



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Драган Станимировић

**МОДЕЛ ЗА УТВРЂИВАЊЕ УТИЦАЈА
НЕРЕЗИДЕНТНИХ ВОЗАЧА НА КАПАЦИТЕТ
ПРИОРИТЕТНИХ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2019. година



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографијска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Драган Станимировић
Ментор, МН:	др Вук Богдановић, редовни професор
Наслов рада, НР:	Модел за утврђивање утицаја нерезидентних возача на капацитет приоритетних кружних раскрсница
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2019.
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страница/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7 поглавља / 174 стране / 192 цитата / 24 табеле / 59 слика / - / 75 прилога
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Планирање, пројектовање и безбедност саобраћаја
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Кружна раскрсница, понашање возача, резидентни возачи, нерезидентни возачи, критични интервал слеђења, капацитет
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Вредности параметара који утичу на капацитет кружних раскрсница су у постојећим приручницима за прорачун капацитета кружних раскрсница дате као препорука. <i>Highway Capacity Manual (НСМ)</i> предлаже мерење ових параметара у локалним условима како би се добиле њихове реалне вредности. У дисертацији је урађена анализа прихваћених вредности критичних интервала слеђења и времена слеђења за резидентне и нерезидентне возаче, а на основу извршених локалних мерења, којима је потврђено да карактеристике, понашања и обичаји возача могу значајно утицати на капацитет кружних раскрсница. На основу тако добијених резултата дефинисан је модел за прорачун капацитета приоритетних кружних раскрсница у зависности од степена заступљености нерезидентних возача у саобраћајном току.
Датум прихватања теме, ДП:	27.06.2019. године
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: др Валентина Басарић, ванредни професор Члан: др Силвија Гилезан, редовни професор Члан: др Зоран Папић, ванредни професор Члан: др Драженко Главић, ванредни професор Члан: др Ненад Рушкић, ванредни професор Члан, ментор: др Вук Богдановић, редовни професор
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Printed textual material
Contents code, CC :	Ph. D. thesis
Author, AU :	Dragan Stanimirović
Mentor, MN :	Ph.D. Vuk Bogdanović, Full Professor
Title, TI :	A model for determining the impacts of non-resident drivers on the capacity of priority roundabouts
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2019.
Publisher, PB :	Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7 chapters / 174 pages / 192 ref. / 24 tables / 59 pictures / - / 75 appendixes
Scientific field, SF :	Traffic engineering
Scientific discipline, SD :	Planning, design, and traffic safety
Subject/Key words, S/KW :	Roundabout, driver behavior, resident drivers, non-resident drivers, critical headway, capacity
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	The values of parameters affecting the capacity of roundabouts are given as a recommendation in the existing manuals for evaluating the capacity of roundabouts. The <i>Highway Capacity Manual (HCM)</i> suggests measuring these parameters in local conditions to obtain their real values. In the doctoral thesis, an analysis of the accepted values of the critical headways and follow-up headways for resident and non-resident drivers has been carried out on the basis of local measurements that have shown that driver characteristics, behaviour and habits can significantly influence the roundabout capacity. Based on the results thus obtained, the model for the evaluation of the capacity of priority roundabouts has been defined, depending on the degree of the presence of non-resident drivers in the traffic flow.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	27.06.2019. godine
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Ph.D. Valentina Basarić, associate professor
	Member: Ph.D. Silvia Gilezan, full professor
	Member: Ph.D. Zoran Papić, associate professor
	Member: Ph.D. Draženko Glavić, associate professor
	Member: Ph.D. Nenad Ruškić, associate professor
	Member, Mentor: Ph.D. Vuk Bogdanović, full professor
	Menthor's sign

Sadržaj

Spisak tabela.....	III
Spisak slika	IV
Spisak oznaka i skraćenica	VI
Rezime	IX
Abstract.....	X
1. Uvod.....	1
1.1. Definisanje problema i cilja istraživanja	3
1.2. Postavljanje polaznih hipoteza.....	4
1.3. Metode istraživanja	5
1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima	6
2. Opšte karakteristike kružnih raskrsnica	7
2.1. Osnovni elementi kružnih raskrsnica	7
2.2. Saobraćajne karakteristike kružnih raskrsnica	9
2.3. Odlike, prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica	13
2.4. Tipovi kružnih raskrsnica	14
2.4.1. Tipovi kružnih raskrsnica prema <i>Bogdanović, V. (2005)</i>	14
2.4.2. Tipovi kružnih raskrsnica prema <i>NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010)</i>	16
2.5. Proračun kapaciteta kružnih raskrsnica	22
3. Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica	27
3.1. Istorijski pregled najvažnijih metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja	27
3.1.1. Metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja u uslovima zasićenog toka (<i>Siegloch</i> -ov metod)	29
3.1.2. Metode za procenu veličine intervala sleđenja u uslovima nezasićenog saobraćajnog toka.....	31
3.1.3. Metode minimalnog prihvaćenog i maksimalno odbačenog intervala.....	32
3.1.4. Metode zasnovane na maksimalnoj verovatnoći.....	35
3.1.5. Kritički osvrt na analizirane metode za ocenu intervala sleđenja	38
3.2. Metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja korišćena u disertaciji.....	39
3.3. Pregled najvažnijih modela za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica	40
3.3.1. Empirijski modeli za određivanje kapaciteta	41
3.3.2. Modeli prihvatljivih intervala sleđenja	44
3.3.3. Modeli mikroskopske simulacije	49
3.3.4. Diskusija opisanih modela.....	54

3.4. Izbor modela za proračun kapaciteta	59
3.5. Kružne raskrsnice u priručniku <i>Highway Capacity Manual</i>	60
3.5.1. Highway Capacity Manual 2000 (<i>HCM 2000</i>)	60
3.5.2. Highway Capacity Manual 2010 (<i>HCM 2010</i>) i Highway Capacity Manual 6 (<i>HCM 6</i>)	64
4. Definisanje područja i metodologije istraživanja	82
4.1. Područje i vreme istraživanja	82
4.2. Metodologija istraživanja	86
4.3. Merenje parametara saobraćajnog toka	86
4.4. Prikupljanje i obrada podataka	90
5. Prikaz rezultata istraživanja	96
6. Definisanje i testiranje modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica	106
6.1. Teorijske postavke modela	106
6.2. Formiranje modela u realnom saobraćajnom toku	109
6.3. Testiranje modela	115
7. Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja	119
Literatura	121
Spisak priloga	133

Spisak tabela

Tabela 2.1. Parametri za izračunavanje kapaciteta prema HCM 2010 i HCM 6...	25
Tabela 3.1. Poređenje osnovnih ulaznih podataka koje dele glavni internacionalni modeli za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica	54
Tabela 3.2. Vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja za kružne raskrsnice, prema HCM 2000.....	62
Tabela 3.3. Nivo usluge i prosečni vremenski gubici.....	73
Tabela 3.4. Ekvivalentne vrednosti putničkog automobila	74
Tabela 3.5. Model prilagođavanja kapaciteta ulaza kružnih raskrsnica zbog uticaja pešačkih tokova, na ulaznim tokovima sa jednom trakom (prioritet imaju pešaci)	77
Tabela 3.6. Model prilagođavanja kapaciteta ulaza kružnih raskrsnica zbog uticaja pešačkih tokova, na ulaznim tokovima sa dve trake (prioritet imaju pešaci)	78
Tabela 4.1. Osnovni geometrijski i lokacijski podaci promatranih kružnih raskrsnica	83
Tabela 4.2. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Bijeljini ($n_e=1$, $n_c=1$)	90
Tabela 4.3. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Bijeljini ($n_e=1$, $n_c=1$).....	91
Tabela 4.4. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Brčkom ($n_e=1$, $n_c=1$)	91
Tabela 4.5. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Brčkom ($n_e=1$, $n_c=1$).....	91
Tabela 4.6. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Tuzli ($n_e=1$, $n_c=2$).....	92
Tabela 4.7. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Tuzli ($n_e=1$, $n_c=2$)	92
Tabela 4.8. Broj vozila u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Banja Luci ($n_e=2$, $n_c=2$).....	93
Tabela 4.9. Broj vozila u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Banja Luci ($n_e=2$, $n_c=2$).....	93
Tabela 4.10. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Banja Luci ($n_e=2$, $n_c=2$)	93
Tabela 4.11. Prikupljena veličina uzorka za kritične intervale sleđenja (t_c).....	94
Tabela 4.12. Prikupljena veličina uzorka za vremena sleđenja (t_f)	95
Tabela 5.1. Deskriptivne mere parametra t_c , na posmatranim kružnim raskrsnicama.....	102
Tabela 5.2. Deskriptivne mere parametra t_f , na posmatranim kružnim raskrsnicama.....	103
Tabela 5.3. Izmerene srednje vrednosti parametra kritični interval sleđenja (t_c).	104
Tabela 5.4. Izmerene srednje vrednosti parametra vreme sleđenja (t_f).....	104
Tabela 6.1. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za sve posmatrane kružne raskrsnice	110

Spisak slika

Slika 2.1. Elementi kružnih raskrsnica	7
Slika 2.2. Uslovi kretanja i konfiguracija ulivnih traka kružnih raskrsnica	8
Slika 2.3. Geometrijski elementi kružne raskrsnice	8
Slika 2.4. Geometrijski elementi ulaznog grla kružne raskrsnice.....	9
Slika 2.5. Potencijalne konfliktne tačke na klasičnoj četverokrakoj prioritetnoj raskrsnici i jednostručnoj četverokrakoj prioritetnoj kružnoj raskrsnici	10
Slika 2.6. Kretanje na trokrakoj i kružnoj raskrsnici	11
Slika 2.7. Izgled znakova za regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama ...	12
Slika 2.8. Šematski prikaz klasične kružne raskrsnice	15
Slika 2.9. Zvonasta kružna raskrsnica.....	15
Slika 2.10. Moderna kružna raskrsnica, Dublin, Ohio (SAD).....	16
Slika 2.11. Rotor, Fort Worth, Texas (SAD).....	17
Slika 2.12. Semaforisana kružna raskrsnica, Hollywood, Florida (SAD)	17
Slika 2.13. Kružna raskrsnica sekundarne putne mreže, Portland, Oregon (SAD).....	18
Slika 2.14. Šematski prikaz mini kružne raskrsnice.....	19
Slika 2.15. Mini kružna raskrsnica, Dimondale, Michigan (SAD).....	19
Slika 2.16. Šematski prikaz jednostručne kružne raskrsnice.....	20
Slika 2.17. Jednostručna kružna raskrsnica, Skagit County, Washington (SAD) ...	20
Slika 2.18. Šematski prikaz dvotračne kružne raskrsnice.....	21
Slika 2.19. Šematski prikaz trotračne kružne raskrsnice	21
Slika 2.20. Dvotračna kružna raskrsnica, Bend, Oregon (SAD)	22
Slika 2.21. Razlike između termina „gap“ i „headway“	23
Slika 3.1. Ilustracija Siegloch-ovog modela	30
Slika 3.2. Funkcija raspodele kritičnih intervala sleđenja između funkcije maksimalnog odbačenog intervala i minimalno prihvaćenog	33
Slika 3.3. Kapacitet kružnih raskrsnica prema HCM 2010.....	46
Slika 3.4. Odnos između koeficijenta izlaznog toka u odnosu na odstojanje razdvajanja između ulazne i izlazne trake istog kraka kružne raskrsnice	51
Slika 3.5. Poređenje posmatranih tokova jednogminutnih kapaciteta na istočnom ulazu kružne raskrsnice A33 / B3349 sa tokovima na komercijalnom modelu mikroskopske simulacije (koristeći zadate parametre)	52
Slika 3.6. Primer modela mikroskopske simulacije	53
Slika 3.7. Kapacitet prilaza kružne raskrsnice za gornju i donju granicu kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, prema HCM 2000	62
Slika 3.8. Definisane manevara na ulazima kružne raskrsnice prema HCM 2000.....	63
Slika 3.9. Prikaz jednog kraka kružne raskrsnice	65
Slika 3.10. Prikaz jednostručne kružne raskrsnice, jedna traka na ulazu i u kružnom toku	67
Slika 3.11. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa dve ulazne trake i jednom trakom u kružnom toku.....	69
Slika 3.12. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa jednom ulaznom trakom i dve trake u kružnom toku.....	69
Slika 3.13. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa dve ulazne trake i dve trake u kruženju.....	70
Slika 3.14. Kapacitet jednostručnih i dvotračnih kružnih raskrsnica	71
Slika 3.15. Dodatna traka za desno skretanje	71
Slika 3.16. Proračun intenziteta konfliktnog toka	75
Slika 3.17. Izračunavanje izlaznog toka	76

Slika 3.18. Vrednosti faktora učešća pešaka (f_{ped}) na kapacitet ulaznog toka, za kružne raskrsnice sa jednom ulaznom saobraćajnom trakom	77
Slika 3.19. Vrednosti faktora učešća pešaka (f_{ped}) na kapacitet ulaznog toka, za kružne raskrsnice sa dve ulazne saobraćajne trake	78
Slika 4.1. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Bijeljini, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina (2018)	84
Slika 4.2. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Brčkom, Brčko Distrikt Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina (2018)	84
Slika 4.3. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina (2018)	85
Slika 4.4. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Tuzli, Federacija Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina (2018)	85
Slika 4.5. Kamera kojom je vršeno snimanje	87
Slika 4.6. Prikaz parametara izabranog frejma	88
Slika 4.7. Prikaz video zapisa lokacije kružne raskrsnice u Tuzli (program KMPlayer)	88
Slika 5.1. Opis vrednosti koje se nalaze na grafikonu Box plot	96
Slika 5.2. Prikaz izmerenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja u programu Microsoft Office Excel 2016	97
Slika 5.3. Prikaz statističke obrade podataka u programu Minitab 18.1.0.	98
Slika 5.5. Box plot dijagrami parametra t_c posmatranih kružnih raskrsnica, sa outliers	100
Slika 5.6. Box plot dijagrami parametra t_c posmatranih kružnih raskrsnica, bez outliers	100
Slika 5.7. Box plot dijagrami parametra t_f posmatranih kružnih raskrsnica, sa outliers	101
Slika 5.8. Box plot dijagrami parametra t_f posmatranih kružnih raskrsnica, bez outliers	101
Slika 6.1. Contour Plot za vrednosti parametra f_{nre} – prikaz prvi	110
Slika 6.2. Contour Plot za vrednosti parametra f_{nre} – prikaz drugi	111
Slika 6.3. Surface Plot za vrednosti parametra f_{nre}	111
Slika 6.4. Uporedni dijagram srednjih vrednosti kapaciteta prema istraživanju i HCM-u	114

Spisak oznaka i skraćenica

- HCM* – Highway Capacity Manual;
- TWSC*– raskrsnice tipa *TWSC* (engl. *Two way stop controlled*) predstavljaju prioritetne raskrsnice, kod kojih se na dva prilaza radi regulisanja režima saobraćaja postavljaju saobraćajni znaci „obavezno zaustavljanje” (II-2) i/ili „ustupanje prvenstva prolaza” (II-1);
- AWSC*– raskrsnice tipa *AWSC* (engl. *All way stop controlled*) predstavljaju prioritetne raskrsnice, kod kojih se na svim prilazima, radi regulisanja režima saobraćaja, postavljaju saobraćajni znaci „obavezno zaustavljanje” (II-2) i/ili „ustupanje prvenstva prolaza” (II-1);
- PSS* – pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji;
- LOS* – nivo usluge (engl. *Level of service*);
- r_c – poluprečnik upisanog kruga raskrsnice (m);
- r_{ci} – poluprečnik kružnog podeonika (m);
- r_e – poluprečnik zaobljenja ulaza (m);
- w_e – širina ulaza u kružni prsten, odnosno zonu preplitanja (m);
- w_w – širina kružnog prstena, odnosno zone preplitanja (m);
- l_w – dužina zone preplitanja između dva uzastopna prilaza (m);
- w_a – polovina širine prilaza (m);
- l_f – efektivna dužina na kojoj je izvršeno proširenje prilaza (m);
- s_p – oštrina preplitanja $s_p = (w_e - w_a) / l_f$;
- 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 sleđenja (s);
- t_f – vreme sleđenja (s);
- $f_{HV,e}$ – faktor učešća/uticaja teretnih vozila na kapacitet;
- f_{ped} – faktor učešća/uticaja pešaka na kapacitet;
- f_{nre} – faktor učešća nerezidentnih vozača na kapacitet;
- P_{nre} – procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (%);
- q_p – intenzitet konfliktnog toka (voz/h);
- $h(t)$ – statistička funkcija gustine svih intervala u prioritetnom toku;
- $g(t)$ – broj vozila na sporednom toku koja mogu obaviti sporedni manevar u vremenskom intervalu t ;
- c – kapacitet (voz/h);
- a_d – prihvaćeni interval (s);
- r_d – najveći odbačeni interval (s);
- N_i – vrednosti svih izmerenih intervala (s);
- A_i – vrednosti prihvaćenih intervala (s);
- CDF* – kumulativna distributivna funkcija;
- μ_a – srednje vrednosti prihvaćenih intervala (s);
- σ_a – standardno odstupanje (devijacija) prihvaćenih intervala;
- $t_{c,d}$ – kritični interval za vozača d (s);
- \bar{t}_c – prosečan kritični interval kompletne populacije vozača (s);
- ε_d – standardna devijacija kritičnih intervala za vozača d od srednje vrednosti \bar{t}_c ;
- C_b – faktor prilagođavanja za urbana / ruralna područja;

- Q_d – funkcija toka u kruženju (V_c), izlaznog toka (V_e) na istom kraku kružne raskrsnice, i geometrijskih parametara;
- C_a – kapacitet prilaza (voz/h);
- C_e – kapacitet ulazne trake (voz/h);
- $C_{e,pce}$ – kapacitet ulazne trake, prilagođen teretnim vozilima (PA/h);
- $V_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka izražen u (PA/h);
- $C_{e,R,pce}$ – kapacitet desne ulazne trake, prilagođen teretnim vozilima (PA/h);
- $C_{e,L,pce}$ – kapacitet leve ulazne trake, prilagođen teretnim vozilima (PA/h);
- $C_{bypass,pce}$ – kapacitet dodatne trake za desno skretanje (*bypass*), prilagođen teretnim vozilima (PA/h);
- $V_{ex,pce}$ – intenzitet izlaznog toka (PA/h);
- V_{ex} – intenzitet izlaznog toka (voz/h);
- $V_{m,pce}$ – protok za manevar i , izražen u (PA/h);
- V_m – protok za manevar i , izražen u (voz/h);
- P_T – učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku;
- E_T – ekvivalentna jedinica putničkog automobila;
- n_{ped} – broj konfliktnih pešaka po satu (p/h);
- v_i – protok za traku i , izražen u (voz/h);
- $v_{i,pce}$ – protok za traku i , izražen u (PA/h);
- x_i – stepen iskorišćenja kapaciteta za posmatranu ulaznu traku (v_i / c_i);
- d – prosečni vremenski gubici (s/voz);
- x – stepen iskorišćenja kapaciteta posmatrane trake;
- c – kapacitet posmatrane trake (voz/h);
- T – analizirani period (h) – ako je 15 min, onda je $T=0,25h$;
- d_{is} – prosečni vremenski gubici za celu raskrsnicu (s/voz);
- d_i – prosečni vremenski gubici za prilaz i (s/voz);
- d_x – vremenski gubici sporednog manevra x (s);
- T – vremenski interval za koji se posmatraju vremenski gubici (h);
- t – prihvatljivi vremenski interval sleđenja (s);
- X – oznaka sporednog manevra;
- \bar{x}_a – srednje vrednosti prihvaćenih intervala (s);
- q_M, q_m – protoci na glavnim i sporednim pravcima;
- α – minimalni prihvatljivi interval sleđenja na glavnom toku (s);
- β_M, β_m – minimalne vrednosti intervala sleđenja na glavnim i sporednim pravcima (s);
- σ_a – standardno odstupanja prihvaćenih intervala (s);
- $R-Sq$ – koeficijent determinacije;
- $R-Sq(adj)$ – korigovani koeficijent determinacije;
- S – standardna greška ili standardna devijacija regresije;
- σ^2 – procena varijanse;
- $t_{c,x}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (s);
- $t_{f,x}$ – vrednost vremena sleđenja u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (s);
- $t_{c,re}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja dobijenog istraživanjem za rezidentne vozače (s);
- $t_{c,nre}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja dobijenog istraživanjem za nerezidentne vozače (s);
- $t_{f,re}$ – vrednost vremena sleđenja dobijenog istraživanjem za rezidentne vozače (s);

- $t_{f,nre}$ – vrednost vremena sleđenja dobijenog istraživanjem za nerezidentne vozače (s);
- P_{nre} – procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (%);
- $C_{i,pce,x}$ – kapacitet ulazne trake i , za definisano procentualno učešće rezidentnih (re), odnosno nerezidentnih (nre) vozača u saobraćajnom toku, izražen u (PA/h).

Rezime

Iskustva mnogih država pokazuju da je veoma korisno raditi korekcije vrednosti ulaznih parametara u postojećim procedurama za izračunavanje kapaciteta raskrsnica, odnosno vrednosti parametara prilagoditi rezultatima lokalnih istraživanja. Ponašanje vozača i lokalne navike mogu znatno uticati na vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja i preko njih na kapacitet kružnih raskrsnica. U teoriji saobraćajnog toka je poznato da se vozači koji koriste neku deonicu puta svaki dan različito ponašaju u odnosu na one vozače koji je koriste povremeno, retko ili po prvi put. Prethodnim istraživanjima je utvrđeno da razlika u ponašanju ove dve grupe vozača može da utiče na kapacitet puta i do 25%, a izražava se pomoću Driver Population Adjustment Factors. Ovakva valorizacija ponašanja vozača na kapacitet kružnih raskrsnica do sada nije istražena. Istraživanjem koje je sprovedeno u okviru ovog rada dokazano je da postoji značajan uticaj ponašanja rezidentnih i nerezidentnih vozača na kružnim raskrsnicama, naročito na prihvatanje slobodnih praznina u konfliktnom toku, a samim tim i na vrednost kritičnih intervala sleđenja. Uticaj karakteristika nerezidentnih vozača na kapacitet kružnih raskrsnica moguće je izraziti preko Faktora učešća nerezidentnih vozača (f_{nre}). U skladu sa tim, postojećem modelu za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica u HCM 6 ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)) treba pridodati ovaj novi parametar što bi omogućilo preciznije izračunavanje praktičnog kapaciteta kružnih raskrsnica. Istraživanja ove problematike u svetu su izuzetno retka, a naročito na području našeg regiona. Uticaj ponašanja vozača na kapacitet signalisanih raskrsnica je 2000. godine eksperimentalno potvrđen ([Zhou, Lu, Mierzejewski, & Le, 2000](#)), što je bio jedan od povoda za istraživanje i izradu doktorske disertacije. Na osnovu sprovedenih istraživanja utvrđena je i valorizovana razlika u ponašanju nerezidentnih vozača na vrednost kritičnog intervala sleđenja, a zatim je formiran model kojim je definisano kako zastupljenost jedne ili druge grupe vozača utiče na kapacitet kružne raskrsnice. Generalno, sa povećanjem učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku smanjuje se kapacitet kružnih raskrsnica, dok se sa smanjenjem učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku povećava kapacitet kružnih raskrsnica. S obzirom da se u ovoj specijalizovanoj stručnoj oblasti očekuje veliki naučni doprinos, očekuje se značajno interesovanje šire stručne javnosti koja se bavi regulisanjem, upravljanjem i bezbednošću saobraćaja, kako na kružnim raskrsnicama tako i na drugim tipovima nesignalisanih raskrsnica.

