					X
1	47,5	46,5	44,4	40,3	2,4736					X
2	62,2	61,1	58,6	4,2	2,1095	X				X
2	56,3	55,0	52,5	19,4	2,2678	X				X
3	63,0	61,5	58,7	4,1	2,0981	X	X			X
3	62,9	61,3	58,6	4,5	2,1021	X		X		X
4	63,4	61,5	58,2	5,2	2,0986	X	X	X		X
4	63,3	61,4	57,7	5,2	2,0992	X	X		X	X
5	63,7	61,4	57,3	6,3	2,1002	X	X	X	X	X
5	63,7	61,4	57,4	6,4	2,1008	X	X		X	X
6	63,8	61,1	56,7	8,0	2,1078	X	X	X	X	X

One-Way Normal ANOM for S_crc



Regression Analysis: S_crc versus P_type; S_ent; R_en; D1; N_cr; DEP

Method

Categorical predictor coding (1; 0)

Rows unused 4

Stepwise Selection of Terms

Candidate terms: P_type; S_ent; R_en; D1; N_cr; DEP

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----		-----Step 4-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	16,502		10,837		9,691		9,396	
S_ent	0,3360	0,000	0,3011	0,000	0,3060	0,000	0,3040	0,000
D1			0,1426	0,000	0,1412	0,000	0,1287	0,000
DEP					2,237	0,000	2,158	0,000
N_cr							0,609	0,095
S	2,33327		1,78956		1,55185		1,53649	
R-sq	46,12%		68,64%		77,16%		77,85%	
R-sq(adj)	45,56%		67,98%		75,92%		76,39%	
R-sq(pred)	43,56%		66,39%		73,72%		73,94%	
Mallows' Cp	125,78		35,94		7,17		6,34	

α to enter = 0,15; α to remove = 0,15

If a term has more than one coefficient, the largest in magnitude is shown.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	755,247	125,874	53,32	0,000
S_ent	1	351,819	351,819	149,02	0,000
D1	1	140,354	140,354	59,45	0,000
N_cr	1	6,726	6,726	2,85	0,095
DEP	3	82,559	27,520	11,66	0,000
Error	91	214,833	2,361		
Total	97	970,080			

Model Summary

S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
 1,53649 77,85% 76,39% 73,94%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	9,396	0,873	10,77	0,000	
S_ent	0,3040	0,0249	12,21	0,000	1,04
D1	0,1287	0,0167	7,71	0,000	1,30
N_cr	0,609	0,361	1,69	0,095	1,28
DEP					
B	2,158	0,434	4,97	0,000	1,79
C	0,854	0,455	1,88	0,064	1,79
D	-0,041	0,553	-0,07	0,941	1,56