Ključne reči: kružna raskrsnica, ponašanje vozača, rezidentni vozači, nerezidentni vozači, kritični interval sleđenja, kapacitet

Abstract

The experience of many countries shows that it is very useful to make the corrections of input parameter values in existing procedures for calculating intersection capacity, i.e. to adjust the parameter values to the results of local research. Driver behavior and local habits can significantly affect the values of the critical headways and follow-up headways, and, over them, the capacity of roundabouts. In traffic flow theory, it is known that drivers who use a certain section of road each day behave differently than those drivers who use it occasionally, rarely or for the first time. Previous research has found that the difference in behavior of these two groups of drivers can affect the road capacity by up to 25%, and is expressed by Driver Population Adjustment Factors. The valorization of driver behavior on the capacity of roundabouts has not been explored so far. The research conducted in this paper has proved that there is a significant influence of the behavior of resident and non-resident drivers at roundabouts, in particular, on the gap acceptance in a conflicting flow, and therefore on the value of critical headways. The impact of the characteristics of non-resident drivers on the capacity of roundabouts can be expressed through the Non-Resident Factor (f_{nre}). In accordance with the existing model for the calculation of roundabout capacity in HCM 6 ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)), this new parameter should be added, which would provide more accurate calculation of the practical roundabout capacity. Research on this issue is extremely rare in the world, especially in our region. The influence of driver behavior on the capacity of signalized intersections was experimentally confirmed in 2000 ([Zhou, Lu, Mierzejewski, & Le, 2000](#)), which was one of the reasons for the research and creation of the doctoral thesis. Based on the conducted research, the difference in the behavior of non-resident drivers on the value of critical headway was valorized and determined and then a model was created to define how the participation of one or the other group of drivers affects the capacity of the roundabout. In general, with the increase in the participation of non-resident drivers in traffic flow, the capacity of roundabouts decreases, while the decrease in the participation of non-resident drivers in traffic flow increases the capacity of roundabouts. Since a great scientific contribution is expected in this specialized field of expertise, considerable interest is expected from the wider professional public concerned with regulation, management and safety of traffic, both at roundabouts and other types of unsignalized intersections.

Keywords: roundabout, driver behavior, resident drivers, non-resident drivers, critical headway, capacity

1. Uvod

Raskrsnice predstavljaju mesta na kojima dolazi do presecanja i privremenog prekidanja saobraćajnih tokova, kako bi se ustupio prioritet vozilima koja se kreću putem sa prvenstvom prolaza. Mogu biti površinske (u jednom nivou) i denivelisane (u više nivoa). Površinske raskrsnice su najšire zastupljeni način ukrštanja saobraćajnih tokova, a dele se na klasične i kružne raskrsnice. Shodno načinu regulisanja saobraćaja, raskrsnice mogu biti nesignalisane i signalisane (Maletin, 2009), (Bogdanović, Ruškić, Kulović, & Han, 2013).

U okviru disertacije biće analizirane isključivo nesignalisane kružne raskrsnice gde je način regulisanja saobraćaja izvršen postavljanjem vertikalne i horizontalne saobraćajne signalizacije, kojom se daje prioritet/prvenstvo prolaza vozilima u kružnom saobraćajnom toku u odnosu na ulazne saobraćajne tokove (tzv. prioritetne kružne raskrsnice).

Pregled istorije kružnih raskrsnica u Evropi i Sjedinjenim Američkim Državama dao je *Mike Brown* u svojoj knjizi „*Projektovanje raskrsnica sa kružnim tokom*“, u kojoj se navodi da je 1903. godine Francuz *Eugène Hénard* prezentovao prvi koncept kružnog saobraćajnog toka, dok je prvi kružni sistem, pod nazivom „*Columbus circle*“, izgrađen u Njujorku 1905. godine od strane *William Phelps Eno*. U Evropi su prve kružne raskrsnice izgrađene u Francuskoj u Parizu 1907. godine na mestu „*Place De L'etoil*“, dok je u Velikoj Britaniji 1910. godine to bio „*Sollershott Circus*“ (Brown, 1995).

Krajem XX i početkom XXI veka izgradnja kružnih raskrsnica je naročito intenzivirana zbog jednostavnog koncepta i pozitivnih efekata na odvijanje i bezbednost saobraćaja. Usled efekta usporavanja saobraćaja, na kružnim raskrsnicama daleko je manji broj saobraćajnih nezgoda i štetnih posledica koje one prouzrokuju, u odnosu na druge vrste i tipove raskrsnica. Pozitivan efekat

kružnih raskrsnica se ogleda i u polju zaštite životne sredine (smanjuju buku i emisiju štetnih gasova) i prostornog estetskog uređenja (Kenjić, 2009).

Najveći broj metodologija za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica zasnovan je na *Harders* ili *Siegloch* modelu. Pomenuti modeli za proračun kapaciteta zasnovani su na teoriji verovatnoće pojave vremenskih intervala (praznina) u prioritetnom toku, koji su dovoljni za izvršenje sporednog manevra, odnosno uključenja sa ulaznog (sporednog) toka u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Minimalni vremenski interval u prioritetnom, kružnom toku, koji omogućava izvršenje sporednog manevra – uključenja u prioritetni tok naziva se kritični interval sleđenja. Pored ovog parametra u modelima za proračun kapaciteta figuriše i vreme sleđenja koje predstavlja vremenski interval koji protekne od momenta uključenja vozila sa linije preglednosti (linije zaustavljanja) do momenta zaustavljanja sledećeg vozila iz reda čekanja na liniju preglednosti (liniju zaustavljanja). U praksi se prilikom izračunavanja kapaciteta najčešće koriste preporučene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja date u priručniku *Highway Capacity Manual 6 – HCM 6* ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)). Ponašanje vozača u lokalnim sredinama ima uticaja prilikom izbora ovih vremenskih intervala, pa se preporučuje vršenje lokalnih merenja. Lokalna merenja mogu poslužiti za postupke operativne analize, ali za postupke planske analize lokalna merenja nemaju značaj ([Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019](#)).

Dosadašnja istraživanja pokazuju da najveći uticaj na ponašanje vozača ima poznavanje lokalnih uslova, odnosno da li vozači svakodnevno ili često koriste put ili se na tom delu putne mreže pojavljuju prvi put ili retko. Za razliku od modela za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica, u drugim postupcima za proračun kapaciteta uticaj karakteristika vozača se valorizuje kroz *Driver Population Adjustment Factors*, čija vrednost na putevima može uticati na kapacitet i do 25%. Istraživanja, na osnovu kojih je izrađena disertacija, pokazuju da ponašanje različitih grupa vozača (rezidentni i nerezidentni) utiče na vrednosti prihvaćenih kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, što se direktno odražava i na kapacitet kružnih raskrsnica. Ovaj uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica je moguće valorizovati kroz *Faktor učešća nerezidentnih vozača* (f_{nre}). Definisanjem ovog faktora stvaraju se uslovi da se u postupcima za proračun kapaciteta, posebno prilikom planske analize, ovaj uticaj objektivno valorizuje, što je u dosadašnjim istraživanjima prepoznato kao problem za koji nije dato rešenje. Shodno tome, definisan je model za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica zavisno od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku ([Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019](#)).

1.1. Definisane problema i cilja istraživanja

Kao vrsta nesignalisanih raskrsnica izdvajaju se kružne raskrsnice, na čiji kapacitet, između ostalog, utiče i ponašanje vozača. HCM 6 preporučuje vršenje lokalnih merenja radi utvrđivanja vrednosti kritičnog intervala sleđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku i vrednosti vremena sleđenja vozila u ulaznom (sporednom) toku, a iz razloga postojanja uticaja različitih lokalnih faktora, koji nisu identični u svim sredinama.

Uticaj karakteristika vozača se prema modelu datom u HCM 6 ne valorizuje pri izračunavanju kapaciteta kružnih raskrsnica. Objektivno se može pretpostaviti da se različito ponašaju vozači koji su u tranzitu od vozača koji svakodnevno prolaze raskrsnicom (Bogdanović, 2005). I pored toga što je ponašanje vozača u lokalnim uslovima prepoznato kao faktor koji utiče na kapacitet raskrsnica, do sada nije razvijen model kojim bi se valorizovao ovaj uticaj na kapacitet kružnih raskrsnica.

Usled pretpostavke da se rezidentni i nerezidentni vozači značajno razlikuju po pitanju ponašanja i karakteristika, za očekivati je da prisustvo nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku utiče na vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, a samim tim i na kapacitet kružnih raskrsnica.

S obzirom na napred navedeno, bazni pravci istraživanja u okviru doktorske disertacije su usmereni na utvrđivanju vrednosti parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja za dve potpuno različite grupe vozača (rezidentne i nerezidentne vozače), koji su u istraživanju određeni na sledeći način:

- **Rezidentni vozači** – učesnici saobraćajnog toka koji često ili svakodnevno prolaze vozilom kroz promatrane kružne raskrsnice i
- **Nerezidentni vozači** – učesnici saobraćajnog toka koji povremeno, retko ili po prvi put prolaze kroz promatrane kružne raskrsnice, a koji se identifikuju prema registarskim tablicama vozila (inostrane registarske tablice).

Kako je ponašanje vozača u korelaciji sa poznavanjem lokalnih uslova istraživanje je sprovedeno u lokalnim uslovima. Zbog činjenica da je u ranijim istraživanjima prepoznato da se vozači koji svakodnevno ili često koriste neki deo putne mreže ponašaju drugačije u poređenju sa vozačima koji ga koriste retko ili po prvi put, istraživanje je orijentisano ka utvrđivanju uticaja karakteristika dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni). Usled različitog poznavanja lokalnih uslova, pretpostavlja se da ponašanje rezidentnih i nerezidentnih vozača različito utiče na vrednost parametara saobraćajnog toka, a samim tim i na kapacitet raskrsnica. Naime, pošto su nerezidentni vozači učesnici u saobraćaju koji povremeno, retko ili po prvi put prolaze kroz posmatrane kružne raskrsnice,

odnosno nedovoljno poznaju njihove karakteristike, očekivano je da će njihov način prihvatanja kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja biti drugačiji u odnosu na rezidentne vozače koji su upoznati sa lokalnim uslovima. Objektivno se može pretpostaviti da su prihvaćene vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja usled nepoznavanja lokalnih uslova veće kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače. U skladu sa tim, srazmerno povećanje učešća nerezidentnih vozača dovodi do smanjenja praktičnog kapaciteta kružnih raskrsnica. Na osnovu utvrđenih zakonitosti između vrednosti pomenutih parametra za jednu i drugu grupu vozača, definisaće se model za proračun faktora učešća nerezidentnih vozača radi unapređenja postojećih postupaka za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica. Nerezidentni vozači se pojavljuju u većem procentu na tranzitnim putnim pravcima i u turističkim regijama, kada u periodu godišnjih odmora ovi vozači često čine veliki deo vozačke populacije. Iz tog razloga proračun kapaciteta kružnih raskrsnica sa preporučenim vrednostima ulaznih parametara, bez uvažavanja uticaja nerezidentnih vozača, može dati nerealne rezultate. Sve to može uticati na pogrešnu ocenu stanja, kao i mera koje treba preduzeti da bi se poboljšao nivo usluga na kružnim raskrsnicama.

Osnovni cilj istraživanja jeste kreiranje modela za valorizaciju uticaja zastupljenosti nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku na kapacitet kružnih raskrsnica. Kreiranjem modela, kojim bi se definisao uticaj ponašanja vozača na kapacitet kružnih raskrsnica, u skladu sa zastupljenošću nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, otklonili bi se nedostaci koji trenutno vladaju u postojećim metodologijama. Zapravo, postojeće metodologije za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica ne razmatraju uticaj nerezidentnih vozača, pa se njihov objektivni uticaj na kružnim raskrsnicama ne može sagledati, bez obzira što je u teoriji saobraćajnog toka poznato da on postoji. Ovaj uticaj je potrebno valorizovati kao *Faktor učešća nerezidentnih vozača* (f_{nre}), koji se prema modelu datom u HCM 6 ne uzima u razmatranje pri izračunavanju kapaciteta kružnih raskrsnica (Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019).

1.2. Postavljanje polaznih hipoteza

Vozači individualno procenjuju saobraćajnu situaciju, što znači da je vozač taj koji ocenjuje prihvatljive vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja dok odlučuje o izvođenju sporednog manevra uključenja u kružni saobraćajni tok, a na osnovu njegovih navika, prethodnog znanja i veština.

Kako su nerezidentni vozači učesnici u saobraćaju koji povremeno, retko ili po prvi put prolaze kroz posmatrane kružne raskrsnice, za očekivati je da će i njihov način prihvatanja kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja biti drugačiji u odnosu na rezidentne vozače koji vozilom svakodnevno prolaze preko predmetnih kružnih raskrsnica. Usled toga, može se pretpostaviti da su vrednosti

kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja prilikom izvođenja sporednog manevra uključenja vozila u kružni saobraćajni tok veće kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače. Shodno tome, proizilazi da će sa povećanjem stepena učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku doći do smanjenja kapaciteta kružnih raskrsnica, odnosno da će sa smanjenjem stepena učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku doći do povećanja kapaciteta kružnih raskrsnica.

Uzevši u obzir sve napred navedeno, postavljaju se sledeće hipoteze:

- H1: Vrednosti kritičnog intervala sleđenja vozila (t_c), prilikom izvođenja manevra uključenja vozila sa ulaznog (sporednog) toka u kružni (prioritetni) saobraćajni tok, su veće kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače.
- H2: Vrednosti vremena sleđenja vozila (t_f), prilikom izvođenja manevra uključenja vozila sa ulaznog (sporednog) toka u kružni (prioritetni) saobraćajni tok, su veće kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače.
- H3: Utvrđivanjem vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače, moguće je odrediti model za definisanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica.

Napred navedene hipoteze potrebno je dokazati primenom potvrđenih matematičkih i statističkih metoda, a na osnovu prethodne obrade merodavnog uzorka prikupljenog snimanjem kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja na odabranim kružnim raskrsnicama u uslovima realnog saobraćajnog toka, za dve različite grupacije vozača (rezidentni i nerezidentni vozači).

1.3. Metode istraživanja

U Disertaciji će biti primenjene opšte prihvaćene metode analize i sinteze, metoda komparacije, metoda interpolacije, metoda statističke obrade podataka, grafičko i analitičko prikazivanje rezultata, kao i druge metode za koje se ukaže potreba kako bi se utvrdio uticaj ponašanja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica.

Primena metodologije za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica koja je data u HCM 6, biće upotpunjena istraživanjima kojima je utvrđen uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica, u realnom saobraćajnom toku.

1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima

U okviru drugog poglavlja date su opšte karakteristike kružnih raskrsnica, njihovi osnovni geometrijski i saobraćajni elementi, kao i najznačajnije odlike, prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica. Pored toga izvršena je podela kružnih raskrsnica po osnovu više kriterijuma, te je prikazan način proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica.

U trećem poglavlju prikazana je analiza najvažnijih istraživanja vezanih za procenu vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja. Osim pregleda, dat je i kritički osvrt, prednosti i nedostaci pojedinih metoda u praktičnoj primeni, te je objašnjena metoda za procenu parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja koja je korišćena u disertaciji. Najvažniji modeli za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica su takođe dati u trećem poglavlju, nakon čega je sprovedena diskusija o izabranom modelu. Kako je za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica izabran *Siegloch*-ov model koji je dat u *Highway Capacity Manual (HCM)*, u ovom poglavlju su predstavljeni i koncepti i metodologija za proračun kapaciteta svih tipova kružnih raskrsnica prema *HCM*-u

U okviru četvrtog poglavlja definisano je područje i vreme sprovedenog istraživanja, te je precizno objašnjen metod koji je korišten za merenje kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja. Nakon toga, sistematično je predstavljen način prikupljanja i obrade podataka, kao i ukupna veličina uzorka koji je bio predmet istraživanja.

Peto poglavlje sadrži rezultate dobijene istraživanjem na terenu, snimanjem realnog saobraćajnog toka, na prethodno odabranim lokacijama kružnih raskrsnica. Prikazani su rezultati svih relevantnih parametara neophodnih za definisanje modela kojim se određuje uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica. Takođe, izvršeno je poređenje vrednosti kritičnih intervala sleđenja, vremena sleđenja i kapaciteta dobijenih istraživanjem sa njihovim vrednostima preporučenim u *HCM*-u.

Postupak formiranja matematičkog modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica predstavljen je u šestom poglavlju disertacije. Ovde su prikazane detaljne teorijske postavke, nakon čega je formiran model za realni saobraćajni tok. Na kraju ovog poglavlja dati su i rezultati testiranja modela.

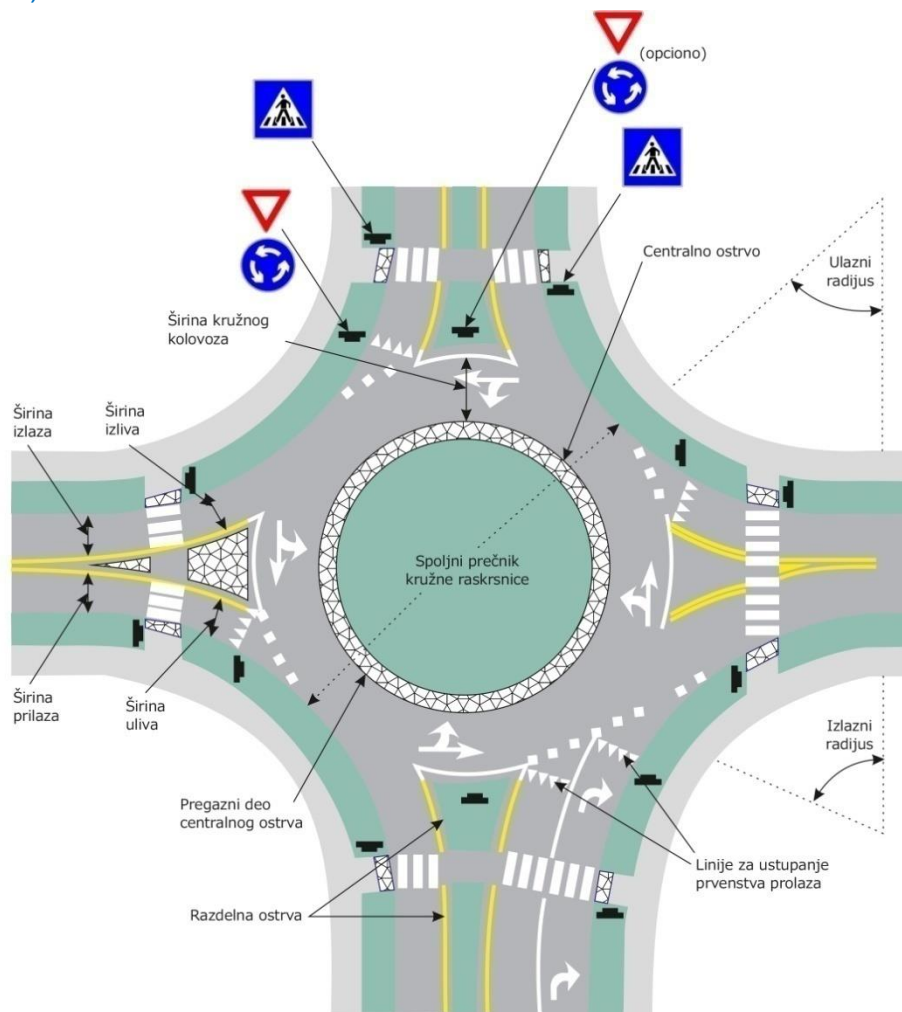
U sedmom poglavlju su predstavljeni zaključci, preporuke i pravci daljih istraživanja. Izvedeni su osnovni zaključci do kojih se došlo tokom izrade disertacije, a koji su vezani za hipoteze postavljene na početku rada. Pored toga, date su osnovne preporuke i smernice, kao i predlog daljih istraživanja, za sve one koji u budućnosti budu želeli da se bave ovom problematikom.

2. Opšte karakteristike kružnih raskrsnica

Kružne raskrsnice predstavljaju poseban oblik površinskih prioritetnih raskrsnica. Imaju kružni podeonik koji može biti neprohodan, delimično prohodan ili prohodan za vozila, i kružni kolovoz u koji se ulivaju tri ili više krakova puta i po kojem se odvija vožnja u smeru suprotnom od smera kretanja kazaljke na satu.

2.1. Osnovni elementi kružnih raskrsnica

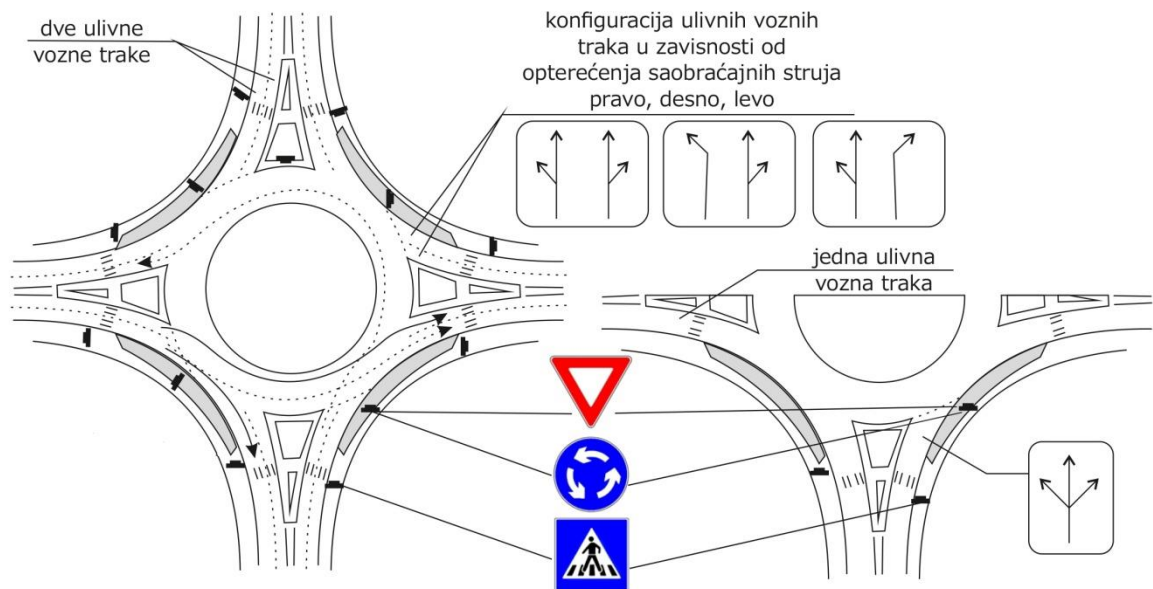
Kod kružnih raskrsnica primenjuju se elementi koji se značajno razlikuju od klasičnih raskrsnica sa presecanjem saobraćajnih struja. Korišćenjem kružnog podeonika (centralnog ostrva) prinudno se usmeravaju putanje svih vozila koja ulaze u raskrsnicu nezavisno od njihove orijentacije (pravo, levo ili desno). Najbitniji elementi koji dominantno utiču na karakteristike kružne raskrsnice kao što su npr. brzina kretanja, propusna moć, bezbednost, gubici vremena i sl. su: prečnik upisane kružnice, širina uliva i izliva, odnosno broj voznih traka uliva ili izliva i širina kolovoza kružnog toka, *Slika 2.1* (Maletin, 2009), (Brewer, Murillo, & Pate, 2014).



Slika 2.1. Elementi kružnih raskrsnica

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

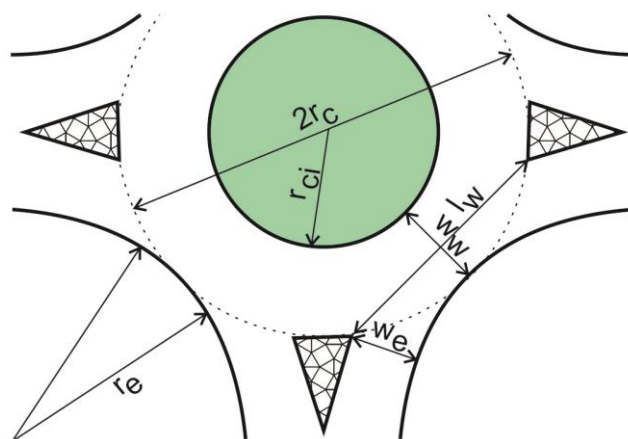
Prema (Maletin, 2009), površinske raskrsnice sa kružnim tokom vozila predstavljaju posebnu porodicu rešenja gde nema razdvajanja na glavni i sporedni pravac niti kompletnog razlaganja na saobraćajne struje. Zapravo, saobraćajne struje pravo, levo ili desno imaju iste uslove ulivanja, kolizije, kružnog kretanja i izlivanja, s tim da prednost uvek imaju vozila u kružnom toku (Slika 2.2).



Slika 2.2. Uslovi kretanja i konfiguracija ulivnih traka kružnih raskrsnica

*Izvor: Maletin, M. (2009), Sl. 5-27.

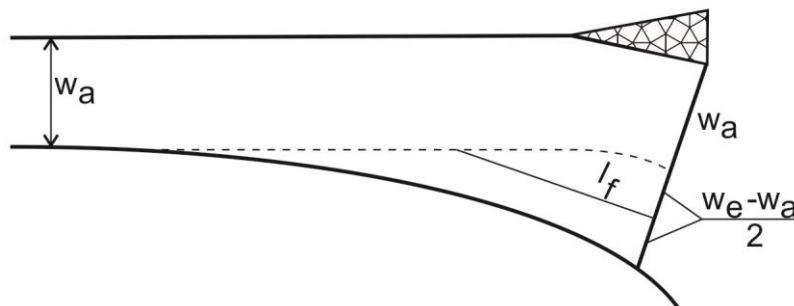
Kružna raskrsnica se sastoji od prilaza, kružnog ostrva i kružnog prstena, odnosno tranzitne zone u kojoj dolazi do preplitanja tokova koji se ukrštaju. Prilazi su najčešće kanalisan tako da su ulazno i izlazno grlo fizički odvojeni. Prilazi se zbog lakšeg ulaska vozila u kružni prsten zaobljavaju većim radijusom nego kod klasičnih površinskih raskrsnica, što na ulaznom grlu ostavlja dosta prostora za formiranje više od jedne saobraćajne trake. Broj prilaza kružne raskrsnice određen je i ograničen površinom na kojoj se raskrsnica može izvesti, mada u slučaju kada se ukršta više od četiri saobraćajnice, kružne raskrsnice predstavljaju najbolje prihvatljivo rešenje.



Slika 2.3. Geometrijski elementi kružne raskrsnice

Osnovni geometrijski elementi kružnih raskrsnica (Slika 2.3 i 2.4) 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 $s_p = (w_e - w_a) / l_f$.

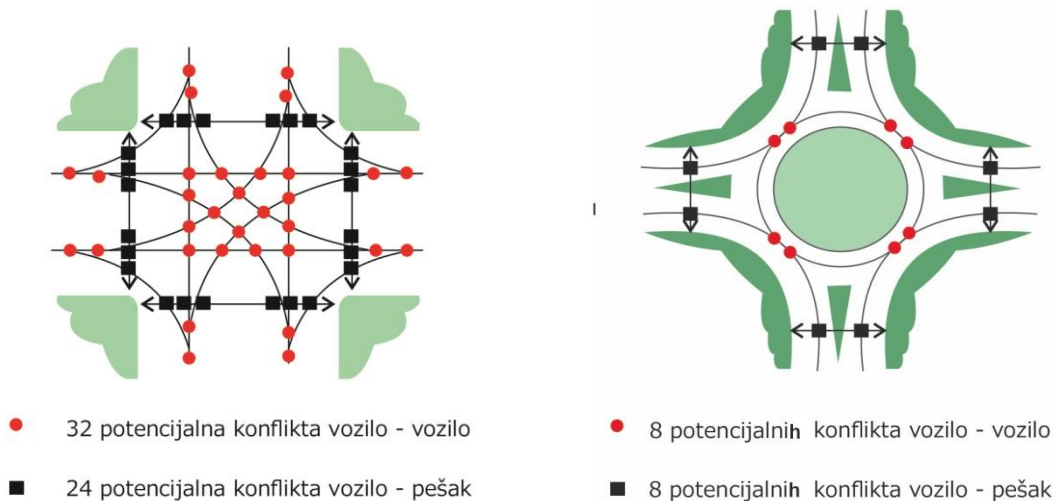


Slika 2.4. Geometrijski elementi ulaznog grla kružne raskrsnice

2.2. Saobraćajne karakteristike kružnih raskrsnica

Pod saobraćajnim karakteristikama kružne raskrsnice podrazumevaju se konfiguracija ulaznog grla i hijerarhija kretanja konfliktnih tokova u okviru kružnog prstena, odnosno zone preplitanja. Ulazna grla kružnih raskrsnica srednje veličine najčešće se sastoje od dve saobraćajne trake, a što može zavisiti i od broja saobraćajnih traka u kružnom prstenu. Konfiguracija ulaznog grla je određena načinom funkcionisanja kružnih raskrsnica, tako da je krajnja desna saobraćajna traka namenjena za skretanje desno na susednom izlaznom grlu, dok su ostale saobraćajne trake namenjene za kretanje kroz tranzitnu zonu i skretanje na drugim izlazima iz kružne raskrsnice (Bogdanović, 2005).

Sa stanovišta nivoa saobraćajne bezbednosti, u poređenju sa klasičnim trokrakim i četverokrakim raskrsnicama, glavna prednost kružnih raskrsnica je u eliminisanju ili smanjenju konfliktnih površina i konfliktnih tačaka prvog reda (presecanje) i drugog reda (preplitanje), kao i smanjenje konfliktnih tačaka trećeg reda (priključivanje, odvajanje). Teoretski, klasična četverokraka raskrsnica ima 32 konfliktnih tačke (16 presecanja, 8 razdvajanja, i 8 udruživanja/spajanja), a jednostručna četverokraka kružna raskrsnica ima samo 8 konfliktnih tačaka nižeg reda (4 razdvajanja i 4 udruživanja/spajanja). Na Slici 2.5 dat je prikaz potencijalnih konfliktnih tačaka na klasičnoj četverokrakoju raskrsnici i kružnoj raskrsnici.



Slika 2.5. Potencijalne konfliktne tačke na klasičnoj četverokrakoj prioritetnoj raskrsnici i jednostranoj četverokrakoj prioritetnoj kružnoj raskrsnici

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

Usled specifičnog geometrijskog oblika, prosečna 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. Sa druge strane, usporavanje toka usled manjih brzina kretanja ponekada se tretira kao mana kružnih raskrsnica.

Opšte je prihvaćeno mišljenje da su kružne raskrsnice bezbednije od ostalih tipova površinskih raskrsnica, zbog manjeg broja presečnih tačaka i manje brzine kretanja kroz kružni prsten.

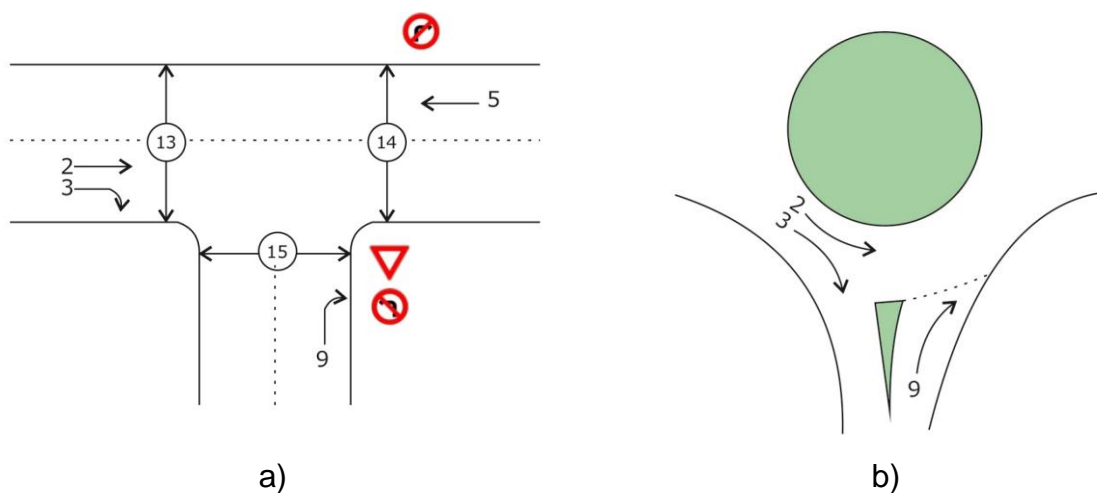
Posmatrajući Sliku 2.5 primetno je da je na prioritetnim kružnim raskrsnicama smanjen broj potencijalnih konfliktnih tačaka, a zbog načina ukrštanja eliminisana su i kretanja najnižeg ranga.

Najčešći način regulisanja saobraćaja na kružnim raskrsnicama podrazumeva pravo prvenstva prolaza tokovima koji se nalaze u kruženju. Isključivo ovaj tip kružnih raskrsnica je posmatran u procesu istraživanja sprovedenog za potrebe disertacije. U ovakvom slučaju hijerarhija kretanja se uspostavlja na sledeći način:

- I) Kretanja ili manevri „najvišeg prioriteta“ predstavljaju kretanja kružnim prstenom, odnosno tranzitnom zonom. Ovi tokovi su nadređeni u odnosu na sve ostale tokove, što znači da vozila sa prilaza (ulaznog toka) kružne raskrsnice moraju ustupiti prvenstvo prolaza vozilima koja se kreću pravo ili skreću desno sa prioritetnog (glavnog) puta i
- II) Kretanje „nižeg prioriteta“ jeste desno skretanje sa ulaznog grla prilaza (ulaznog toka) kružne raskrsnice, prilikom koga se ustupa pravo prvenstva prolaza toku kretanja pravo u kružnom prstenu – kretanjima „najvišeg prioriteta“.

Desno skretanje sa ulaznog toka kružne raskrsnice nema karakter klasičnog kretanja nižeg prioriteta (usled ulivanja postoji tzv. „istosmerno ukrštanje“), osim ako se ne obavlja na način da se vozila iz krajnje leve saobraćajne trake sa ulaznog grla (toka) uključuju u krajnju levu (unutrašnju) saobraćajnu traku na kružnom prstenu.

Ukoliko se napravi presek na kružnom prstenu, a kružna raskrsnica razvije, dobija se niz uzastopnih trokrakih raskrsnica na bliskom odstojanju. Shodno tome, uslovi odvijanja saobraćaja na prilazu kružne raskrsnice su veoma slični uslovima odvijanja saobraćaja na prilazu trokrake raskrsnice, a gotovo identični ako je na trokrakoj raskrsnici saobraćajnim znacima zabranjeno levo skretanje na glavnom (prioritetnom) i sporednom prilazu (Bogdanović, 2005).



Slika 2.6. Kretanje na trokrakoj i kružnoj raskrsnici

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

Pravo prvenstva vozila u kružnom toku uvedeno je u Velikoj Britaniji 1966. godine, čime se prvi put rešava problem regulisanja saobraćaja u kružnoj raskrsnici, što se može uzeti kao bitan element za izgradnju modernih kružnih raskrsnica (*Modern Roundabouts*) (NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide, 2010).

U današnje vreme, kod kružnih raskrsnica se, u najčešćem slučaju, postavljanjem horizontalne i vertikalne saobraćajne signalizacije, saobraćajnom toku u kruženju daje prioritet u odnosu na ulazne saobraćajne tokove. Prioritet / prvenstvo prolaza vozila u kružnom saobraćajnom toku u Bosni i Hercegovini je od 2017. godine i zakonska obaveza ([Zakon o osnovama bezbednosti saobraćaja na putevima u Bosni i Hercegovini, 2006](#)), za razliku od Srbije gde ova materija nije decidno određena 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.

Za regulisanje saobraćaja na prioritetnim kružnim raskrsnicama koriste se saobraćajni znaci izričite naredbe definisani Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji (PSS) ([Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, 2017](#)):

- II-1 „ustupanje prvenstva prolaza“ (*Slika 2.7, pod a*), označava naredbu vozaču da mora da ustupi prvenstvo prolaza vozilima koja se kreću putem na koji nailazi,
- II-2 „obavezno zaustavljanje“ (*Slika 2.7, 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 2.7, pod c*), označava naredbu vozaču da nailazi na put gde se mora kretati u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu.



a)



b)



c)

Slika 2.7. Izgled znakova za regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama

Regulisanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama vrši se tako što se saobraćajnom toku u kruženju daje prioritet u odnosu na ulazne saobraćajne tokove. Saobraćajni znaci kojima se daje prioritet vozilima u kružnom toku (II-1, II-2) i saobraćajni znak II-45.2 se postavljaju na ulaznim kracima kružne raskrsnice (saobraćajni znak II-45.2 se može dodatno postaviti i na kružnom podeoniku / centralnom ostrvu). Na ovaj način tačno je definisano pravo i obaveza svakog vozača u svim mogućim saobraćajnim situacijama na kružnoj raskrsnici.

Kao vrsta prioritetnih kružnih raskrsnica izdvajaju se turbo kružne raskrsnice (kružna raskrsnica sa spiralnim kružnim ostrvom), koje mogu imati različite geometrijske oblike. Prva turbo kružna raskrsnica izgrađena je 2000. godine u Holandiji ([Fortuijn, 2009a](#)). Turbo kružnim raskrsnicama, kao vrstama prioritetnih 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](#)).

2.3. Odlike, prednosti i nedostaci kružnih raskrsnica

Osnovne odlike kružnih raskrsnica navedene su u tekstu koji sledi:

- predstavljaju kombinaciju isprekidanog i neisprekidanog saobraćajnog toka,
- vozila u kružnom toku imaju prednost u odnosu na vozila iz ulivnih pravaca (u kružnim raskrsnicama ne važi pravilo „desne strane“), u najvećem broju slučajeva,
- vozilo na ulazu u kružnu raskrsnicu se u slučaju slobodnog kružnog kolovoza ne zaustavlja, već smanjenom brzinom ulazi u kružni tok,
- kružne raskrsnice, bez obzira na tip i način izvođenja, omogućavaju samo vožnju sa malim brzinama i velikim uglom skretanja prednjih točkova,
- za pešake 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) deo kružnog kolovoza (prelazni deo centralnog ostrva), dok za mala vozila to nije potrebno.

Prednosti kružnih raskrsnica su:

- visok nivo bezbednosti u saobraćaju (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 i dr.),
- mogućnost propuštanja saobraćajnih tokova velikog intenziteta;
- manje vreme čekanja (kontinuiranost vožnje),
- manja buka i emisija štetnih gasova,
- manja potrošnja prostora (nego kod površinskih raskrsnica sa dodatnim trakama za skretanje (ulevo ili udesno), a za isti kapacitet),
- dobro rešenje kod ukrštanja sa približno jednakim opterećenjem saobraćajnog toka na glavnom i sporednom saobraćajnom pravcu,
- dobro rešenje kod višekrakah raskrsnica (pet ili više),
- manje negativne posledice saobraćajnih nezgoda (nema čeonih sudara, ni sudara pod pravim uglom),
- manji troškovi održavanja (u odnosu na semaforisane raskrsnice),
- dobro rešenje kao mera za umirivanje saobraćaja u urbanim područjima i
- estetski izgled.

Nedostaci kružnih raskrsnica su:

- sa povećanjem broja traka u kružnom kolovozu nivo bezbednosti saobraćaja se smanjuje (suprotno od klasičnih površinskih raskrsnica),

- veći broj kružnih raskrsnica u nizu ne omogućava sinhronizaciju („zeleni talas“),
- teškoće sa nedostatkom prostora za izvođenje centralnog ostrva u izgrađenom području,
- saobraćaj u kružnoj raskrsnici nije moguće efikasno voditi uz pomoć saobraćajne policije,
- kružne raskrsnice nisu preporučljive ispred institucija za slepa, slabovidna i gluva lica, ispred domova za stara lica, bolnica, domova zdravlja i na svim drugim mestima gde nemotorizovani učesnici u saobraćaju zbog svojih privremenih ili trajnih fizičkih nedostataka ne mogu bezbedno preći ulicu bez svetlosnih i/ili zvučnih signalnih uređaja,
- kružne raskrsnice velikih dimenzija nisu preporučljive ispred dečjih vrtića i škola, kao ni na drugim mestima sa velikim brojem dece,
- mogući problem sa protokom saobraćaja kod intenzivne saobraćajne struje nemotorizovanih učesnika čime se preseca jedan ili više krakova kružne raskrsnice i
- naknadna semaforizacija ne utiče značajno na povećanje kapaciteta.

Shodno napred navedenom potrebno je za svaki slučaj posebno proceniti prikladnost uvođenja kružne raskrsnice, a na osnovu procene ispunjavanja opštih kriterijuma za opravdanost izvođenja kružne raskrsnice.

2.4. Tipovi kružnih raskrsnica

Kružne raskrsnice predstavljaju poseban tip prioriternih raskrsnica na kojima je uvođenjem kružnog kretanja eliminisano direktno presecanje tokova, tako da su interakcije između tokova koji se ukrštaju svedena na manevre ulivanja, izlivanja i preplitanja.

2.4.1. Tipovi kružnih raskrsnica prema *Bogdanović, V. (2005)*

Jednu od najsistematičnijih podela kružnih raskrsnica dao je ([Bogdanović, 2005](#)), prema kome se prioriternne kružne raskrsnice mogu podeliti prema načinu regulisanja saobraćaja, geometrijskom obliku i veličini.

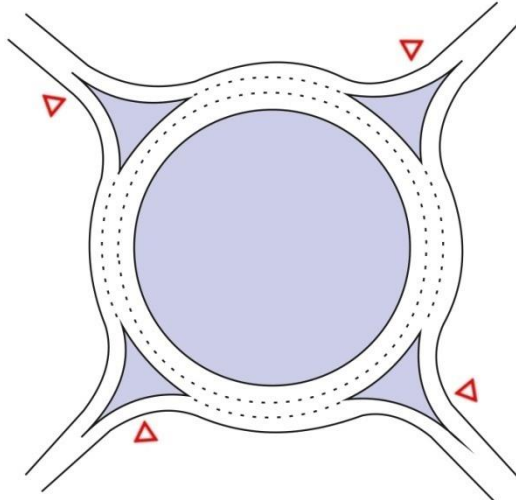
Prema načinu regulisanja saobraćaja, razlikuju se dva tipa prioriternih kružnih raskrsnica:

- raskrsnice kod kojih prvenstvo prolaza imaju tokovi koji se sa prilaza uključuju u kružni tok i
- raskrsnice kod kojih prvenstvo prolaza imaju tokovi koji se nalaze u kružnom toku.

Prvi tip kružnih raskrsnica je izuzetno redak, tako da u poslednje vreme dominiraju kružne raskrsnice kod kojih prvenstvo prolaza imaju tokovi koji se nalaze u kružnom toku.

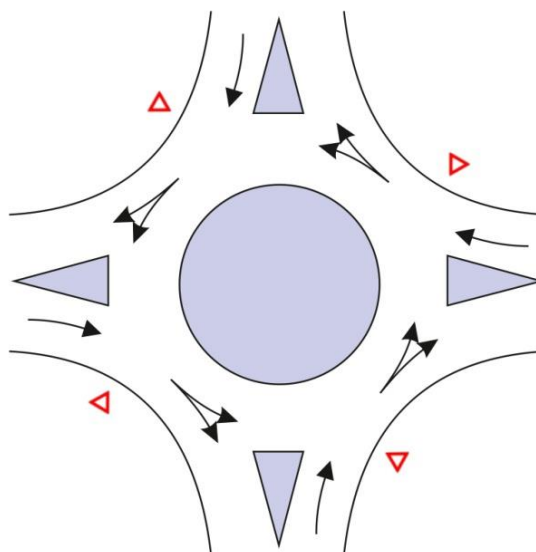
Prema geometrijskom obliku kružne raskrsnice se dele na:

- Klasične kružne raskrsnice (engl. *Conventional Priority Roundabouts*) sa većim centralnim ostrvom i dugačkim zonama za preplitanje i kružnim prstenom sa dve i više traka. Kod ovih raskrsnica širina prilaza je najčešće iste širine kao i širina kružnog prstena.



Slika 2.8. Šematski prikaz klasične kružne raskrsnice
*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.4.

- Zvonaste kružne raskrsnice (engl. *Offside Priority Roundabouts*) kod kojih je manji prečnik centralnog ostrva sa proširenim prilazima sa manjim centralnim ostrvom.



Slika 2.9. Zvonasta kružna raskrsnica
*Izvor: Bogdanović, V. (2005), Slika 2.5.

Prema veličini kružne raskrsnice se dele 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.

Pored ovih, osnovnih tipova kružnih raskrsnica, postoje i drugi oblici kao što su kružne raskrsnice sa dva kružna ostrva, raskrsnice sa više od dva kružna ostrva, kao i spregnute površinske raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja.

2.4.2. Tipovi kružnih raskrsnica prema *NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010)*

Kako se navodi u *NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (Rodegerdts, i drugi, 2010)* kružne raskrsnice se mogu podeliti na četiri različita tipa:

1. Moderne kružne raskrsnice (engl. *Roundabout*) odlikuje moderan izgled, manji prečnik centralnog ostrva i prošireni prilazi. Sastoje od prilaza, kružnog (centralnog) ostrva i kružnog prstena u kome dolazi do preplitanja tokova koji se ukrštaju. Prilazi su najčešće kanalisani tako da su ulazno i izlazno grlo fizički odvojeni. Zbog lakšeg ulaska vozila u kružni prsten prilazi se zaobljavaju većim radijusom nego kod klasičnih površinskih raskrsnica, što na ulaznom grlu ostavlja dosta prostora za formiranje više od jedne saobraćajne trake. Broj prilaza je određen i ograničen površinom na kojoj se raskrsnica može izvesti.