Regression Equation

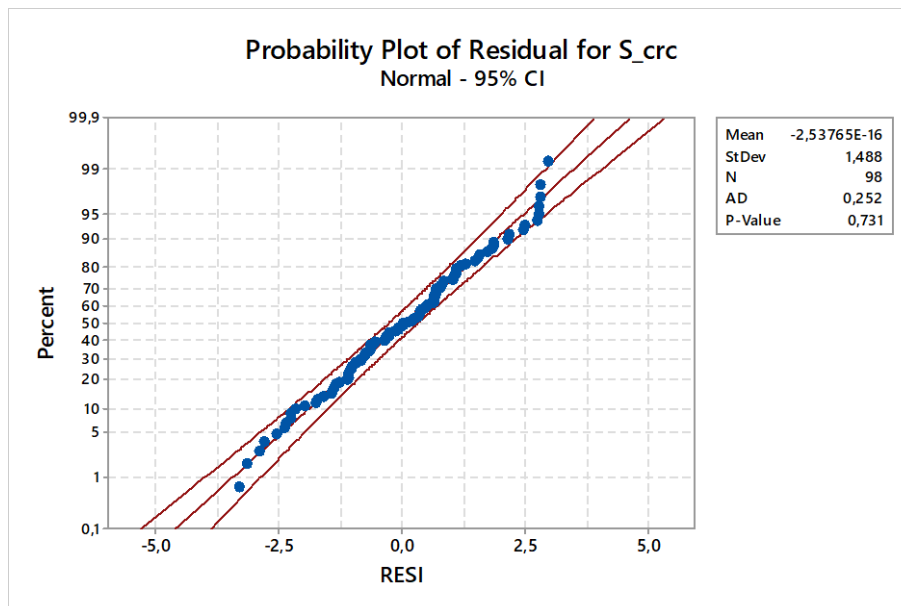
DEP

- A S_crc = 9,396 + 0,3040 S_ent + 0,1287 D1 + 0,609 N_cr
- B S_crc = 11,554 + 0,3040 S_ent + 0,1287 D1 + 0,609 N_cr
- C S_crc = 10,250 + 0,3040 S_ent + 0,1287 D1 + 0,609 N_cr
- D S_crc = 9,354 + 0,3040 S_ent + 0,1287 D1 + 0,609 N_cr

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	S_crc	Fit	Resid	Std Resid
41	16,945	20,094	-3,149	-2,12 R
82	19,448	22,772	-3,324	-2,25 R

R Large residual



Brzina vozila na izlivnom kraku (S_ext)

Best Subsets Regression: S_ext versus S_crc; N_cr; ...

Response is S_ext

S W N

	_N_W_W					
	c_1_1_					
	R-Sq	R-Sq	Mallows	rcncnc		
Vars	R-Sq (adj)	(pred)	Cp	S	cr	crxx
1	37,1	36,5	34,3	36,1	3,7550	X
1	26,4	25,6	23,5	59,0	4,0625	X
2	51,7	50,7	48,1	7,0	3,3077	X X
2	47,1	46,0	43,2	16,9	3,4620	X X
3	52,5	51,0	48,0	7,4	3,2974	X X X
3	52,2	50,7	47,6	7,9	3,3062	X X X
4	53,5	51,6	48,1	7,2	3,2783	X X X X
4	52,9	50,9	47,3	8,5	3,2996	X X X X
5	55,5	53,1	49,6	5,0	3,2252	X X X X X
5	55,4	53,1	49,5	5,0	3,2259	X X X X X
6	55,5	52,6	48,5	7,0	3,2422	X X X X X X

Regression Analysis: S_ext versus S_crc; W_inc; W_cr; N_lnx; W_ex; DEP

Method

Categorical predictor coding (1; 0)

Stepwise Selection of Terms

Candidate terms: S_crc; W_inc; W_cr; N_lnx; W_ex; DEP

	----Step 1----		-----Step 2----	
	Coef	P	Coef	P
Constant	10,11		5,78	
S_crc	0,849	0,000	0,8143	0,000
N_lnx			3,645	0,000
S	3,75503		3,30770	
R-sq	37,10%		51,68%	
R-sq(adj)	36,47%		50,70%	
R-sq(pred)	34,29%		48,06%	
Mallows' Cp	41,90		11,47	

α to enter = 0,15; α to remove = 0,15

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	1158,4	579,22	52,94	0,000
S_crc	1	762,0	762,01	69,65	0,000
N_lnx	1	326,9	326,88	29,88	0,000
Error	99	1083,1	10,94		
Total	101	2241,6			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,30770	51,68%	50,70%	48,06%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5,78	2,45	2,36	0,020	
S_crc	0,8143	0,0976	8,35	0,000	1,00
N_lnx	3,645	0,667	5,47	0,000	1,00