Slika 2.10. Moderna kružna raskrsnica, Dublin, Ohio (SAD)

*Izvor: *NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-3 (a).*

2. Rotori (engl. *Rotary*) predstavljaju stari tip kružnih raskrsnica koji se najčešće primenjivao u Sjedinjenim Američkim Državama pre 60-tih godina XX veka. Osnovna karakteristika im je veliko centralno ostrvo (često i preko 100m), dugačke zone za preplitanje i kružni prsten sa dve i više saobraćajnih traka. Zbog geometrijskog oblika, brzine kretanja kod ovog tipa raskrsnica su mnogo veće u odnosu na druge tipove kružnih raskrsnica (Rodegerdts, i drugi, 2010).



Slika 2.11. Rotor, Fort Worth, Texas (SAD)

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-3.

3. Semaforisane kružne raskrsnice (engl. *Signalized traffic circles*) su starija projektna rešenja u nekim gradovima Sjedinjenih Američkih Država, građene na mestima gde se upotrebom semafora kontroliše jedan ili više ulaznih saobraćajnih tokova.



Slika 2.12. Semaforisana kružna raskrsnica, Hollywood, Florida (SAD)

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

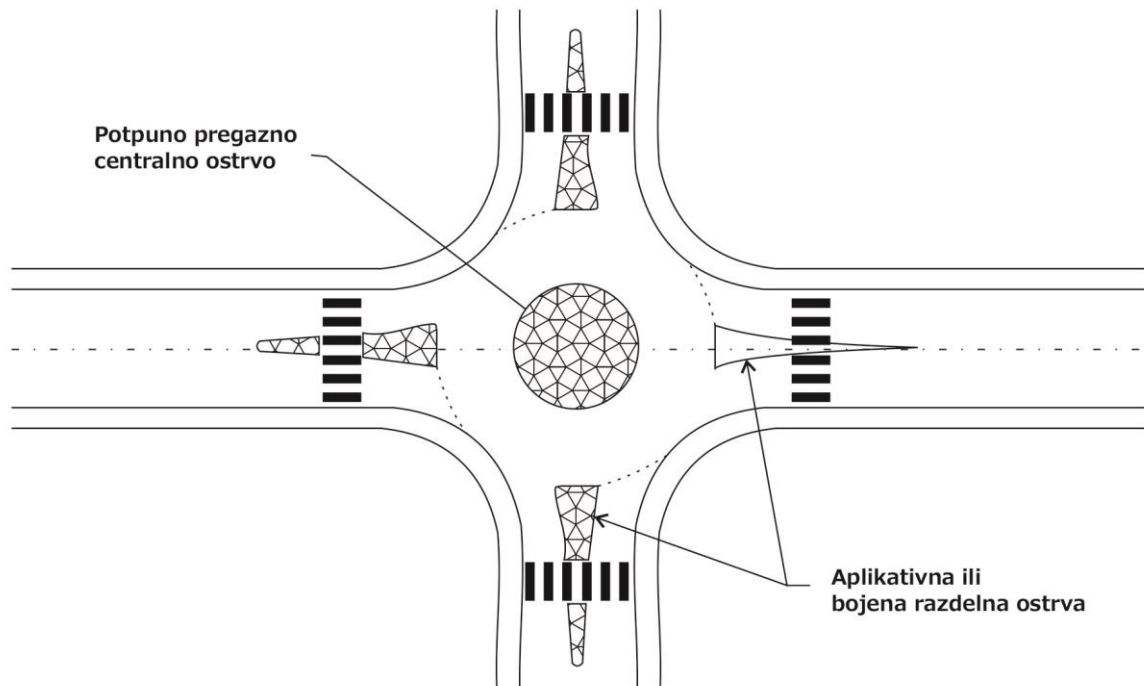
4. Kružne raskrsnice sekundarne putne mreže (engl. *Neighborhood traffic circles*) se obično grade na raskrsnicama ulica sa manjim protokom, a u cilju smirivanja saobraćaja i povećanja estetskog dojma. Kod ovog tipa kružnih raskrsnica ne postoji pojačana kanalizacija saobraćajnih tokova.



Slika 2.13. Kružna raskrsnica sekundarne putne mreže, Portland, Oregon (SAD)
*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-5.

U skladu sa *NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide* (Rodegerdts, i drugi, 2010), za potrebe proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica, a u zavisnosti od veličine i broja saobraćajnih traka, izvršena je podela kružnih raskrsnica na tri osnovne kategorije:

1. Mini kružne raskrsnice (engl. *Mini-roundabout*) se projektuju za brzine od 25-30 km/h. Karakteriše ih mali spoljni radijus (13-27m) i potpuno pregazno centralno ostrvo. Uglavnom se izvode na raskrsnicama manjih saobraćajnica sa jednom ulivnom trakom po prilazu. Predviđene su za maksimalan kapacitet do 15000 voz/dan. Mogu se primeniti i na lokacijama gde zbog ograničenog prostora nije moguće izgraditi klasičnu jednostručnu kružnu raskrsnicu. Sa ekonomskog aspekta, izuzetno su povoljne zbog malih troškova izgradnje. Usled malih brzina kretanja vozila, odlikuju se većom bezbednošću svih učesnika u saobraćaju. Pešački prelazi su kraći i bliži samoj raskrsnicu, zbog čega su naročito pogodne za pešake (Rodegerdts, i drugi, 2010).



Slika 2.14. Šematski prikaz mini kružne raskrsnice

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

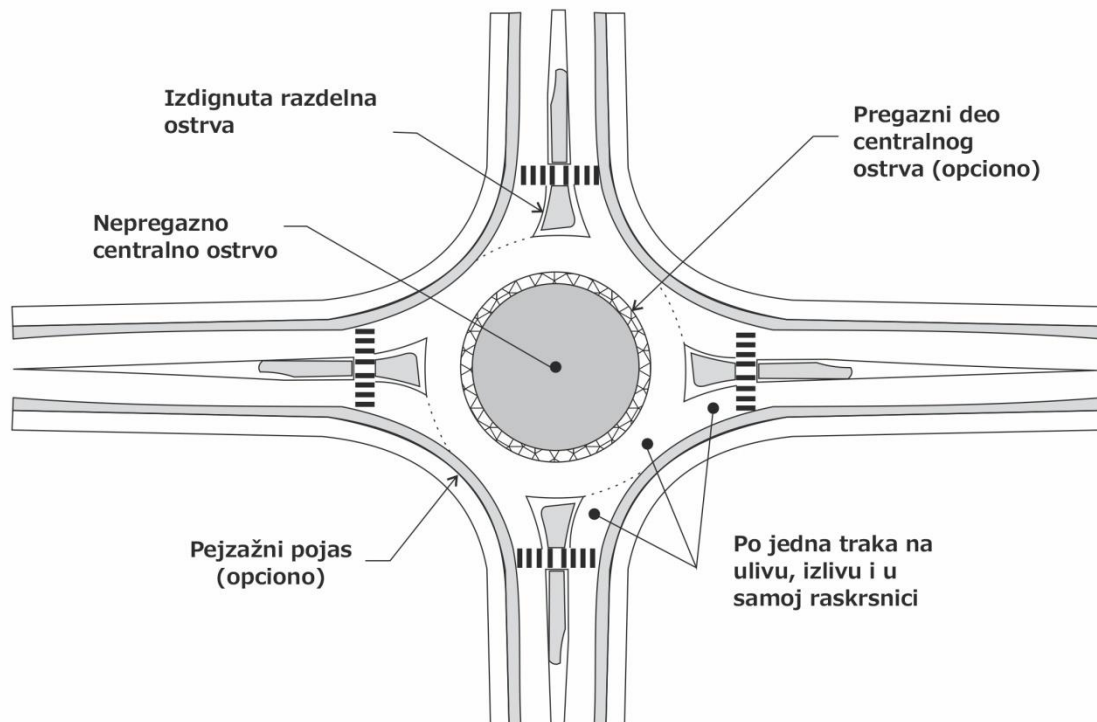


Slika 2.15. Mini kružna raskrsnica, Diamondale, Michigan (SAD)

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-11.

2. Jednotračne kružne raskrsnice (engl. *Single-Lane Roundabout*) imaju po jednu saobraćajnu traku na ulazima i izlazima, kao i jednotračni kružni kolovoz. Za razliku od mini-kružnih raskrsnica, jednotračne kružne raskrsnice se grade na prometnijim saobraćajnicama. Spoljni radijus im je od 27-55m, sa predviđenim

kapacitetom do 25000 voz/dan. Centralno ostrvo je izdignuto uz mogućnost projektovanja pregaznog dela za duga vozila. Razdelna ostrva su takođe izdignuta u odnosu na nivo kolovoza. Ove raskrsnice se projektuju za brzine od 30-40 km/h. Veličina jednotračnih kružnih raskrsnica zavisi od merodavnog vozila za definisanje projektno-tehničkih elemenata i preglednosti, kao i od samih prostornih mogućnosti date lokacije (Rodegerdts, i drugi, 2010).



Slika 2.16. Šematski prikaz jednotračne kružne raskrsnice

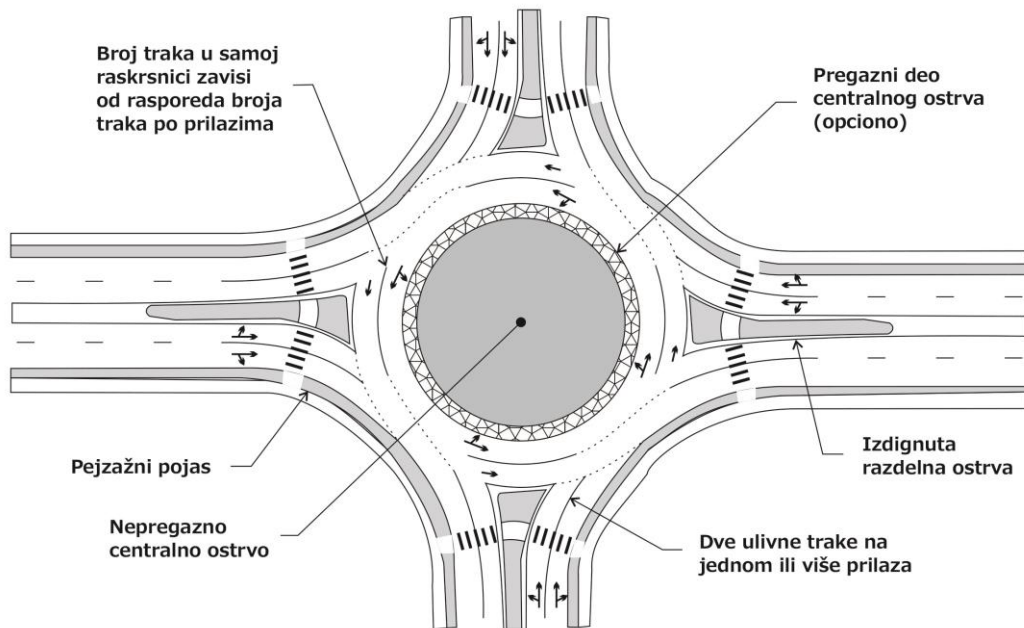
*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-12.



Slika 2.17. Jednotračna kružna raskrsnica, Skagit County, Washington (SAD)

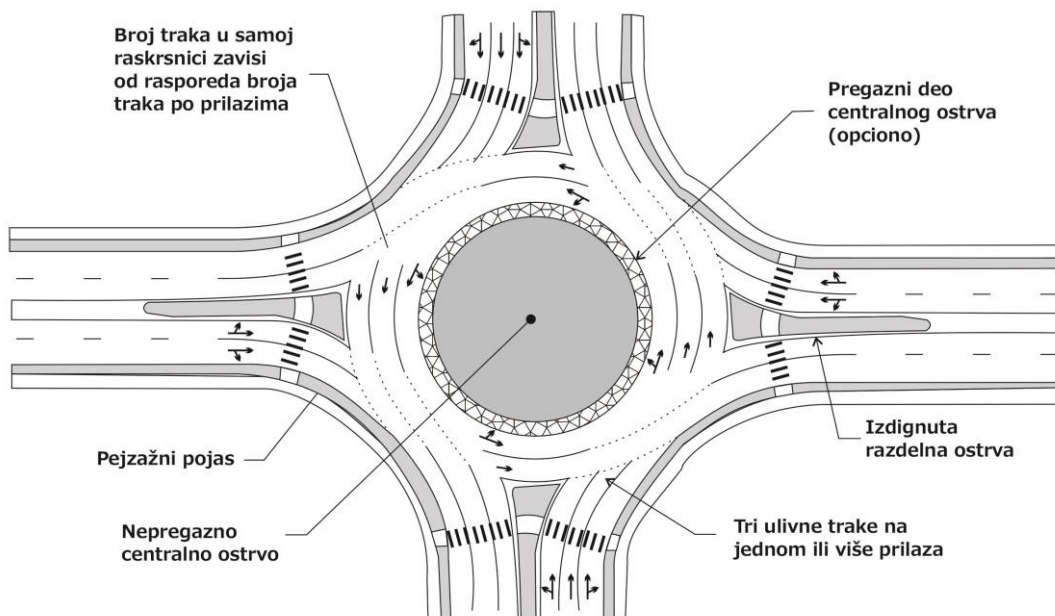
*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-13(b).

3. Višetračne kružne raskrsnice (engl. *Multi-Lane Roundabout*) se odlikuju sa najmanje dve ulivne saobraćajne trake na najmanje jednom prilazu. U ovaj tip kružnih raskrsnica spadaju i 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. Spoljni radijus im je od 46-91m, imaju obavezno izdignuto centralno i razdelna ostrva. Centralno ostrvo može imati pregazni deo za duga vozila. Projektuju se za brzine od 40-50 km/h, uz predviđeni kapacitet do 45000 voz/dan (Rodegerdts, i drugi, 2010).



Slika 2.18. Šematski prikaz dvotračne kružne raskrsnice

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



Slika 2.19. Šematski prikaz trotračne kružne raskrsnice

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



Slika 2.20. Dvotračna kružna raskrsnica, Bend, Oregon (SAD)

*Izvor: NCHRP Report 672: Roundabouts: An Informational Guide (2010), Exhibit 1-16(a).

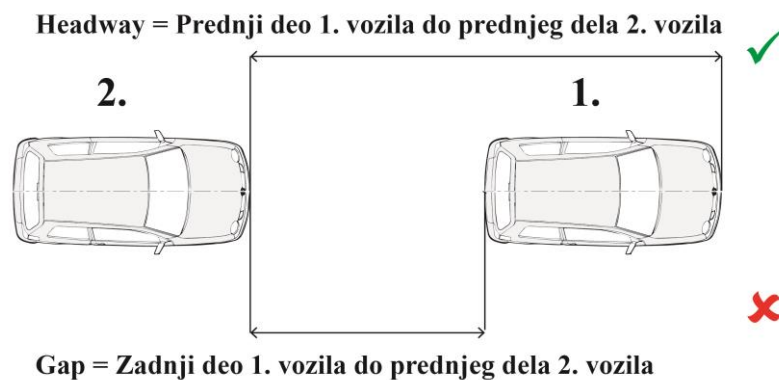
2.5. Proračun kapaciteta kružnih raskrsnica

U praksi gotovo svih zemalja sveta se za proračun kapaciteta svih tipova raskrsnica koriste postupci koji su dati u američkom priručniku za proračun kapaciteta puteva i putnih objekata *Highway Capacity Manual (HCM)*. Sva poboljšanja baznih modela za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica su uvažavana i implementirana u dosadašnjih šest izdanja *HCM*-a ([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](#)). Neprestani razvoj *HCM*-a ukazuje na stalno unapređenje postupaka za proračun kapaciteta nesignalisanih, odnosno kružnih raskrsnica i prilagođavanje modela uslovima odvijanja saobraćaja i ponašanja vozača. *HCM* daje model za izračunavanje kapaciteta nesignalisanih raskrsnica (u koje spadaju i kružne raskrsnice), ali ne i svih njenih vrsta, kao što su nestandardne nesignalisane raskrsnice ([Bogdanović, Ruškić, Basarić, & Tanackov, 2017](#)). Razni modeli koji se bave izračunavanjem kapaciteta raskrsnica se zasnivaju na mnogim terenskim istraživanjima i statističkim metodama, pod pretpostavkom da će vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja biti između minimalnog prihvaćenog i maksimalnog odbačenog intervala.

Izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica se zasniva na teoriji verovatnoće. Osnovna pretpostavka na kojoj je baziran postupak proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica je da će se u prioritetnom (kružnom) toku stvoriti dovoljno intervala u kojima se mogu izvršiti sporedni manevri. Navedeni interval predstavlja dovoljno veliki razmak između vozila u prioritetnom (kružnom) toku, koji će omogućiti vozilima sa sporednog (ulaznog) toka da izvrše sporedni manevar. 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](#)), a predstavlja dovoljno veliki razmak između vozila u prioritetnom (kružnom) toku koji će omogućiti vozilima sa sporednog (ulaznog) toka da izvrše sporedni manevar.

Bitno je istaći da su 2010. godine termini „*critical gap*“ i „*follow-up time*“ zamenjeni sa „*critical headway*“ i „*follow-up headway*“ ([Highway Capacity Manual, 2010](#)), ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)). I pored toga neki istraživači se i dalje služe terminima datim pre 2010. godine. Merenjem „*critical gap*“ umesto „*critical headway*“ mogu se dobiti neodgovarajuće vrednosti ispitivanog parametra, što rezultira nerealno većim vrednostima kapaciteta kružnih raskrsnica.



Slika 2.21. Razlike između termina „gap“ i „headway“

Za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica u širokoj je primeni američki priručnik za proračun kapaciteta puteva i putnih objekata – *Highway Capacity Manual (HCM)*, koji opisuje model kapaciteta kružnog toka kao kombinaciju empirijskog modela (eksponencijalna regresija) i modela prihvatanja vremenskih praznina za izvođenje željenih manevara uključivanja vozila u kružni saobraćajni tok, na jednotračnim i dvotračnim kružnim raskrsnicama. Ovaj postupak je zasnovan na *Harders* ([Harders, 1968](#)) ili *Siegloch* ([Siegloch, 1973](#)) modelu prihvatljivih intervala sleđenja, u kome prema definiciji figuriraju intervali sleđenja koje će vozač prihvatiti za izvođenje sporednog manevra, a čija vrednost se nalazi između maksimalnih i minimalnih vrednosti koje se dobijaju terenskim istraživanjem, merenjem u realnom saobraćajnom toku.

Kapacitet kružnih raskrsnica se računa parcijalno, na osnovu kapaciteta na svakom ulaznom toku. Kapacitet na ulazima u kružnu raskrsnicu se određuje na osnovu teorije verovatnoće, a što podrazumeva pretpostavku da će se u kružnom (prioritetnom) toku stvoriti dovoljno prihvatljivih vremenskih intervala u kojima će se vršiti manevri uključivanja u kružni saobraćajni tok.

Jednačina za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica, koja se zasniva na proceni kapaciteta svake ulazne trake, može se prikazati na sledeći način ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)):

$$c_i = c_{i,pce} f_{HV,e} f_{ped} \quad (2.1)$$

$$c_{i,pce} = A e^{(-Bv_c)} \quad (2.2)$$

$$A = \frac{3600}{t_f} \quad (2.3)$$

$$B = \frac{t_c - (t_f/2)}{3600} \quad (2.4)$$

gde 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 sleđenja (s),
- t_f – vreme sleđenja (s),
- $f_{HV,e}$ – faktor učešća teretnih vozila i
- f_{ped} – faktor učešća pešaka.

Napred prikazani model dat jednačinama (2.1), (2.2), (2.3) i (2.4), koji je u potpunosti preuzet iz *HCM 6*, predstavlja *Siegloch*-ov model, a omogućava izračunavanje kapaciteta na jednostranim i dvostranim kružnim raskrsnicama pomoću parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, predloženih u *HCM 6* ili korigovanih u toku istraživanja. Radi pojednostavljenja, u formuli (2.2) uvedene su smene putem jednačina (2.3) i (2.4).

Kapacitet prilaza, a time i kapacitet kružne raskrsnice, zavisi od intenziteta konfliktnog toka, kritičnog intervala sleđenja vozila u kružnom toku, vremena sleđenja vozila u ulaznom toku, učešća teretnih vozila u kružnom i ulaznom toku i učešća pešaka na pešačkim prelazima ispred ulaznog toka. Vozač na ulaznom (sporednom) toku je dužan propustiti pešake koji prelaze preko pešačkog prelaza ispred kružnog (prioritetnog) toka, proći vozilom preko pešačkog prelaza kada se pojavi prihvatljivi vremenski interval između kretanja pešaka na pešačkom prelazu, pa tek nakon toga, korišćenjem prihvatljivog intervala sleđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku uključiti se u kružni saobraćajni tok (Tolazzi, 2004).

Intervali koji se pojavljuju u formuli za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica su:

- kritični interval sleđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku (t_c) i
- vreme sleđenja vozila u ulaznom (sporednom) toku (t_f).

Kritični interval sleđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku (engl. *critical headway*) je minimalno potrebna veličina intervala sleđenja u kružnom (prioritetnom) toku, koja omogućava jednom vozilu iz ulaznog (sporednog) toka

ulazak u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Vozači prosečnih vozačkih sposobnosti koji svojim vozilima vrše sporedni manevar uključivanja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok koriste svaki interval sleđenja koji je jednak ili veći od kritičnog. Kritični interval sleđenja obeležava se sa t_c .

Vreme sleđenja vozila u ulaznom (sporednom) toku (engl. *follow-up headway*) definiše se kao vreme 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 sledeće vozilo iz reda čekanja pristigne i zaustavi se na zaustavnoj liniji ili liniji preglednosti. Prema tome, vreme sleđenja u ulaznom (sporednom) toku predstavlja period između dva uzastopna ulaska vozila u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Vreme sleđenja se obeležava sa t_f .

Intenzitet konfliktnog toka, učešće teretnih vozila u kružnom i ulaznom toku i učešće pešaka na pešačkim prelazima ispred ulaznog toka se određuju pomoću merenja na terenu i ustanovljenom procedurom. Vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja direktno utiču na stvarni kapacitet kružnih raskrsnica, odnosno na njihov kapacitet u stvarnim postojećim uslovima. Kritični interval sleđenja i vreme sleđenja su parametri koji se daju na osnovu realnih istraživanja u sklopu standarda i saobraćajnih propisa, te sredine u kojoj se saobraćaj odvija.

Tabela 2.1. Parametri za izračunavanje kapaciteta prema HCM 2010 i HCM 6

Parametri za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica	A	B	t_c	t_f	t_f/t_c
HCM 2010					
Jedna traka u kružnom toku ($n_c=1$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1130	0,00100	5,19	3,19	0,62
Dve ulazne trake ($n_e=2$) (prihvatljivo za obe trake)	1130	0,00100	5,19	3,19	0,62
Dve trake u kružnom toku ($n_c=2$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1130	0,00070	4,11	3,19	0,78
Dve 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
HCM 6					
Jedna traka u kružnom toku ($n_c=1$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1380	0,00102	4,98	2,61	0,52
Dve ulazne trake ($n_e=2$) (prihvatljivo za obe trake)	1420	0,00091	4,54	2,54	0,56
Dve trake u kružnom toku ($n_c=2$)					
Jedna ulazna traka ($n_e=1$)	1420	0,00085	4,33	2,54	0,59
Dve 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

Priručnik *HCM 6*, u odnosu na priručnik *HCM 2010* (Tabela 2.1), unosi određene promene u pogledu datih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, usled čega se dobijaju drugačiji kapaciteti na kružnim raskrsnicama. Prilikom izračunavanja kapaciteta na ulazu u kružni tok, koriste se fiksne (preporučene) ili kalibrirane (lokalno prilagođene) vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja ([Highway Capacity Manual, 2010](#)), ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)).

Vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja u nekim slučajevima mogu biti drugačije od onih koje su procenjene u *HCM*-u, pa se usled toga preporučuju lokalna merenja. Terenska, odnosno lokalna merenja kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja se koriste za kalibriranje/prilagođavanje modela za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica. Lokalne navike vozača mogu značajno uticati na vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, te na taj način izmeniti kapacitet kružnih raskrsnica proračunat na osnovu preporučenih vrednosti ovih parametara ([Vasconcelos, Seco, & Silva, 2013](#)).

Kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja, prilikom izvođenja manevra uključivanja vozila u kružni saobraćajni tok, mere se na propisan način. Lokalna merenja ovih parametara se realizuju u svetu još od polovine XX veka, ali treba istaći da isti moraju biti posebno razmotreni u svakoj lokalnoj sredini. Način merenja, prikupljanja i obrade podataka dat je u poglavlju 4. *Definisanje područja i metodologije istraživanja*.

Postojeći model (jednačine 2.1-2.4) za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica može se dodatno poboljšati uvažavanjem karakteristika (osobnosti) vozača, a što je već implementirano u modelima za proračun kapaciteta u uslovima neprekinutih saobraćajnih tokova. Takođe, uticaj ponašanja i karakteristika vozača je eksperimentalno definisan na semaforisanim raskrsnicama ([Zhou, Lu, Mierzejewski, & Le, 2000](#)), što daje osnovanu pretpostavku da će i na prioriternim kružnim raskrsnicama ovaj uticaj biti potvrđen.

3. Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

U teoriji saobraćajnog toka, kapacitet predstavlja maksimalan protok, odnosno maksimalan broj vozila koji u jedinici vremena može proći preko definisanog preseka puta. Maksimalan protok, odnosno kapacitet svakog putnog objekta se ostvaruje u režimu zasićenog toka pod određenim uslovima, što znači da promene putnih ili saobraćajnih uslova neminovno dovode do promene kapaciteta. Nivo usluge i kapacitet imaju ključne uloge u planiranju, projektovanju i dimenzionisanju putnih objekata, ali i operativnom upravljanju saobraćajnim tokovima. Kapacitet predstavlja kvantitativni pokazatelj na osnovu kog se utvrđuje sposobnost, dok je nivo usluge kvalitet u udovoljenju zahteva za protokom saobraćajnice ili putnog objekta. Nivo usluge je kvalitativna mera uslova odvijanja saobraćaja na saobraćajnici ili putnom objektu, a za njegovo definisanje neophodno je poznavati kapacitet puta ili objekta za koji se vrši ocena. Analiza kapaciteta i nivoa usluge služi za identifikaciju uskih grla, odnosno mesta gde se potencijalno može očekivati nedostatak ili restrikcija kapaciteta, kao i za analizu različitih mera koje se mogu preduzeti u cilju njihovog eliminisanja. Iz tog razloga, analiza kapaciteta i nivoa usluge je sastavni deo vrednovanja i ocene izvedenog stanja ili projekata saobraćajnih objekata (Bogdanović, 2005).

3.1. Istorijski pregled najvažnijih metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja

Prvi rezultati istraživanja u realnom saobraćajnom toku su predstavljeni u periodu od 1933.-1936 godine (Kinzer, 1933), (Greenshields B., Thompson, Dickinson, & Swinton, 1934) i (Adams, 1936). Jasna diferencijacija između kapaciteta deonice puteva (gde vladaju uslovi kontinualnog saobraćajnog toka) i raskrsnica (gde vladaju uslovi povremeno prekinutih saobraćajnih tokova) predstavljena je 1947. godine (Greenshields, Schapiro, & Ericksen, 1947).

Izuzetno bitan trenutak u istoriji definisanja postupka proračuna kapaciteta nesignalisanih raskrsnica, a time i prioritetnih kružnih raskrsnica, jeste 1950. godina, kada se prvi put objavljuje istraživanje ponašanja vozača i njihov uticaj na uslove odvijanja saobraćaja (Raff & Hart, 1950). U ovom istraživanju prvi put su definisani pojmovi prihvaćenih i odbačenih intervala (engl. *accepted and rejected lags*), a uobičen je i postupak za procenu kritičnog intervala sleđenja (engl. *critical gap*), čije vrednosti se kreću od najmanje prihvaćenog do najvećeg odbačenog intervala u konfliktnom toku. Pored toga, ukazano je da se vrednosti prihvaćenih i odbačenih intervala značajno razlikuju u zavisnosti od geometrijskih karakteristika raskrsnice.

U periodu od 1960.–1970. godine, značajni radovi vezani za kapacitet raskrsnica objavljeni su od strane autora Hebert (Hebert, 1963), Solberg i

Oppenlander (Solberg & Oppenlander, 1964), kao i od strane autora *Tanner* (Tanner, 1962) i *Hawkes* (Hawkes, 1966), u kojima je vršeno istraživanje vremenskih gubitaka na raskrsnicama. Na području Australije, prvi značajniji rad o kapacitetima raskrsnica, sa razmatranjem vremenskih gubitaka dali su Yeo i *Weesakul* (Yeo & Weesakul, 1964). 1965. godine pojavljuju se dva veoma bitna systemska istraživanja u oblasti kapaciteta raskrsnica (RRL, 1965), (*Highway Capacity Manual*, 1965). Hipoteza o funkcionalnom značaju individualnih karakteristika i stohastički uticaj vozača na kapacitet raskrsnica, potvrđena je 1968. godine od strane istraživača *Ashwort* (Ashwort, 1968). Iste godine (1968. god.), *Harders* je promovisao najvažniji model u istoriji proračuna kapaciteta nesignalisanih raskrsnica (Harders J. , 1968). *Harders*-ov model je 1973. godine unapredio *Siegloch* (Siegloch W. , 1973), kada se javljaju nove preporuke vezane za procenu vrednosti intervala sleđenja u zavisnosti od broja saobraćajnih traka. Oba modela, (Harders J. , 1968) i (Siegloch W. , 1973), se koriste za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica, a time i prioriternih kružnih raskrsnica, a razlika između dva navedena modela je minimalna. Navedeni modeli su zasnovani na prihvatljivim intervalima sleđenja, odnosno na uslovnim verovatnoćama pojave prihvatljivih intervala sleđenja u prioriternom toku koji su dovoljni za izvođenje sporednih manevara. Prvi značajniji pregledni rad, u kojem se daje devet metoda za procenu intervala sleđenja, predstavio je *Miller* 1972. godine (Miller, 1972), pri čemu treba naglasiti da se u pomenutom radu nisu u potpunosti prikazala sva dotadašnja istraživanja i procedure iz ove oblasti. Postupci i procedure za utvrđivanje intervala sleđenja su analizirani od strane velikog broja istraživača, npr. (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), u kojima veliku favorizaciju za praktičnu primenu imaju modeli *Hewitt*-a, prikazani u radovima (Hewitt, 1983), (Hewitt, 1985) i (Hewitt, 1993). U skladu sa postojećim metodologijama, kritični intervali sleđenja se utvrđuju matematičkom i statističkom obradom rezultata merenja. Postupak merenja je izuzetno zahtevan i kompleksan. Od 2000. godine, priručnik *HCM* preporučuje metodu maksimalne verodostojnosti (engl. *Maximum Likelihood Method*), koju je u svom radu 1992. godine predstavio *Troutbeck* (Troutbeck, 1992).

Prema (Wu, 2006), u svetu postoji više od trideset modela za procenu krutičnih intervala sleđenja, uz pretpostavku da su vozači istih psihofizičkih osobina koji na isti način reaguju u svakom trenutku tokom vožnje (tzv. homogeno i konzistentno ponašanje vozača).

U skladu sa pravilima saobraćaja, svako vozilo u prioriternom toku može proći kroz raskrnicu bez vremenskih gubitaka. Sa druge strane vozilo sa sporednog toka može izvršiti sporedni manevar samo ukoliko je vozilo u prioriternom toku na dovoljno dalekoj udaljenosti, čime se taj menevar može izvršiti bez ometanja vozila u prioriternom toku. Da bi izvršilo sporedni manevar, vozilo sa sporednog toka mora prethodno doći na zaustavnu liniju ili liniju preglednosti. Izvršenje sporednog manevara zavisi od subjektivne procene vozača,

tipa sporednog manevra i konkretne saobraćajne situacije. Shodno tome, parametri saobraćajnog toka kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja mogu se smatrati slučajnim promenljivim, a podložne su različitim spoljašnjim uticajima.

Na maksimalnu veličinu protoka sporednog manevra, pored intenziteta konfliktnog toka (v_c), utiču i vrednosti kritičnog intervala sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f). Vrednosti parametara t_c i t_f razlikuju se od vozača do vozača, a prema određenim istraživanjima zavise od različitih faktora uticaja (vrste i ranga sporednog manevra, geometrije raskrsnice, ograničenja brzine, broja prilaza, broja saobraćajnih traka koje preseca sporedni tok, nagiba prilaza, strukture sporednog toka i sl.).

Sve analizirane metode su date za nesignalisane raskrsnice, ali se s obzirom na svoj univerzalni karakter i činjenicu da se bave ocenom intervala sleđenja koji se pojavljuju na svim tipovima nesignalisanih raskrsnica, mogu primeniti i na prioritetnim kružnim raskrsnicama.

3.1.1. Metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja u uslovima zasićenog toka (Siegloch-ov metod)

Kako se navodi u (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), Siegloch (Siegloch W., 1973) je definisao proceduru za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica, u kojoj je doveo u vezu kapacitet sa kritičnim intervalima sleđenja, kao i sa intenzitetom toka na prilazima. Na svim tipovima nesignalisanih raskrsnica, uključujući i prioritetne kružne raskrsnice, vozilo sa sporednog toka može izvesti sporedni manevar isključivo ukoliko se na prioritetnom toku pojavi dovoljno veliki vremenski interval (t).

Ako je:

q_p – intenzitet konfliktnog toka,

$h(t)$ – statistička funkcija gustine svih intervala u prioritetnom toku,

$g(t)$ – broj vozila na sporednom toku koja mogu obaviti sporedni manevar u vremenskom intervalu t ,

onda je kapacitet (c):

$$c = q_p \cdot \int_{t=0}^{\infty} h(t) \cdot g(t) dt \quad (3.1)$$

Jednačina (3.1) predstavlja osnovu za definisanje teorije prihvatljivih intervala, koja je zapravo stub za sve druge priznate formule iz svetske literature koje se bave proračunom kapaciteta nesignalisanih raskrsnica. Kako bi se izvršio proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica, potrebno je poznavati podatke o raspodeli intervala sleđenja u prioritetnom toku $h(t)$, kao i funkciju $g(t)$. Za izvođenje funkcije $g(t)$ Siegloch je na osnovu istraživanja na terenu predložio regresionu analizu, pri čemu na sporednom toku vladaju uslovi visokih zahteva za

protokom, odnosno neprekidno čekanje na sporednom toku. Isključivo u ovakvim uslovima moguće je utvrditi raspodelu za funkciju $g(t)$, i to brojanjem vozila koja sa sporednog toka, koristeći prihvatljive intervale sleđenja u prioritetnom toku, obavljaju svoj sporedni manevar. Rezultati istraživanja se mogu prikazati grafičkim putem (Slika 3.1), gde je vidljivo da su tačke posmatranja raspoređene tako da odgovaraju linearnom regresionom modelu, gde je t zavisna promenljiva, g nezavisna promenljiva, dok su parametri a i b ishod regresione analize. Funkcija regresije (jednačina 3.2) u linearnom obliku se dobija metodom najmanjih kvadrata. Ova metoda se zasniva na matematičkoj formulaciji da su najbolji parametri oni za koje je suma kvadrata razlika između empirijskih vrednosti (izmerene vrednosti intervala) i teorijskih vrednosti (regresione funkcije) ima minimum. Funkcija regresije u linearnom obliku:

$$t = a + b \cdot g(t) \quad (3.2)$$

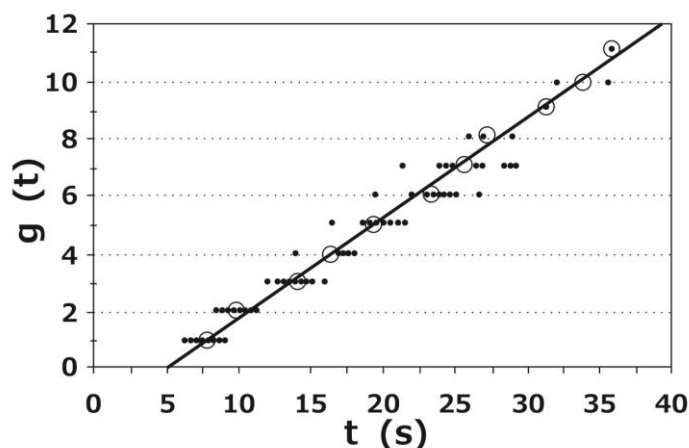
U ovoj jednačini, kao konstante figuriraju obe vrednosti intervala - a predstavlja vrednost t_0 , dok b predstavlja vrednost t_f . Veza između vrednosti t_0 , t_c i t_f data je izrazom:

$$t_0 = t_c - \frac{t_f}{2} \quad (3.3)$$

Funkcija $g(t)$ se može prikazati na sledeći način:

$$g(t) = \begin{cases} 0 & \text{za } t < t_0 \\ \frac{t - t_0}{t_f} & \text{za } t \geq t_0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Ukoliko su ispunjeni uslovi zasićenog toka, izmerene vrednosti se predstavljaju grafički i to tako što se na abscisu nanose vrednosti intervala sleđenja, a na ordinatu broj vozila koji je u toku navedenog intervala obavio svoj manevar. Način grafičkog predstavljanja dat je na Slici 3.1.



Slika 3.1. Ilustracija Siegloch-ovog modela
*Izvor: Brilon, Koenig, Troutbeck (1999), Fig. 2.

Prema tome, parametri t_c i t_f se mogu direktno proceniti putem tehnike regresije, koja u potpunosti razmatra stohastičku prirodu prihvatljivih intervala sleđenja. Kombinacijom jednačina (3.1) i (3.4), uz pretpostavku da se $h(t)$ može opisati kao eksponencijalna raspodela, dolazimo do dobro poznate *Siegloch*-ove formule za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica:

$$c = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-p \cdot t_0} \quad (3.5)$$

Prema (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), prednost *Siegloch*-ovog metoda jeste u tome što je u direktnoj vezi sa osnovnom formulom za proračun kapaciteta, dok su loše strane to što se metod može koristiti isključivo u situacijama zasićenih sporednih tokova, kao i činjenica da ova metoda nema jaku matematičku potporu.

3.1.2. Metode za procenu veličine intervala sleđenja u uslovima nezasićenog saobraćajnog toka

Procena vrednosti intervala sleđenja u uslovima kada saobraćajni tokovi nisu u zoni velikih gustina je znatno kompleksnija u odnosu na uslove zasićenog saobraćajnog toka. U skladu sa tim, ocena intervala sleđenja se vrši putem većeg broja metoda datih u nastavku disertacije.

Metoda intervala pristizanja

Ova metoda se zasniva na veličini intervala pristizanja u prioritetnom toku, odnosno na vremenu koje prođe od momenta dolaska vozila u sporednom toku do momenta pristizanja vozila u prioritetnom toku. Ovaj metod se zasniva na uslovima konzistentnih vozača (vozača istih vozačkih osobina) i nezavisnosti pristizanja vozila na sporednom toku od uslova odvijanja saobraćaja na prioritetnom toku (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999). Osnovna pretpostavka metoda je verovatnoća ($P_{a,lag}(t)$) da vozači prihvate interval sleđenja t , identična verovatnoći da je njihov kritični interval (t_c) manji od vrednosti t .

$$P_{a,lag}(t) = F_c(t) \quad (3.6)$$

Iz napred navedenog, moguće je izvesti prvu metodu procene kritičnih intervala sleđenja u uslovima nezasićenog saobraćajnog toka. Prilikom provođenja merenja, evidentiraju se i prihvaćeni i odbačeni intervali, nakon čega se formira skala od W segmenata veličine Δt (npr. $\Delta t=1s$). Za svaki vremenski segment analiziraju se:

N_i = vrednosti svih izmerenih intervala,

A_i = vrednosti prihvaćenih intervala i

$a_i = A_i / N_i$.

Ako se pretpostavi da je vrednost t_i sredina segmenta Δt , onda je:

$$F_c(t_i) = a_i \quad (3.7)$$

Relacija (3.7) predstavlja aproksimaciju kumulativne distribucije funkcije (CDF) kritičnih intervala. Srednja vrednost kritičnog intervala je u tom slučaju:

$$t_c = \sum_{i=1}^W t_i \cdot [F_c(t_i) - F_c(t_{i-1})] \quad (3.8)$$

pri čemu je:

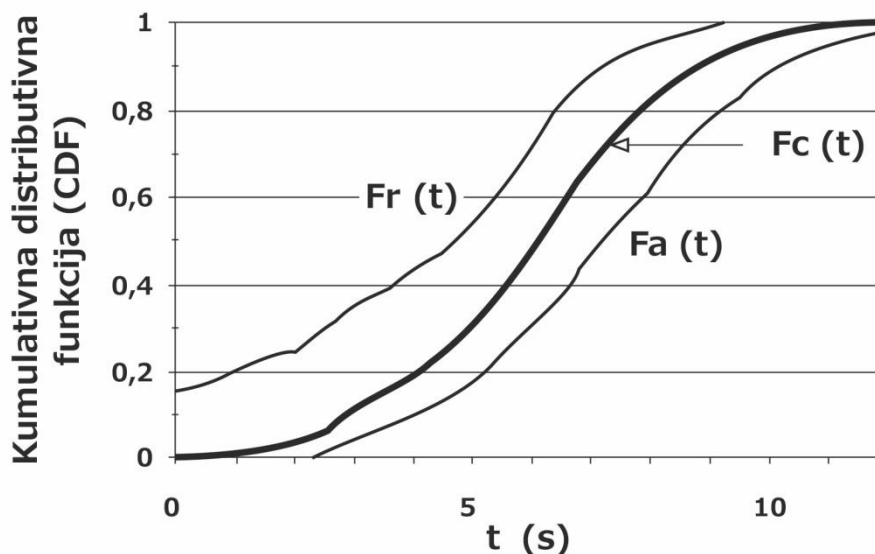
W = broj segmenata veličine Δt .

Na sličan način može se proceniti i standardna devijacija distribucije $F_c(t)$. Ovaj metod ima i određene nedostatke u praktičnoj primeni. Naime, u svakom intervalu (Δt) potreban je dovoljno veliki uzorak čime se zahteva veoma dug period prikupljanja podataka. U slučaju da je prioritetni tok niskog intenziteta izuzetno je teško prikupiti dovoljan broj malih intervala sleđenja, a ukoliko je prioritetni tok visokog intenziteta većina vozila na sporednom toku će čekati u redu pre nego što obave svoj sporedni manevar. Dakle, i pored uočenog velikog broja vozača koji izvođe sporedne manevre, mali broj intervala sleđenja će biti pogodan za korišćenje ovog modela. Shodno osnovnoj pretpostavci modela, da se potrebni interval meri od momenta pristizanja vozila u sporednom toku, proizilazi da svako čekanje vozila na sporednom toku onemogućava pravilno merenje intervala. Osim toga, vrednost intervala pristizanja je različita od vrednosti kritičnog intervala sleđenja, tako da ova metoda nema praktičnu primenu, ali svakako ima teorijsku primenu za izvođenje drugih modela.

3.1.3. Metode minimalnog prihvaćenog i maksimalno odbačenog intervala

Za procenu kritičnih intervala sleđenja u uslovima zasićenog toka potrebni su podaci od onih vozača koji prihvataju kritične intervale sleđenja nakon čekanja u redu. Prema (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999) razmotriće se nekoliko metoda, zasnovanih na veličini minimalno prihvaćenog i maksimalno odbačenog intervala sleđenja. Sve razmatrane metode se zasnivaju na pretpostavci da će se kritični interval sleđenja naći između maksimalno odbačenog i minimalno prihvaćenog intervala. U tom slučaju, kao što je dato na Slici 3.2, funkcija raspodele kritičnih intervala $F_c(t)$ će se nalaziti između krivih koje predstavljaju minimalno prihvaćen ($F_a(t)$) i maksimalno odbačen interval ($F_r(t)$). Uzimajući u analizi da kritični intervali sleđenja zavise od ponašanja vozača u saobraćajnom toku, jasno je da kod određene grupe vozača može doći do odbacivanja velikih intervala, dok bi druga grupa vozača mogla prihvatiti intervale koji su daleko manji od kritičnog. Takođe,

usled loše procene, zavisno od uslova odvijanja saobraćaja i geometrijskih karakteristika raskrsnice, može se desiti da isti vozači nekada odbacuju veće intervale a prihvataju manje. Geometrijski izgled, karakteristike vozila i saobraćajni uslovi, kao i ponašanje vozača, utiču na vrednosti parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja (Tian, Troutbeck, Kyte, & Brilon, 2000).



Slika 3.2. Funkcija raspodele kritičnih intervala sleđenja između funkcije maksimalnog odbačenog intervala i minimalno prihvaćenog
*Izvor: Brilon, Koenig, Troutbeck(1999), Fig. 3.

Pošto se funkcija raspodele $F_c(t)$ ne može direktno posmatrati, cilj svih sledećih metoda je da se proceni funkcija $F_c(t)$ što je moguće validnije, ili da se procene bar njeni tipični parametri, kao što je matematičko očekivanje, srednja vrednost ili varijansa.

Raff-ov metod (Raff's method)

Prema dosadašnjim saznanjima, Raff i Hart 1950. godine daju prvi metod za ocenu vrednosti kritičnog intervala sleđenja, koji je zasnovan na prethodno datim pretpostavkama (Raff & Hart, 1950). U skladu sa njihovom definicijom, t_c je funkcija od t u tačkama u kojima se seku funkcije $1-F_r(t)$ i $F_a(t)$. 1972. godine Miller (Miller, 1972) daje dodatna matematička pojašnjenja ovog metoda. Miller navodi da su rezultati procene kritičnog intervala sleđenja u direktnoj vezi sa saobraćajnim opterećenjem na ulaznim tokovima. U nekim evropskim zemljama, npr. u Nemačkoj, ranije je često korišten ovaj metod (Retzko, 1961).

Ashwort-ov metod (Ashworth's method)

Intervali, koji se pojavljuju u prioritetnom toku, imaju eksponencijalnu raspodelu, a njihovo pojavljivanje je statistički apsolutno slučajno (nezavisno) (Ashwort, 1968). Pored toga, u svojoj analizi Ashwort je utvrdio da ukoliko

prihvaćeni intervali i funkcija kritičnih intervala imaju normalnu raspodelu, na osnovu srednje vrednosti prihvaćenih intervala (μ_a) i standardnog odstupanja prihvaćenih intervala (σ_a), može se proceniti kritični interval (t_c) prema sledećoj jednačini:

$$t_c = \mu_a - v_c \cdot \sigma_a^2 \quad (3.9)$$

gde je v_c intenzitet konfliktnog toka.