Regression Equation

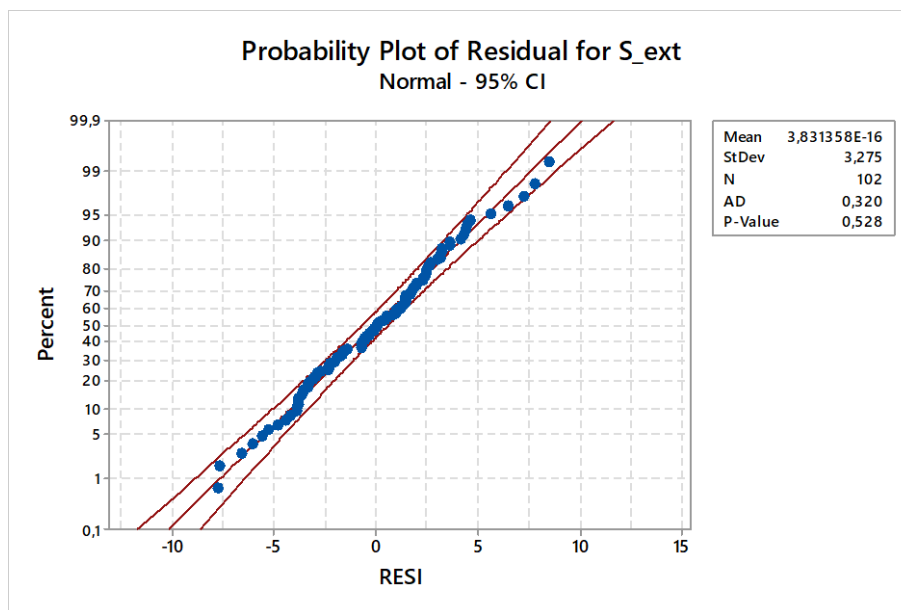
$$S_{\text{ext}} = 5,78 + 0,8143 S_{\text{crc}} + 3,645 N_{\text{lnx}}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	S_ext	Fit	Resid	Std Resid	
16	25,767	33,465	-7,698	-2,39	R
32	37,070	29,824	7,246	2,23	R
40	25,348	31,913	-6,565	-2,01	R
59	23,280	30,890	-7,610	-2,33	R
66	41,507	33,673	7,834	2,40	R
73	44,444	35,955	8,489	2,69	R X

R Large residual

X Unusual X



Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Утицај кружних раскрсница на услове одвијања саобраћаја на градским артеријама
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Факултет техничких наука Нови Сад, Департман за саобраћај б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
-
1. Опис података
<p><i>1.1 Врста студије</i></p> <p><i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i></p> <p>Истраживања у оквиру ове докторске дисертације била су оријентисана на анализу утицаја кружних раскрсница и њених основних геометријских елемената на промјену брзине. За разлику од класичне методе која се тренутно најчешће примењује у поступцима анализа (Highway Capacity Manual 6, 2016) истраживања су била усмјерена на све сегменте кружних раскрсница како би у даљем поступку анализе били обухваћене све промјене брзине.</p> <p>У првом кораку, извршено је истраживање у реалном саобраћајном току на четири кружне раскрснице са различитим геометријским елементима, с тим да је поред геометријских елемената узет у обзир и утицај саобраћајног тока, односно интеракције са осталим возилима на кружној раскрсници, односно ометања која су резултат интеракције. За истраживање у реалном саобраћајном току изабрана је тзв фотографска метода из разлога што се сви потенцијални утицаји примене ове методе истраживања на понашање возача и саобраћајни ток у потпуности елиминишу. Истраживање карактеристичних брзина обрадом претходно сачињеног видео записа вршено је на уличном сегменту, зони кружења и изливном сегменту на више узастопних пресека применом софтверског алата „Data From Skay Viewer“, а резултат овако спроведене анализе су била два статистички обрађена репрезентативна узорка карактеристичних брзина на сегментима раскрснице, за ометана и неометана возила.</p> <p>Након формирања базе података о карактеристичним брзинама, издвојено је 14 геометријских параметара кружне раскрснице који потенцијално могу имати утицај на брзину на сегментима</p>

кружне раскрснице, као и међусобни утицај брзина. Вишеструком регресионом анализом формиран су модели за прорачун:

- Средње брзине саобраћајног тока на прилазу кружне раскрснице у коме фигурише тип доласка, број саобраћајних трака на прилазу, ширина саобраћајне траке на прилазу, ширина улаза и радијус улаза,
- Средње брзине тока на уливном грлу кружне раскрснице у коме фигурише средња брзина тока на прилазу, тип доласка и радијус улаза,
- Средње брзине тока у зони кружења у коме фигурише средња брзина тока на уливном грлу, спољни пречник кружне раскрснице и број саобраћајних трака у зони кружења.
- Средње брзине тока на уливном грлу кружне раскрснице у коме фигурише средња брзина тока у кружењу и број трака на изливном грлу.