Napred prikazana jednačina se može primenjivati isključivo ukoliko vrednosti prihvaćenih intervala imaju *normalnu* raspodelu. Procena vrednosti prihvaćenih intervala je komplikovanija ukoliko raspodela nije *normalna*. Tako u slučaju *log-normalne* ili *gama* raspodele, potrebno je izvršiti korekcije standardnog odstupanja, prema sledećim relacijama:

$$t_c = \mu_a - v_c \cdot \sigma_c^2 \quad (3.10)$$

$$\sigma_c = \sigma_a \cdot \frac{t_c}{\mu_a} \quad (3.11)$$

Harders-ov metod (Harders' method)

Metoda za procenu vrednosti kritičnog intervala sleđenja (t_c) data je 1968. godine od strane *Harders-a* ([Harders J. , 1968](#)), koja je često korišćena u Nemačkoj. Veliki broj izvedenih metoda za proračun kapaciteta u Nemačkoj je upravo zasnovan na *Harders-ovoj* metodi procene vrednosti parametara t_c i t_f . Ovaj metod analizira isključivo intervale sleđenja, i to merenjem svih intervala koji su na raspolaganju vozaču i beleženjem veličine intervala koji je on prihvatio. Prihvaćene vrednosti intervala se unose u vremensku skalu, podeljenu na intervale jednake dužine (npr. $\Delta t = 0,5$ s). Centar svakog intervala je određen sa t_i . Analizirajući prikupljene podatke dobijamo vrednosti:

N_i = vrednosti svih izmerenih intervala,
 A_i = vrednosti prihvaćenih intervala i
 $a_i = A_i / N_i$.

Vrednosti a_i se nanose u centar svakog intervala t_i , tako da se dobija kriva koja predstavlja $F_c(t)$, odnosno funkciju kritičnih intervala sleđenja. Potrebno je istaći da ne postoji matematički koncept da je ova funkcija ($a_i = F_c(t_i)$) realna kriva kritičnih intervala sleđenja.

3.1.4. Metode zasnovane na maksimalnoj verovatnoći

Još od 60-tih godina XX veka koriste se modeli procene veličine kritičnog intervala sleđenja koji su zasnovani na maksimalnoj verovatnoći (Solberg & Oppenlander, 1966). Ovaj metod, sistematično prikazan i u radu (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), zasniva se na pretpostavci da se kritični interval sleđenja javlja sa određenom verovatnoćom u određenoj grupi vrednosti. Za svakog vozača definisan je kritični interval:

$$t_{c,d} = \bar{t}_c + \varepsilon_d \quad (3.12)$$

Pri čemu je:

$t_{c,d}$ – kritični interval za vozača d ,

\bar{t}_c – prosečan kritični interval kompletne populacije vozača (izmereni uzorak) i

ε_d – standardna devijacija kritičnih intervala za vozača d od srednje vrednosti.

Verovatnoća da će vozač prihvatiti kritični interval sleđenja veličine t prikazana je u jednačini (3.13):

$$p_a(t) = p(t \leq t_{c,d}) = p(t \geq \bar{t}_c + \varepsilon_d) \quad (3.13)$$

Za ovaj metod, pretpostavlja se da komponenta standardne devijacije ε_d ima normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću 0 i standardnom devijacijom σ_ε . U tom slučaju jednačina (3.13) može se posmatrati i kao:

$$p_a(t) = N(t|\bar{t}_c, \sigma_\varepsilon) \quad (3.14)$$

Pri čemu je:

$N(t|\bar{t}_c, \sigma_\varepsilon)$ – kumulativna funkcija normalne raspodele sa srednjom vrednošću \bar{t}_c i standardnim odstupanjem σ_ε .

Shodno funkciji normalne raspodele, ova jednačina postaje:

$$p_a(t) = \Phi\left(\frac{t - \bar{t}_c}{\sigma_\varepsilon}\right) \quad (3.15)$$

Termini \bar{t}_c i σ_ε su parametri modela. Oni se mogu proceniti metodama regresije zasnovanim na maksimalnoj verovatnoći, ukoliko se udeo prihvaćenih intervala koristi kao procena za $p_a(t)$ (Miller, 1972). Koristeći navedene tehnike, ova metoda je gotovo identična metodi intervala pristizanja. Ukoliko su uključeni intervali sleđenja, tehnike imaju sve prethodno navedene probleme za metodu

intervala pristizanja. Shodno tome, *Hewitt* je predložio strategiju korigovanja osnovnog metoda intervala pristizanja ([Hewitt, 1983](#)), ([Hewitt, 1985](#)).

Veliki broj autora dao je različit doprinos u razvoju metoda verovatnoća, pri čemu je svaki od njih razvio i predlog za proračun kritičnih intervala sleđenja primenom teorije verovatnoće. Predlog da se t_c računa uz pomoć svih odbačenih intervala jednog vozača i njegovog prihvaćenog intervala sleđenja dao je *Daganzo* ([Daganzo, 1981](#)). U njegovom radu predloženo je da se primenjuje normalna raspodela i za kritični interval i za njegovo standardno odstupanje. Primenu u praksi ovog modela ograničava obavezna upotreba računarskih programa, što predstavlja jedan od najvećih problema ovog modela.

Iste godine (1981. god.), *Mahmassani* i *Sheffi* ([Mahmassani & Sheffi, 1981](#)) vrše analize uticaja vremena čekanja na zaustavnoj liniji na prihvatanje intervala sleđenja u prioritetnom toku, pri čemu je jedan od parametara modela broj intervala koje vozač odbaci pre nego što se pojavi prihvatljiv interval. Bitno je istaći da se u analizi pojavljuje logaritamska funkcija na osnovu koje je moguće proceniti kritični interval sleđenja pomoću teorije maksimalne verovatnoće, tako da kritični interval zavisi od broja odbačenih intervala. Odbačeni intervali se ne mogu upotrebljavati u teoriji proračuna kapaciteta, zbog čega je potrebno uobličiti model da kao izlazni parametar ima vrednost t_c .

Najveći problem kod metoda zasnovanih na teoriji verovatnoće jeste što se za vrednost kritičnog intervala ne može uvek upotrebljavati aproksimacija normalnom raspodelom, zbog velike širine spektra vrednosti u kojima se pojavljuje kritični interval. Shodno tome, zbog preciznijeg dobijanja potrebnih vrednosti, razvijene su još neke metode i procedure zasnovane na teoriji verovatnoće, a koje se bave procenom kritičnog intervala.

Hewitt-ov metod (Hewitt's method)

Procena kritičnih intervala sleđenja je objavljena putem većeg broja radova istraživača *Hewitt*-a, u periodu od 1983. godine do 1993. godine ([Hewitt, 1983](#)), ([Hewitt, 1985](#)), ([Hewitt, 1993](#)). Kratak opis ove metode, prema ([Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999](#)), se daje u nastavku teksta: vremenska skala se deli u intervale jednake dužine (npr. $\Delta t = 1,0$ s). Sa t_i se označava centar svakog intervala. Sa $c_{i,0}$ se označava verovatnoća da će se kritični interval naći unutar intervala „ i “, gde indeks „ 0 “ označava nulti korak iterativnog postupka. Postupak se ponavlja dok se ne dobiju dve konsekvantne vrednosti kritičnog intervala sleđenja, odnosno da se vrednost $t_{c,x}$ ne razlikuje od vrednosti $t_{c,x+1}$. Sprovedenom analizom pribavljaju se vrednosti svih intervala koji se pojavljuju u toku, vrednosti prihvaćenih i odbijenih intervala, kao i vrednost teoretskog kritičnog intervala, koja bi trebala dodatno da se prilagodi izmerenim vrednostima i realnim uslovima u saobraćajnom toku.

Izuzetno je bitno istaći da *Hewitt*-ova metoda prvi put, umesto do tada prihvaćene *normalne* raspodele za intervale sleđenja, prihvata *log-normalnu* raspodelu. Za upotrebu *Hewitt*-ove metode, potrebni su odgovarajući softveri kako bi se olakšala kompletna procedura, pošto je ista za prosto računanje veoma komplikovana.

Metode maksimalne verovatnoće (Maximum likelihood procedures)

Procedura maksimalne verovatnoće za procenu kritičnih intervala sleđenja prvi put se pominje 1968. godine od strane *Miller*-a i *Preety*-a ([Miller & Pretty, 1968](#)). Više detalja po ovom pitanju 1972. godine daje *Miller* ([Miller, 1972](#)), a 1992. godine navedeni metod detaljno je opisan od strane *Troutbeck*-a ([Troutbeck, 1992](#)). Kako bi se razumeli osnovni elementi metoda, potrebno je analizirati:

r_d – najveći odbačeni interval (s) i
 a_d – prihvaćeni interval (s).

Metod je zasnovan na verovatnoći da će se za pojedinačnog vozača d , kritični interval sleđenja naći između najvećeg odbačenog intervala i prihvaćenog intervala sleđenja, a koji su dobijeni istraživanjem na terenu. Zapravo, kod metoda maksimalne verovatnoće utvrđuje se verovatnoća da će se kritični interval naći između r_d i a_d . Kako bi se procenila verovatnoća, neophodno je definisati generalni oblik funkcije $F_c(t)$ za celu populaciju vozača i pretpostaviti da se vozači isto ponašaju, odnosno da je uzorak homogen. U jednačini (3.16) se prikazuje verovatnoća da će se kritični interval nalaziti između r_d i a_d , putem funkcije $F_a(a_d) - F_r(r_d)$. Na uzorku od n vozača na sporednom toku, data je verovatnoća L^* :

$$L^* = \prod_{d=1}^n (F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.16)$$

Logaritam L verovatnoće L^* je dat kao:

$$L = \sum_{d=1}^n \ln(F_a(a_d) - F_r(r_d)) \quad (3.17)$$

Log-normalna distribucija je često korišćena u praksi, kao raspodela kritičnih intervala sleđenja t_c , pri čemu treba naglasiti da se u odnosu na *normalnu* distribuciju, *log-normalna* distribucija pokazala kao prihvatljivija za raspodelu intervala, a takođe i preciznije pokazuje ponašanje vozača u realnom saobraćajnom toku ([Miller, 1972](#)), ([Troutbeck, 1992](#)).

Maksimalna vrednost verovatnoće funkcije L dobija se u slučaju da je i vrednost L^* maksimalna. Kada se logaritam izjednači sa nulom, dobijaju se odgovarajuće vrednosti parametara kritičnog intervala sleđenja (srednja vrednost i

odstupanje). Skup jednačina zavisnih od r_d i a_d predstavljaju izlazni rezultat analize. Ove jednačine se rešavaju iterativnim postupkom, za šta su razvijeni posebni softveri od strane određenih autora (Troutbeck, 1992).

Zajedničko za sve metode verovatnoće i kumulativne raspodele kritičnih intervala sleđenja je to da se kritični interval nalazi okvirno na polovini kumulativne krive, odnosno da je to vrednost koju će prihvatiti minimalno 50% vozača u toku.

3.1.5. Kritički osvrt na analizirane metode za ocenu intervala sleđenja

Shodno prethodno navedenim metodama, u ovom delu je dat kratak osvrt na analizirane metode za procenu vrednosti kritičnog intervala sleđenja. Neke od navedenih metoda su već prevaziđene, dok su pojedine slabo primenljive u praksi. Sa druge strane neke metode su zasnovane na izuzetno kompleksnim proračunima pri čemu zahtevaju teško dostupne softverske pakete. Prema (Ruškić, 2013), svaki od ovih metoda je posebno analiziran i dat u tekstu kako sledi:

Siegloch-ov model

I pored toga što je model sa jedne strane veoma jednostavan i zasnovan na terenskom istraživanju, sa druge strane postoje ograničenja da se on može koristiti samo u uslovima visokih zahteva za protokom, odnosno konstantnog reda u sporednom saobraćajnom toku.

Metode koje vrše ocenu veličine intervala u situaciji kada zahtevi za protokom nisu veliki

Ograničenja ove metode su uglavnom u veoma komplikovanim istraživanjima na terenu i teoretskim pretpostavkama koje nisu prilagođene definisanim intervalima sleđenja.

Metode minimalnog prihvaćenog i maksimalnog odbačenog intervala

Ove metode se zasnivaju na merenju intervala sleđenja na terenu, minimalno prihvaćenog i maksimalno odbačenog od strane vozača. Ograničenja metoda su u tome što prihvaćeni i odbačeni intervali zavise od ponašanja vozača, preglednosti raskrsnice i drugih faktora. Takođe, postoje i ograničenja koja se odnose na poklapanje sa određenim raspodelama, tako da svako odstupanje od teoretske raspodele može dovesti do pogrešne ocene intervala.

Metode zasnovane na maksimalnoj verovatnoći

Pošto je kapacitet sporednih manevara po definiciji u direktnoj vezi sa verovatnoćom da će se u prioritetnom toku pojaviti slobodan interval za izvršavanje sporednog manevara, ove procedure su pokazale najbolje poklapanje sa praktičnim vrednostima kapaciteta.

Prema nekim istraživanjima (Tian, i drugi, 1999), (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999) procedura maksimalne verovatnoće (engl. *Maximum likelihood procedure*) je ocenjena kao najpogodnija metoda procene kritičnih intervala sleđenja. I pored toga ona nije mogla biti korišćena u ovoj disertaciji. Za određivanje intervala sleđenja, u ovoj metodi, koriste se specijalizovani softveri koji iterativnim postupkom utvrđuju vrednost intervala. Ovi softveri predstavljaju autorsko delo kreatora procedure, te nisu dostupni za širu upotrebu.

3.2. Metoda za procenu vrednosti intervala sleđenja korišćena u disertaciji

S obzirom na nedostatke navedenih metoda, te na nemogućnost korištenja teško dostupnih softvera, procena vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja u disertaciji je izvršena na osnovu opšte prihvaćene metode za određivanje srednje vrednosti uzorka, koja je zasnovana na raznim statističkim preporukama. Shodno osnovnom cilju istraživanja, bilo je potrebno koristiti metodu za određivanje srednjih vrednosti parametara t_c i t_f za dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni), kojom bi bili ispunjeni osnovni statistički uslovi za obradu prikupljenog uzorka (Mann, 2009), (Montgomery & Runge, 2010).

Široko rasprostranjen način obrade uzorka jeste metod kojim se prvobitno iz uzorka (analiziranog parametra) isključuju sve izmerene ekstremne vrednosti (engl. *outliers*) putem odgovarajućeg softvera (npr. *Minitab 18.1.0.*), nakon čega se pristupa daljoj obradi uzorka i utvrđivanja njegove srednje vrednosti (npr. putem programa *Microsoft Office Excel 2016*, *Minitab 18.1.0.* i dr.). Ovakav metod ima jaku statističku potporu, a preporučen je i od strane drugih autora (Montgomery & Runge, 2010), (Tanackov, Deretić, Bogdanović, Ruškić, & Jović, 2018). Prema tome, prethodno naveden i u disertaciji korišten metod se može smatrati validnim za potrebe određivanja srednjih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, za rezidentne i nerezidentne vozače. Tako dobijene vrednosti parametara t_c i t_f predstavljali su polaznu osnovu prilikom definisanja modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica.

3.3. Pregled najvažnijih modela za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica

Efikan dizajn kružnih raskrsnica zahteva detaljnu analizu maksimalnih kapaciteta, a od 1970-ih širom sveta razvijen je niz modela za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica, od kojih su se gotovo svi oslanjali na opsežne empirijske podatke. U ovom delu će se razmatrati najsavremenija svetska dostignuća, pružajući pregled glavnih modela za određivanje kapaciteta i njihovih osnovnih temeljnih metodologija, kao i njihova ograničenja i problemi koji nastaju prilikom primene na nove modele kružnih raskrsnica ili u drugim zemljama.

Kapacitet kružne raskrsnice se može razmatrati kao funkcija geometrije i zahteva tokova, kao i karakteristika vozača i vozila. Pretpostavlja se da veliki broj faktora, varijabli i mehanizama utiču na postupak prihvatanja vremenskih intervala između vozila, a samim tim i na kapacitet. Međutim, praktična ograničenja prilikom prikupljanja podataka za istraživanje, eksperimentalni dizajn i uzorkovanje daju prostor za razvoj nekoliko rešenja o modeliranju kapaciteta kružnih raskrsnica (Yap, Gibson, & Waterson, 2013), (Bogdanović & Stanimirović, 2019). Na taj način je razvijeno nekoliko održivih modela za određivanje kapaciteta širom sveta, koji se na osnovu svojih primarnih metodologija mogu svrstati u sledeće tri kategorije:

- Empirijski modeli, zasnovani na odnosu geometrije i stvarnog izmerenog kapaciteta,
- Modeli prihvatljivih intervala sleđenja, zasnovani na razumevanju ponašanja vozača i
- Modeli mikroskopske simulacije, koji se zasnivaju na modeliranju kinematike vozila i interakcijama između njih.

Postupak projektovanja kružnih raskrsnica zahteva odabir između geometrijskog dizajna i analize kapaciteta. Geometrijski dizajn kružnih raskrsnica se obično uređuje standardima i smernicama kao što su: britanski TD 16/07 (Department for Transport, 2007a), američka AASHTO Politika geometrijskog dizajna (AASHTO, 2011), FHWA smernice za kružne raskrsnice (Rodegerdts, i drugi, 2010), australijske smernice (Austroads., 2009), dok je ova materija u Srbiji regulisana putem priručnika iz 2012 (Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, 2012), a u Bosni i Hercegovini u sastavu smernica iz 2005. godine (Smjernice za projektovanje, građenje, održavanje i nadzor na putevima u BiH, 2005). Ove smernice, priručnici i standardi određuju kriterijume za geometriju, vidljivost i karakteristike poprečnog preseka kako bi se zadovoljili bezbednosni i operativni zahtevi. Geometrijski dizajn takođe mora zadovoljiti prostorna ograničenja koja mogu biti posebno zahtevna u gusto razvijenim područjima. Nakon toga sledi analiza kapaciteta pomoću jednog od modela opisanih u delu koji sledi, kako bi se proverilo da li geometrijski izgled zadovoljava kriterijume karakteristika saobraćaja. Ako se ustanovi da je kapacitet neadekvatan ili prevelik,

geometrija se prilagođava i ponovo analizira radi utvrđivanja kapaciteta, a ciklus se ponavlja dok svi kriterijumi nisu zadovoljeni uz najniže ukupne troškove. Trenutno najsavremeniji alati kao što su *AutoTrack Junction* (Savoy Computing Services Ltd, 2010) i *TORUS* (Transoft Solutions Inc., 2012) ubrzavaju proces gotovo istovremenom analizom dizajna i kapaciteta, integrišući analizu obrasca putanje vozila i modele kapaciteta u softverima *ARCADY / Junctions 8* (TRL Software, 2012) ili *SIDRA* (Akçelik, SIDRA Intersection 6.0, 2013).

3.3.1. Empirijski modeli za određivanje kapaciteta

Od tri temeljne metodologije za modeliranje kapaciteta kružne raskrsnice, empirijski modeli za određivanje kapaciteta, koji se temelje na kalibraciji odnosa između geometrije i stvarnog izmerenog kapaciteta, najstariji su utvrđeni oblik. Empirijski regresioni modeli stvaraju se statističkim multivarijantnim regresionim analizama kako bi se prilagodili matematičkim odnosima između izmerenog ulaznog kapaciteta (V_e), konfliktnih tokova (V_c) i ostalih nezavisnih promenljivih koje značajno utiču na kapacitet ulaza. Za odnos između V_e i V_c obično se pretpostavlja da je linearan ($V_e = \alpha - \beta V_c$) ili eksponencijalan ($V_e = \alpha e^{-\beta V_c}$). Ulazni kapacitet može se direktno meriti iz posmatranih ulaznih tokova tokom kontinuiranog čekanja u redu na ulazu, uz beleženje konfliktnih tokova u određenim vremenskim intervalima.

Model linearne regresije LR942

Široko je prepoznato da je model LR942 najbolji primer potpuno empirijskih modela za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica, što je standardni model u Engleskoj (Department for Transport, 1981) i osnova softvera *ARCADY / Junctions 8* (TRL Software, 2012) i *RODEL* (Rodel Software Ltd, 2012). Dobijen je na osnovu opsežnih podataka sa terena prikupljenih 1970-ih godina, sa preko 11000 minuta podataka o kapacitetu koji su pokrivali više od 86 ulaznih tokova kružnih raskrsnica (Kimber R. M., 1980). Model se zasniva na šest geometrijskih parametara: širina ulaza, ugao i poluprečnik, polovina širine prilaznog puta, spoljašnji radijus kružne raskrsnice i efektivna dužina proširenja (kako bi se omogućili prošireni ulazi gde se stvara kratka dodatna traka blizu mesta ulaska u kružnu raskrsnicu). Geometrijska osetljivost modela *LR942* može se pripisati uključivanju rezultata eksperimenta u kojima se mogu kontrolisati geometrija i uslovi saobraćaja, omogućavajući detaljna ispitivanja uticaja geometrije proširenja na kapacitet (Kimber & Semmens, 1977). Opsežna revizija ovog modela je sprovedena 1995. godine, kada je utvrđeno da su temeljni principi i oblik odnosa i dalje važeći (Barnard, Hall, & McDonald, 1995).

Francuski model Girabase

U Francuskoj je bilo nekoliko ranih linearnih regresionih modela, uključujući modele tipa *SETRA* (Louah, 1988) i *CETUR* (Alphand, Noelle, & Guichet, 1991). Mediteranski model *CETE* zasnovan je na *Harders*-ovom modelu prihvatanja vremenskih intervala između vozila (Brilon, 1988) za kružne raskrsnice sa više traka, ali je imao ograničenu mogućnost provere (Louah, 1992). Proizilazeći iz navedenog, model *Girabase* nastao od strane *CETE*, zasnovan je na podacima koji su dobijeni na osnovu 507 zasićenih intervala od pet do deset minuta na 45 kružnih raskrsnica (Guichet, 1997). Iako je zasnovan na *Siegloch*-ovom modelu prihvatanja vremenskih intervala između vozila, ovde je klasifikovan kao empirijski regresioni model pošto su za kalibriranje modela odabrani kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja, a ne podaci dobijeni terenskim merenjima (Louah, 1992). Putem statističke analize, kapacitet ulazne trake izražen u jedinici putnički automobili po času (PA/h) je prema (Guichet, 1997):

$$c_e = \left[\frac{3600}{t_f} \left(\frac{w_e}{3,5} \right)^{0,8} \right] e^{(-c_b Q_d)} \quad (3.18)$$

gde je:

- c_e – kapacitet ulazne trake izražen u (PA/h),
- t_f – vreme sleđenja (s),
- w_e – širina ulaza (m),
- C_b – faktor prilagođavanja za urbana/ruralna područja i
- Q_d – funkcija toka u kruženju (V_c), izlaznog toka (V_{ex}) na istom kraku kružne raskrsnice, i geometrijskih parametara.

Neuronske mreže

Statistički regresioni pristupi ograničavaju se potrebom za „*a priori*“ znanjem o obliku odnosa između nezavisnih i zavisnih promenljivih. Ovi se odnosi mogu teško utvrditi na osnovu analiza podataka istraživanja zbog širokog spektra izmerenih kapaciteta ulaznih tokova na kružnim raskrsnicama (Rodegerdts, i drugi, 2007).

Veštačke neuronske mreže korištene su kao alternativa za složene i izrazito nelinearne odnose (Karlaftis & Vlahogianni, 2011). One predstavljaju matematičke modele zasnovane na arhitekturi koja se sastoji od jednog ili više skrivenih slojeva s nekoliko veštačkih neuronskih ćelija s funkcijama aktiviranja. Koristeći veliki skup ulazno-izlaznih podataka, oni se obučavaju kroz algoritme učenja kako bi optimizirali težine i pristrasnosti. Pod uslovom da je strukturirana na odgovarajući način i da nije preterano obučena, neuronska mreža se može koristiti za kreiranje dobrih predviđanja na osnovu novih ulaznih podataka. Primer razvijen u Turskoj dao je bolje procenjene kapacitete na uzorku sastavljenom od kružnih raskrsnica u Turskoj u odnosu na modele prihvatljivih intervala sleđenja i regresione modele

(Özuysal, Çalışkanelli, Tanyel, & Baran, 2009). Međutim, uticaj pojedinačnih ulaza na kapacitet ne može se lako protumačiti iz optimiziranih težina i pristrasnosti, što može ograničiti upotrebu neuronskih mreža u projektantske svrhe, jer primena na bilo koje tipove dizajna koji nisu uključeni u izvorni skup podataka obuke može biti nepredvidiv (Yap, Gibson, & Waterson, 2013).

Ograničenja empirijskih modela

Prema (Yap, Gibson, & Waterson, 2013), empirijski modeli mapiraju odnos između ulaznih parametara i kapaciteta, ali ne dokazuju nužno uzročnost niti pružaju potpuno teorijsko razumevanje tih odnosa. Iako to ne ukida njihovu upotrebu kao predvidljivih alata, važno je razumeti temeljne principe jer mogu postojati atipični scenariji u kojima je potrebno inženjersko prosuđivanje za procenu valjanosti predviđenih kapaciteta. Ovaj problem se posebno odnosi na dizajn kružne raskrsnice, koji se treba uskladiti sa neuobičajenim ograničenjima samog mesta sa različitim veličinama ili orijentacijama krakova. Parametri uključeni u model treba da na odgovarajući način opišu sve ključne karakteristike kružne raskrsnice koje mogu uticati na kapacitet, jer bi izostavljanje bilo kojeg značajnog parametra moglo dovesti do lošijih predvidljivih performansi. Međutim, imajući u vidu da se troškovi prikupljanja podataka obično povećavaju s brojem parametara, izbor početnih parametara koji se istražuju uglavnom se zasniva na intuitivnom zaključivanju, prethodnim istraživanjima, pilot studijama i praktičnošću merenja. Konačni parametri u modelu se zatim zasnivaju na statističkoj značajnosti, što opet zavisi od eksperimentalnog dizajna i razmatranja uzorkovanja. Snažne korelacije između određenih parametara kružne raskrsnice (npr. širina ulaza i širina kružnog kolovoza) mogu uticati i na njihov statistički značaj.

Mnogi empirijski modeli su verovatno bili ograničeni veličinama uzorka korištenim za razvoj modela, koji su bili ograničeni brojem dostupnih zagušenih ulaza kružne raskrsnice. Statistički značajne veze između kapaciteta i geometrijskih parametara je takođe teško utvrditi zbog ograničenog raspona vrednosti parametara koji se mogu posmatrati. Na primer, uslovi zasićenog toka na ulazu u kružnu raskrnicu obično odgovaraju ograničenom rasponu konfliktnih tokova tokom vršnih sati, a to je delom dovelo do nejasnoće oko odnosa V_{ex} i V_c bili oni linearni ili nelinearni.

Prethodno navedeni problemi objašnjavaju zašto, uprkos ispitivanju niza geometrijskih parametara, nijedan drugi parametar osim parametra V_c nije utvrđen kao značajan kroz različite regresione modele koji se nalaze u objavljenoj literaturi (Al-Masaeid & Faddah, 1997), (Brilon & Stuwe, 1993), (Glen, Sumner, & Kimber, 1978), (Kimber R. M., 1980), (Kimber & Semmens, 1977), (Leemann & Santel, 2009), (Louah, 1992), (Polus & Shmueli, 1997), (Rodegerdts, i drugi, 2007), (Semmens, 1982), (Stuwe, 1991). Rezultati bilo kojeg empirijskog modela

verovatno će biti pouzdani samo unutar raspona parametara u izvornoj bazi podataka koji su korišteni za njegovu izradu. Primer je bio nesposobnost modela LR942 da na zadovoljavajući način modelira ulaze sa jako neuravnoteženim korištenjem trake (Chard, 1997), koji je od tada ispravljen pomoću simulacionog modeliranja traka uz pomoć softvera *ARCADY / Junctions 8* (TRL Software, 2012). Takođe, kapaciteti ulaza pri vrlo visokim konfliktnim tokovima verovatno uključuju ekstrapolaciju i zato mogu biti manje precizni, budući da su regresioni modeli najprikladniji za prosečne uslove u odnosu na izvorni skup podataka.

Pitanje ekstrapolacije takođe može uticati na prenosivost regresionih modela u druge zemlje zbog razlika u izgledu kružnih raskrsnica ili ponašanju vozača (Brilon W. , 2011), (Rodegerdts, i drugi, 2007), (Troutbeck R. J., 1998). Da bi se to kompenzovalo, mogla bi se koristiti kalibracija modela kroz promene koeficijenata kao što su nagibi i odsecci, ukoliko su dostupni podaci o stvarnim kapacitetima. Međutim, takva su prilagođavanja prihvatljiva samo u ograničenom obimu, jer bi velike promene izgleda raskrsnica uključivale i druge promene parametara modela koji se ne mogu jasno razumeti.

3.3.2. Modeli prihvatljivih intervala sleđenja

Prihvatanje vremenskih intervala između vozila je alternativni pristup modeliranju kapaciteta, zasnovan na teorijskim modelima razvijenim oko parametara dobijenih na osnovu merenja pojedinačnih intervala sleđenja između vozila u konfliktnom i ulaznom toku. Prikupljanje podataka za ovu metodu je stoga manje zavisno od izrazito zagušenih ulaza sa neprekidnim čekanjem u redu u odnosu na one za empirijske modele (Akçelik, Chung, & Besley, 1998), (Rodegerdts, i drugi, 2006).

Modeli prihvatljivih intervala sleđenja se oslanjaju na tri varijable (promenljive) za određivanje ulaznog kapaciteta:

1. Kritični interval sleđenja (t_c) je minimalno vreme sleđenja između dva vozila u konfliktnom toku koje će prihvatiti vozač koji ulazi u raskrnicu. Kako se ovo vreme ne može direktno posmatrati, razvijene su mnoge metode za procenu posmatranih odbačenih i prihvaćenih vremenskih intervala između vozila, kao što su modeli koje su dali *Siegloch, Raff, Harders, Wu* i drugi (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), (Wu N. , 2012);
2. Vreme sleđenja (t_f) predstavlja vreme između dva vozila koja iz reda čekanja jedno za drugim sa sporednog toka ulaze u isti vremenski interval između vozila u konfliktnom toku;
3. Raspodela vremenskih intervala između vozila u konfliktnom toku zasniva se na *Poissonovim* slučajnim dolascima ili grupisanim tokovima. *M3 distribucija* koju je dao Cowan 1975. godine (Cowan, 1975) posebno ima široku primenu za modeliranje sleđenja vozila u konfliktnom toku kružnih

raskrsnica (Akçelik R. , 2007), (Hagring, 1996), (Luttinen, 1999), (Troutbeck R. J., 1989), ali njegovi parametri moraju biti ocenjeni na osnovu podataka dobijenih na terenu pošto se razlikuju od ponašanja vozača (Tanyel & Yayla, 2003).

Na osnovu ovih varijabli može se izračunati ulazni kapacitet pomoću odgovarajućih modela, kao što su rani modeli koje su dali Tanner (Tanner J. C., 1962), Armitage i McDonald (Armitage & McDonald, 1974), te Ashworth i Laurence (Ashworth & Laurence, 1978). Međutim, Siegloch-ov model je najšire prihvaćen predstavljajući osnovu za HCM (Akçelik R. , 2011a), rane nemačke modele (Stuwe, 1991), kao i francuski model Girabase (Certu, 2006). Zasniva se na negativnim eksponencijalnim sleđenjima, s kritičnim intervalom sleđenja i vremenom sleđenja dobijenim regresijom iz merenja u odgovarajućim uslovima:

$$c_e = \frac{3600}{t_f} e^{-v_c(t_c - \frac{t_f}{2})} \quad (3.19)$$

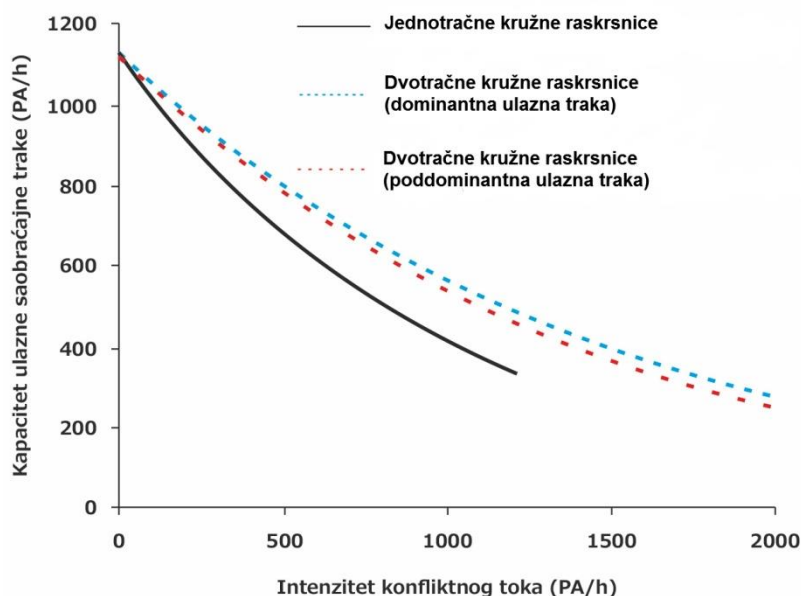
Raznolikost raspoloživih modela prihvatanja vremenskih intervala između vozila predstavlja razliku u pretpostavljenim distribucijama sleđenja i formulacije relevantnih parametara kao što je udeo grupisanja vozila (Akçelik R. , 2007), (Wu N. , 2001). Pored toga, nekoliko modela kao što su SIDRA, McDonald i Armitage (McDonald & Armitage, 1978), koriste analogiju saobraćajnih okolnosti uslovljenih zasićenjem tokova, neiskorištenim intervalima sleđenja, nasilnim oduzimanjem ili ustupanjem prvenstva prolaza (Akçelik, 1994). Poređenja nekoliko ovih modela prihvatanja intervala sleđenja za određivanje kapaciteta koje je vršio Akçelik (Akçelik R. , 2007) pokazala su da je uglavnom postojala mala razlika u rezultatima modela, osim kod većih konfliktnih tokova gde je grupisanje vozila bilo značajnije.

Highway Capacity Manual (američki priručnik za proračun kapaciteta puteva i putnih objekata)

S obzirom na nedostatak zasićenih kružnih raskrsnica u devedesetim godinama XX veka, modeliranje kapaciteta na kružnim raskrsnicama u SAD-u se u početku temeljilo na modelu LR942 sa zadanim geometrijskim parametrima (Federal Highway Administration, 2000), iako je Harders-ov model prihvatljivih intervala sleđenja takođe usvojen 2000. godine. Priručnik za proračun kapaciteta puteva i putnih objekata (*Highway Capacity Manual* - HCM) se prema izdanju iz 2000. godine bazirao na zadatoj gornjoj i donjoj granici kritičnih sleđenja i vremena sleđenja (Highway Capacity Manual, 2000).

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Kasnija istraživanja utvrdila su ekvivalentnost između koeficijenta eksponencijalnog modela regresiranih iz podataka o kapacitetu iz 18 prilaza sa jednom trakom i 7 prilaza sa dve trake, i onih koji odgovaraju terenski izmerenom kritičnom intervalu sleđenja i vrednostima vremena sleđenja pomoću forme *Siegloch*-ovog modela (Akçelik R. , 2011a), (Rodegerdts, i drugi, 2007). Ovi nalazi su bili osnova modela datog u *HCM 2010* (*Highway Capacity Manual, 2010*), prikazanog na *Slici 3.3*, koji se može kalibrirati s merenim parametrima prihvatanja vremenskih intervala između vozila. Međutim, neadekvatni dokazi o statistički značajnim vezama između parametara kapaciteta ili prihvatanja vremenskih intervala između vozila i drugih geometrijskih varijabli značili su da koeficijenti eksponencijalnog modela zavise samo od broja ulaznih traka i traka u kruženju, kao i od toga da li je ulazna traka leva ili desna.



Slika 3.3. Kapacitet kružnih raskrsnica prema HCM 2010

Poslednje izdanje priručnika *HCM* iz 2016. godine (*Highway Capacity Manual Edition 6, 2016*) se u odnosu na *HCM 2010* razlikuje u pogledu preporučenih vrednosti parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, dok su razlike u postavljenim modelima minimalne.

Nemačka istraživanja koja su sproveli Brilon i Wu

Rane studije kapaciteta kružnih raskrsnica u Nemačkoj u početku su se zasnivale na modelima prihvatljivih intervala sleđenja, ali su imale poteškoće poput definisanja glavnog toka na kružnim raskrsnicama sa više traka (Stuwe, 1991). Kasniji pristupi koristili su regresione analize sa eksponencijalnom formom ukupne veličine uzorka od 4898 jednodominantnih intervala uzetih na kružnim raskrsnicama sa jednom i dve ulazne trake, dok je broj traka u kruženju bio od jedan do tri (Brilon & Stuwe, 1993). To je kasnije izmenjeno u linearni oblik koji se bolje uklapa kada je veličina uzorka povećana na 7252 (Brilon, Wu, & Bondzio, 1997).

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Međutim, linearni model je odbijen jer nije imao jasnu teorijsku osnovu, dok je postojala sumnja u njegovu valjanost u tokovima u kojima je bilo malo izmerenih vrednosti. Ovaj model je upotrebljen u Nemačkom priručniku za proračun kapaciteta iz 2001. godine ([German Highway Capacity Manual, 2001](#)), a izveden je iz principa prihvatanja vremenskih intervala između vozila i teorije redova čekanja – teorije masovnog opsluživanja ([Wu N. , 2001](#)). Bazira se na broju ulaznih traka (n_e) i broju saobraćajnih traka u kruženju (n_c):

$$c_e = 3600 \left(1 - \frac{\Delta V_c}{n_c 3600}\right)^{n_c} \frac{n_e}{t_f} e^{\frac{V_c}{3600} \left(\frac{t_f}{t_c} \Delta\right)} \quad (3.20)$$

Zadate vrednosti kritičnog intervala sleđenja (t_c), vremena sleđenja (t_f) i minimalnih intervala unutar grupe (Δ) (engl. *intra-bunch minimum headways*) prvobitno su dobijene na osnovu posmatranja na terenu ([Brilon W. , 2005](#)). Prema istraživanju iz 2011. godine, za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica je potrebno koristiti i parametar prečnika kružne raskrsnice ([Brilon W. , 2011](#)), pri čemu veće kružne raskrsnice koriste ekponencijalne koeficijente modela koji se direktno regresiraju.

Model prihvatanja vremenskih intervala između vozila SR45/ SIDRA

Najpoznatiji model prihvatljivih intervala sleđenja za kružne raskrsnice razvijen je u Australiji, prvobitno predstavljen u obliku modela SR45 ([Troutbeck R. J., 1989](#)). Koristeći podatke sa 55 ulaznih traka kružnih raskrsnica u Australiji, razvijene su regresione jednačine za kritične intervale sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f) dominantne (leva u Australiji) i pod-dominantne (desna u Australiji) ulazne trake ([Troutbeck R. J., 1989](#)). Dominantna traka u ulaznom toku sa više traka je definisana kao traka sa većim zahtevom za protokom i većim tokom skretanja ([Akçelik, Chung, & Besley, 1997](#)). Raspodela intervala sleđenja u konfliktnom toku je bila distribucija *Cowan M3*, gde se pretpostavlja da je udeo vozila (α) povezan sa fiksnim sleđenjem unutar grupe (Δ), dok su ostala vozila imala ekponencijalno raspoređena sleđenja. Smatra se da je sleđenje unutar grupe 1 sekunda za kružne kolovoze sa više traka i 2 sekunde za kružne kolovoze sa jednom trakom, dok je udeo grupisanih vozila izračunat na osnovu konfliktnog toka korištenjem regresionih jednačina. Kapacitet ulaza za svaku traku je zatim izračunat na osnovu sledeće formule ([Troutbeck R. J., 1989](#)):

$$c_e = \frac{\alpha V_c e^{-\lambda(t_c - \Delta)}}{1 - e^{-\alpha t_f}} \quad (3.20)$$

gde je λ parametar skale ili stope smanjenja i zavisi od Δ , α i V_c .

Model *SIDRA* (Akçelik R. , 2013) predstavlja dalji razvoj modela *SR45* (Akçelik, 1994), revidovane verzije empirijskog vremena sleđenja i jednačina kritičnih intervala sleđenja na osnovu *SR45*. Ostale revizije modela intervala sleđenja vozila u toku u kruženju i kapaciteta uključuju dodatne faktore za podelu prioriteta, obrasce polazišno-odredišne tačke i čekanje u redu na prilazima u gornjem delu toka (Akçelik & Besley, 2004), (Akçelik, Chung, & Besley, 1998) koji su kalibrirani (prilagođeni) iz studija zasnovanih na mikroskopskom simulatoru *ModelC* (Akçelik, Chung, & Besley, 1997). Novije verzije *SIDRA* uključuju faktore prilagođavanja za ulazni radijus i ugao ulaska u kružni tok (Akçelik R. , 2011c).

Ograničenja pristupa modela prihvatljivih intervala sleđenja

Deljenje prioriteta javlja se kada vozila u kružnom kolovozu usporavaju kako bi se prilagodila i izbegla sudaranje sa vozilima koja prisilno ulaze u manje intervale između vozila. U ekstremnim slučajevima, poništavanje prioriteta događa se tamo gde se neka vozila u kružnom kolovozu privremeno zaustave usled pojave vozila koja sa sporednog toka prisilno ulaze u raskrsnicu ili usled pojave blokiranih izlaza. Ove pojave se javljaju u različitom obimu na mnogim kružnim raskrsnicama, posebno kada se vozila u kružnom kolovozu kreću relativno malim brzinama, sa manjim odstojanjem između vozila. Njihova pojava je u suprotnosti sa uobičajenom pretpostavkom da metode prihvatanja vremenskih intervala između vozila u distribucijama sleđenja vozila u toku u kruženju nisu pod uticajem vozila koja dolaze iz ulaznog (sporednog) toka (Kimber R. M., 1989), ali su napravljene modifikacije u distribuciji (raspodeli) sleđenja (Akçelik R. , 2011b), (Troutbeck & Kako, 1999). Modeli prihvatljivih intervala sleđenja koji zavise od tokova vozila (Troutbeck R. J., 1989) razvijeni su u cilju prevazilaženja ovog problema.

Jedna od kritika modela zasnovanih na prihvatljivim intervalima sleđenja je ta što oni ne određuju direktno opseg odnosa između geometrije (jedini faktor koji projektant kružne raskrsnice može kontrolisati) i kapaciteta. Umesto toga, oni zahtevaju formulisanje i kalibraciju posredničkog modela interakcije između vozila, koji se potom mora posebno povezati sa geometrijom i kapacitetom na ulazu. To je problem jer su modeli kapaciteta osetljivi na vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, kao i na razlike u raspodeli vremena sleđenja na većim tokovima u kruženju (Akçelik R. , 2007). Međutim, svojstvena varijabilnost ponašanja vozača dovodi do prilično slabih odnosa između ovih parametara i geometrije zbog uticaja drugih faktora. Na primer, utvrđeno je da kritični intervali sleđenja u kružnim raskrsnicama variraju sa zastojem (Polus, Lazar, & Livneh, 2003) i brzinom kretanja (Xu & Tian, 2008), dok je *Hagring* (Hagring O. , 2001) sugerisao da se kritični interval sleđenja može preceniti ako je udeo vozila na izlazu, neposredno pre ulaznog toka, bio veliki. Uključivanjem samo geometrijskih parametara i parametara toka koji se mogu bolje pratiti, regresiona jednačina kritičnog intervala sleđenja u modelu *SR45* objasnila je manje od polovine

posmatranih varijacija (Troutbeck R. J., 1989). Za razliku od SR45 / SIDRA, kritični intervali sleđenja u većini drugih modela prihvatljivih intervala sleđenja uopšte nisu zavisni od geometrije kružne raskrsnice.

Takođe, postoje poteškoće u definisanju parametara na osnovu izvršenih merenja na terenu. Na primer, postoji mnogo metoda izračunavanja kritičnog intervala sleđenja, ali one ne daju kompaktne odgovore (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), (Lindenmann, 2006), (Tupper, Knodler, Fitzpatrick, & Hurwitz, 2013), (Wu N. , 2012). Slično tome, vreme sleđenja unutar grupe (Δ) i udeo vozila u grupi (α), koji se koriste u modelima sa grupnim vremenima sleđenja, ne mogu se direktno meriti, imajući u vidu da razlika između slobodnog kretanja vozila i vozila u koloni nije uvek jasna na osnovu njihovih vremena sleđenja. α se obično bazira na različitim funkcijama konfliktnog toka i Δ (Akçelik R. , 2007). Kretanje vozila sa više traka u kruženju približno se određuje kao jedan tok (Akçelik, Chung, & Besley, 1998), (Hagring, 1996), (Troutbeck R. J., 1989), pri čemu je Δ fiksna vrednost koja zavisi od broja kružnih traka (Troutbeck R. J., 1989) ili u slučaju SIDRA funkcije tokova kružnih traka, obrazaca polazno-odredišne tačke i obrazaca čekanja u redu na prilazu (Akçelik, Chung, & Besley, 1998). Ova približna određivanja opravdana su potrebom da se preciznije modeliraju veći vremenski intervali između vozila u poređenju sa manjim vremenskim intervalima, radi veće mogućnosti praćenja (Luttinen, 1999), (Troutbeck R. J., 1991). Međutim, kalibriranje modela sa novim vrednostima izmerenim na terenu za drugačiji izgled raskrsnice ili okolnosti može biti bitno za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica (Tanyel & Yayla, 2003).

3.3.3. Modeli mikroskopske simulacije

Modeli mikroskopske simulacije se zasnivaju na modeliranju kretanja i interakcija pojedinačnih vozila u mreži koja se sastoji od veza i čvorova ili konektora. Kretanje vozila reguliše se prihvatanjem vremenskih intervala između vozila, praćenjem automobila, promenom vozne trake i drugim modelima, a obično se izračunavaju za svako vozilo u posebno određenom vremenskom trenutku. Parametri ponašanja vozača kao što su kritični intervali sleđenja i procesi kao što su generisanje vozila su stohastički dodeljeni *Monte Carlo* metodama koristeći određene distribucije verovatnoće, tako da dobijena varijabilnost rezultata pokušava odražavati karakteristike saobraćaja u stvarnosti.