За сваки модел дата су ограничења и у складу са њима описана је могућност примјене предложених модела у поступцима анализа.

На крају, у циљу објективизације анализе утицаја кружних раскрсница на услове одвијања саобраћаја на градским артеријама дефинисан је нови концепт анализе времена путовања и брзине на одсјецима артерија. Упоредном анализом услова одвијања саобраћаја на изабраном одсјеку градске артерије према предложеном концепту и примјеном методологије (Highway Capacity Manual 6, 2016) утврђене су значајне разлике у времену путовања и брзини, односно нивоу услуге.

Спроведеним истраживањима потврђене су основне хипотезе, односно да геометрија и просторна дистрибуција захтева за протоком утичу на брзину саобраћајног тока на кружној раскрсници, као и на брзину и услове одвијања саобраћаја на градској артерији којој кружна раскрсница припада.

1.2 Врсте података

а) квантитативни

б) квалитативни

1.3. Начин прикупљања података

а) анкете, упитници, тестови

б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи

в) генотипови: навести врсту _____

г) административни подаци: навести врсту _____

д) узорци ткива: навести врсту _____

ђ) снимци, фотографије: снимак реалног саобраћајног тока

е) текст, навести врсту _____

ж) мапа, навести врсту _____

з) остало: описати _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

Нумерички подаци. Прва фаза истраживања: 814 возила, 4 независне локације. Друга (контролна) фаза истраживања: -

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- a) **Excel фајл**, датотека _____
- b) SPSS фајл, датотека _____
- c) PDF фајл, датотека _____
- d) Текст фајл, датотека _____
- e) JPG фајл, датотека _____
- f) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- a) број варијабли: 814 возила
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) : 4 независне кружне раскрснице са укупно 77 минута видео снимка

1.3.3. Поновљена мерења

a) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- a) временски размак измедју поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

a) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

На свим прилазима кружне раскрснице, 20 м прије улаза у кружни ток, као и на самом улазу у кружни ток постављени су референтни пресеци на којима је вршено читавање брзине возила.

Такође, унутар кружног коловоза постављена су 4 референтна пресека, између сваког излаза из кружне раскрнице, а затим и на излазима из кружне раскрнице на растојању од 20 м од излаза из зоне кружења. Такође, између референтног пресека на прилазу и улазу, постављена су и 3 додатна контролна пресека, како би се утврдило да ли је брзина возила између ова два референтна пресека сведена на минимум, а све у циљу одређивања да ли је возило приликом кретања било ометано или није.

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, параметри реалног саобраћајног тока

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

Видео запис је сачињен уз помоћу дрона "DJI Mavic 2 Pro", који је за потребе сачињавања видео записа позициониран на одговарајућој висини изнад средишта анализираних кружних раскрница. Сачињен видео материјал фреквентности 24 fps обрађен је софтверу „DataFromaSky Viewer“ који омогућава означавање референтних линија, анализу кретања објеката (возила) на снимку и преглед снимка по секвенцама у тачности од приближно 0,042 секунде.

2.2 Квалитет података и стандарди

-

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да **Не**

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Статистичким методама.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

Логичком провером унесених података.

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у НаРДус репозиторијум.

3.1.2. URL адреса _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог: Подаци представљају извор информација на којим аутор планира додатне анализе и разраде обрађене теме.

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Некомерцијално – без прераде

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

Захтевом од аутора података

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Славко Давидовић, davidovic.slavko@hotmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Славко Давидовић, davidovic.slavko@hotmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Славко Давидовић, davidovic.slavko@hotmail.com