Na raspolaganju je nekoliko autorizovanih programa mikroskopske simulacije za modeliranje opštih saobraćajnih mreža, uključujući *S-Paramics* (Paramics Microsimulation, 2011), *Aimsun* (TSS-Transport Simulation Systems, 2011), *Vissim* (PTV Group, 2011) i *SUMO* (Behrisch, Bieker, Erdmann, & Krajzewicz, 2011). Nekoliko modela mikroskopske simulacije specifične za kružne raskrsnice takođe je objašnjeno od strane raznih istraživača, što je prikazano u više radova (Chin, 1985), (Chung, Young, & Akçelik, 1992), (Krogscheepers & Roebuck,

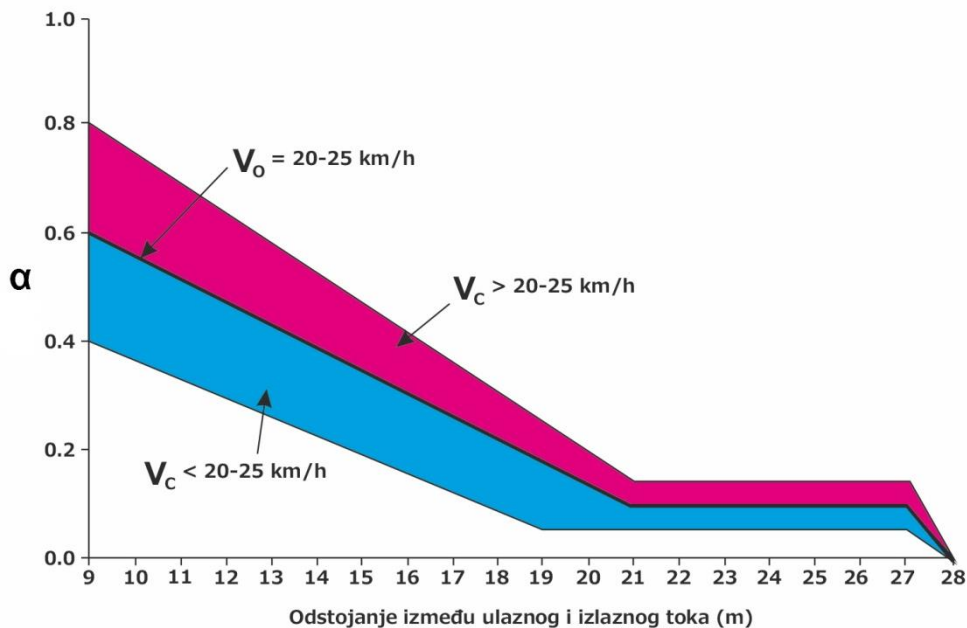
1999), (Tan, 1991), dok su ostali simulacioni programi kao što su *INSECT* (Tudge, 1988), *OCTAVE* (Louah, 1988) i *KNOSIMO* (Grossmann, 1988) korišteni za analizu uopšteno nesignalisanih raskrsnica. Jedna od prednosti modela mikroskopske simulacije jeste to što se za proučavanje parametara mogu kontrolisati zahtevi za protokom i izvođenje manevara. Oni se tako koriste u istraživanjima kružnih raskrsnica koja zahtevaju modeliranje takvih uticaja (Fortuijn, 2009b), (Krogscheepers & Roebuck, 2000), (Valdez, Cheu, & Duran, 2011), kao i za razvoj i potvrđivanje makroskopskih modela kao što je *SIDRA* (Akçelik, 1997). Bared i Afshar (Bared & Afshar, 2009) i Hossain (Hossain, 1999) takođe su razvili makroskopske modele za određivanje kapaciteta regresijom podataka iz modela mikroskopske simulacije, a ne na osnovu podataka sa terena. Uloga simulacionih modela u modeliranju kapaciteta u kružnim raskrsnicama ilustrovana je razvojem švajcarskog modela za određivanje kapaciteta.

Švajcarski model Bovy-Tan

Švajcarski model za određivanje kapaciteta kružne raskrsnice zasnovan je na francuskom linearnom empirijskom modelu *CETUR* (Louah, 1988), sa regresionom jednačinom, sa nagibom i odsečkom kalibriranim prema podacima posmatranim na terenu u Švajcarskoj i simuliranim podacima (Tan, 1991):

$$c_e = 1500 - \frac{8}{9}(\beta V_c + \alpha V_{ex}) \quad (3.21)$$

Gde β zavisi od broja saobraćajnih traka u kruženju, a α pokušava odraziti uticaj vozila koja napuštaju kružnu raskrsnicu (V_{ex}) neposredno u gornjem delu toka (na kružnom kolovozu) pre tačke ulaska (Slika 3.4). Mikroskopskom simulacijom utvrđeno je da se α smanjuje s rastojanjem razdvajanja između tačke u kojoj se kružni i izlazni tok razilaze i tačke u kojoj se ulazni i kružni tok spajaju (Tan, 1991). Na Slici 3.4. dat je grafički prikaz odnosa između koeficijenta izlaznog toka α u odnosu na odstojanje razdvajanja tokova na ulazu i izlazu istog kraka kružne raskrsnice, pri čemu V_c predstavlja brzinu vozila u kružnom kolovozu.



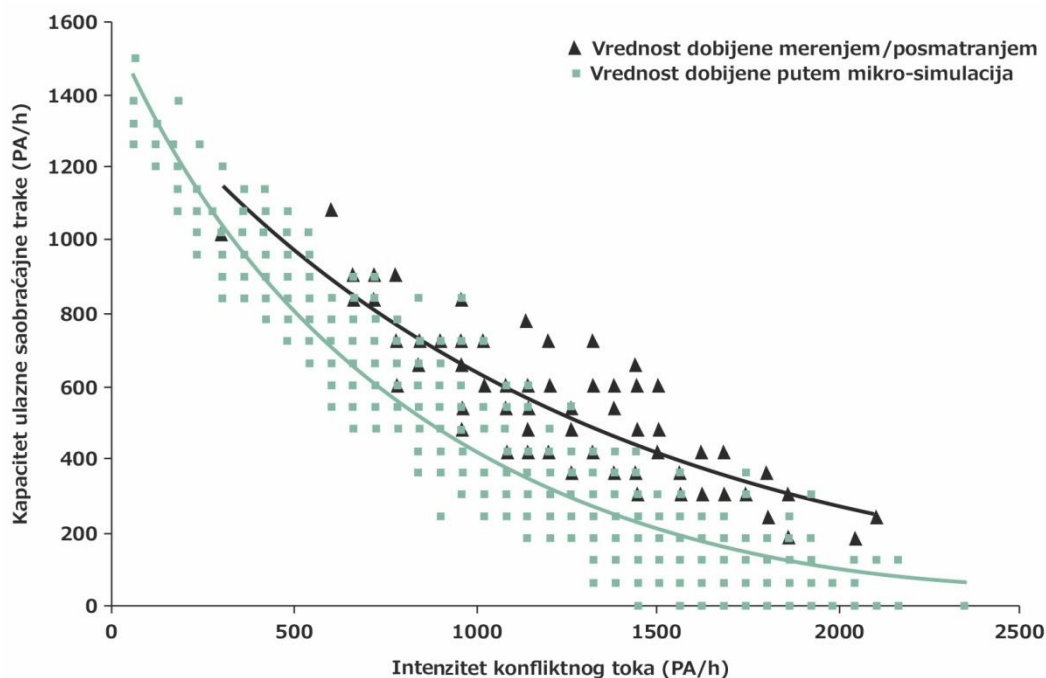
Slika 3.4. Odnos između koeficijenta izlaznog toka α u odnosu na odstojanje razdvajanja između ulazne i izlazne trake istog kraka kružne raskrsnice

*Izvor: Simon (1991)

Ograničenje modela mikroskopske simulacije

Najpoznatije ograničenje mikroskopskog simulacijskog modeliranja kružnih raskrsnica je fenomen poništenja prioriteta i deljenja prioriteta. Dok se prvi slučaj može pojaviti zbog ograničenja kapaciteta drugih raskrsnica u donjem delu toka (zbog čega nije detaljnije razmatrano), važnije je pitanje deljenja prioriteta, koje se događa posebno pri velikim tokovima u kruženju. Relativno jednostavni algoritmi prihvatanja vremenskih intervala između vozila koji se koriste u uobičajenim programima mikroskopske simulacije možda ne modeliraju adekvatno uticaj podele prioriteta (Chevallier & Leclercq, 2009a), što dovodi do lošijeg predviđanja kapaciteta ulaza pri velikim tokovima u kruženju, kao što je prikazano na Slici 3.5. Zbog toga će biti potrebni složeniji algoritmi prihvatanja kritičnih intervala sleđenja sa više nivoa ili alternative poput algoritma verovatnoće prihvatanja kritičnih intervala sleđenja kojeg su ustanovili Chevallier i Leclercq (Chevallier & Leclercq, 2009b), kako bi se preciznije modelirali kapaciteti kružne raskrsnice u zagušenim uslovima.

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica



Slika 3.5. Poređenje posmatranih tokova jednogminutnih kapaciteta na istočnom ulazu kružne raskrsnice A33 / B3349 sa tokovima na komercijalnom modelu mikroskopske simulacije (koristeći zadate parametre)

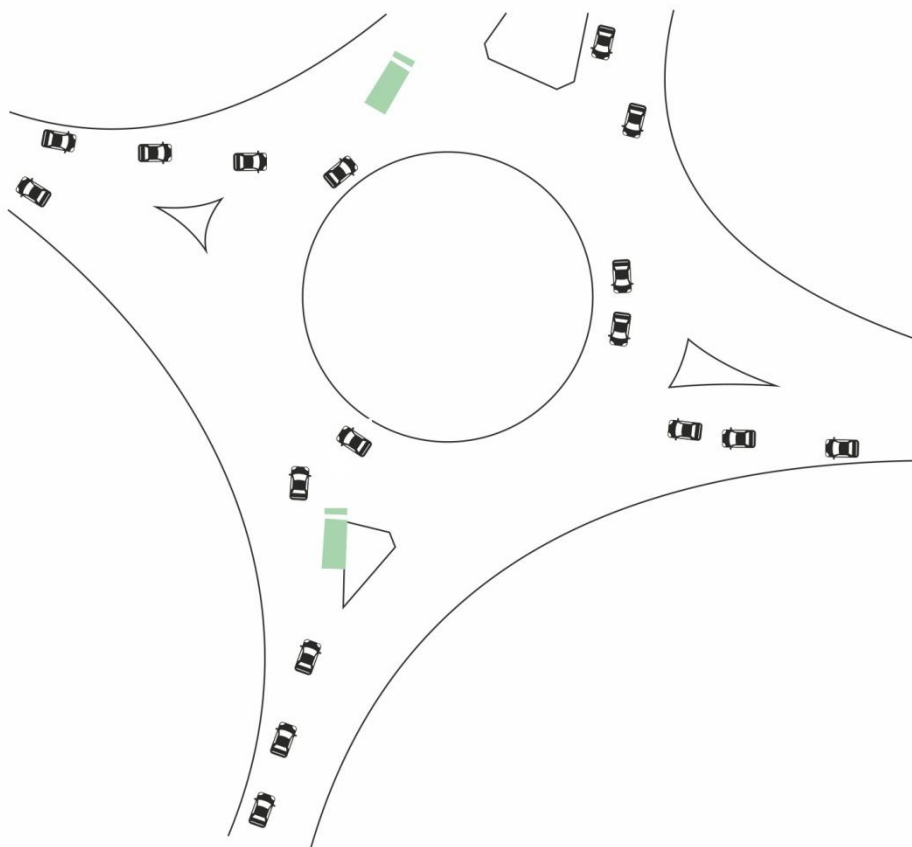
*Izvor: Yap, Gibson, Waterson (2013), Figure 4.

Neki modeli mikroskopske simulacije takođe imaju poteškoća u preciznom modeliranju ponašanja na ulazima sa više traka. Na primer, u kružnoj raskrsnici sa dve ulazne i dve kružne trake, u teoriji ne postoji konflikt između ulazećeg vozila iz ulazne dominantne trake (desna traka gde se saobraćaj odvija desnom stranom, leva traka gde se saobraćaj odvija levom stranom) i vozila koje se kreće unutrašnjom trakom u toku u kruženju, pošto se oba vozila mogu istovremeno kretati bez međusobnih konflikata. Mreža mikroskopske simulacije koja to odražava (Slika 3.6, *dominantna leva traka*) proizvela bi veći kapacitet ulaza za ulaznu dominantnu traku jer je u sukobu samo sa vanjskom trakom u kruženju, a ne sa obe kružne trake.

Međutim, u praksi se često primećuje da vozila u dominantnoj traci ne ulaze u kružni tok kada u unutrašnjoj traci postoji vozilo u kretanju (Troutbeck R. J., 1990), jer obično postoji određena nesigurnost oko toga da li će to vozilo iz unutrašnje trake preći u spoljnu traku kako bi izašlo na sledećem kraku kružne raskrsnice. Veštačko umetanje konfliktne tačke u model mikroskopske simulacije moguće je rešenje kako bi se napravila replika toga, ali ne prikazuje tačno stanje kada neki vozači iz dominantne trake povremeno ulaze u raskrsnicu na prethodno opisan nesiguran način. Cicu, Illotta, Bared i Isebrands (Cicu, Illotta, Bared, & Isebrands, 2011) koristili su smanjenu vrednost kritičnog intervala sleđenja za dominantnu ulaznu traku, ali realističniji prikaz verovatno će zahtevati prilagođeni algoritam verovatnoće i bolje razumevanje odluka vozača.

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Na Slici 3.6. dat je primer modela mikroskopske simulacije postavljen tako da prikazuje automobil koji ulazi iz dominantne trake (na slici leva traka, jer je prikazana kružna raskrsnica gde se saobraćaj odvija levom stranom, u smeru kazaljke na satu) pored drugog vozila koje cirkuliše u unutrašnjoj traci, dok teretno vozilo čeka u poddominantnoj traci (na slici desna saobraćajna traka).



Slika 3.6. Primer modela mikroskopske simulacije
*Izvor: Yap, Gibson, Waterson (2013), Figure 5

Rezultati modela mikroskopske simulacije zavise od velikog broja različitih parametara koji upravljaju kretanjem vozila. Mnoge od ovih parametara teško je kalibrirati (prilagođavati) na osnovu dostupnih podataka sa terena, pa mogu biti ostavljeni kao zadane vrednosti koje preporučuju programeri. Kalibracija i validacija modela su zato presudni za osiguravanje prikladnosti ovih parametara, a oni se obično izvode poređenjem rezultata modela sa podacima sa terena koristeći mere poput vremena putovanja i tokova na izlazima (Ryder, 2001).

Najvažnija mera za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica jeste intenzitet konfliktnog toka. Međutim, kapacitet ulaza je osetljiv na vrednost kritičnog intervala sleđenja vozila (Gallelli & Vaiana, 2008), kao i na druge parametre kao što su: minimalno vreme sleđenja, ubrzanje vozila, vreme reakcije, brzine obavljanja manevra, dužine vozila i preglednosti (Casas, Ferrer, Garcia, Perarnau, & Torday, 2010), (Fellendorf & Vortisch), (Sykes, 2010). Za predložene dizajne bez

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

dostupnih podataka sa terena, potrebno je primeniti prilagođene parametre iz drugog postojećeg modela kružne raskrsnice koji je potvrđen uz pomoć podataka sa terena. Međutim, upitno je da li se takvi parametri mogu preneti direktno s jedne kružne raskrsnice na drugu (Gagnon, Sadek, Touchette, & Smith, 2008), posebno kada su geometrija i tokovi različiti.

3.3.4. Diskusija opisanih modela

U delu disertacije od Poglavlja 3.3.1 do 3.3.3 dat je kratak pregled glavnih modela za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica i tri osnovna pristupa koja su korištena u njihovom razvoju. U toku primene različitih modela postavljaju se i određena pitanja koja otežavaju poslove projektovanja (dizajniranja) i simulacionog modelovanja.

Razlike u ulaznim podacima i njihove implikacije

Ograničenja svakog od glavnih pristupa modeliranju kapaciteta, kao što je već razmatrano, podrazumevaju da je razvoj glavnih modela predviđanja kapaciteta obično uključivao kombinaciju dva ili više pristupa.

Tabela 3.1. Poređenje osnovnih ulaznih podataka koje dele glavni internacionalni modeli za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica

Model	HCM 2010/2016	Nemački Tanner- Wu	Francuski Girabase	Model LR942	Model RR142	SIDRA	Švajcarski Bovy-Tan
Intenzitet konfliktnog toka	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno
Upisani prečnik ili poluprečnik	-	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	-
Razdvajanje ulaza i izlaza ili širina razdelnog ostrva	-	-	uvršteno	-	uvršteno	-	uvršteno
Broj traka u kruženju ili širina kružnog kolovoza	uvršteno	uvršteno	uvršteno	-	-	uvršteno	uvršteno
Broj ulaznih traka	uvršteno	uvršteno	-	-	-	uvršteno	uvršteno
Širina ulaza	-	-	uvršteno	uvršteno	uvršteno	uvršteno	-
Efektivna dužina proširenja ili dužina kratke trake	-	-	-	uvršteno	uvršteno	uvršteno	-
Ugao ulaza	-	-	-	uvršteno	uvršteno	uvršteno	-
Pozicija trake u ulazu (dominantna-poddominantna)	uvršteno	-	-	-	-	uvršteno	-
Izlazni tok	-	-	uvršteno	-	-	-	uvršteno

**Izvor: Yap, Gibson, Waterson (2013), Table 1.*

S obzirom na to da se kružne raskrsnice projektuju i deluju na vrlo sličnim principima, nedoslednost značajnih varijabli u modelima (*Tabela 3.1*) može sugerisati moguće izostavljanje uticajnih faktora zbog metodoloških ograničenja ili ograničenja uzorkovanja. U tom slučaju znači da modeli verovatno ne pružaju potpuni opis složenih procesa ponašanja i fizičkih procesa koji upravljaju ulaznim kapacitetom, a samim tim i kapacitetom kružne raskrsnice.

Uloga empirizma i njegove implikacije

Nemogućnost modela da u potpunosti opisuju procese na ulazima u kružne raskrsnice ogleđa se i u njihovom velikom oslanjanju na podatke sa terena iz njihovih država. Čak se i model prihvatanja kritičnog intervala sleđenja *SR45 /SIDRA* oslanja na empirijske regresione modele za kritične intervale sleđenja i vremena sleđenja. Oslanjanje na empirijske podatke u podešavanju modela postavlja pitanje oko geografske i vremenske prenosivosti svih modela. To je pitanje iz razloga vremenskog razvoja dizajna kružne raskrsnice i mogućeg ponašanja u vožnji. Npr. nakon pretvaranja „konvencionalnih“ kružnih raskrsnica u prioritetne kružne raskrsnice u Engleskoj, dizajni su se promenili iz kratkih proširenja sa više traka sa malim ostrvima u duža proširenja sa manje traka. Veće kružne raskrsnice sa većim kapacitetima ulaza takođe su postale sve važnije, što pokazuju i trendovi u istraživanjima ([Bared & Afshar, 2009](#)), ([Leemann & Santel, 2009](#)), ([Semmens, 1982](#)), ([Semmens M. C., 1988](#)). Bezbednost je važan pokretač za promene, što pokazuje uvođenje kompaktnih vidova dizajna jednotračnih kružnih raskrsnica u Engleskoj za veću bezbednost biciklista i pešaka ([Department for Transport, 2007a](#)) i sve veće razmatranje turbo kružnih raskrsnica ([Brilon W. , 2011](#)), ([Fortuijn, 2009a](#)), ([Giuffrè, Guerrieri, & Granà, 2009](#)). Ove promene u dizajnu utiču na izbor modela za analizu kapaciteta.

Razlika u metodologijama i njihov uticaj na projektna rešenja

Temeljne metodološke razlike između pristupa modeliranju takođe se moraju uzeti u obzir pri odabiru modela za analizu kapaciteta. Ne postoji jasan odgovor koji od tri pristupa modeliranju je najbolji u svim situacijama, iako će neki modeli više odgovarati određenim scenarijima u poređenju s drugima. Na primer, pošto se empirijski modeli razvijaju iz baze podataka kružnih raskrsnica unutar određenog skupa uslova, njihova će upotreba verovatno biti efikasnija i prikladnija kada je kružna raskrsnica koja se analizira slična onima unutar izvorne baze podataka u pogledu geometrije, saobraćajnih uslova, vozača, vozila i drugih karakteristika. Sa druge strane, ako su vremena sleđenja tokova u kruženju vrlo neuobičajena (npr. usled stvaranja kolone zbog uslova u gornjem delu toka ili neuobičajenih polazno-odredišnih elemenata), modeli prihvatljivih intervala sleđenja mogu biti prikladniji. Simulacioni modeli mogu se zahtevati u slučajevima ometanja ulazne trake u proširenim ulazima, s obzirom na potrebu da se izričito modelira upotreba traka,

stohastička priroda procesa čekanja u redu i dolazaka, i interakcije sa proširenim dužinama. Navodeći primer novih turbo kružnih raskrsnica gde se vozila iz poddominantne trake (leva traka za kretanje desnom stranom, desna traka za kretanje levom stranom) ukrštaju umesto da se stapaju s konliktnim tokom, modeli koji se zasnivaju na prihvatljivim intervalima sleđenja ili mikroskopskoj simulaciji mogli bi biti prikladniji, iako bi se gotovo sigurno zahtevalo pažljivo kalibriranje parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja (Fortuijn, 2009b), (Mauro & Branco, 2010).

Takva razmatranja su manje jasna kada su u pitanju razlike u populaciji vozača. Modeli prihvatljivih intervala sleđenja su verovatno osetljiviji na razlike vozača i karakteristike saobraćaja koje se ogledaju u izmenjenim kritičnim intervalima sleđenja, vremenima sleđenja i distribuciji intervala sleđenja. Međutim, deo uočenih razlika u tim vrednostima mogao bi biti posledica razlika u izgledu samih raskrsnica, a ne samo ponašanju vozača, i ne može se praviti razlika između njih osim ako se merenja ne dobiju na osnovu raskrsnica sa identičnim izgledom. Dakle, nije uvek jasno koja bi metoda u takvim okolnostima imala mogućnost prenošenja na druge tipove raskrsnica.

Razlike u rezultatima i uloga kalibracije

Glavna komponenta grešaka u modelu za određivanje kapaciteta proizilazi iz varijabilnosti ponašanja vozača i okolnosti u saobraćaju u procesu prihvatanja vremenskih intervala između vozila, što se odražava lošijim predviđanjima kapaciteta za raskrsnice sa prihvatanjem vremenskog intervala između vozila u odnosu na semaforisane kružne raskrsnice (Kimber R. M., 1989). Procene kapaciteta *LR942* za tipično mesto imale su standardnu grešku od oko 15% ili 200 (PA/h) pri srednjim vrednostima kapaciteta na izlazu od 1300 (PA/h) (Kimber R. M., 1980). Granice pouzdanosti od 95% za *SIDRA* bile su oko 105 (voz/h) za isti kapacitet na izlazima, iako treba napomenuti da je to isključilo bilo kakve greške u predviđanju kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja (Akçelik, Chung, & Besley, 1998) koji verovatno neće biti mali zbog prethodno navedenih razloga. Nije jasno koje su ekvivalentne greške za ostale modele, ali veličina takvih grešaka sugerše da bi uključivanje dodatnih varijabli moglo potencijalno poboljšati njihovu sposobnost objašnjavanja svih procesa na ulazima u kružni tok.

U nekoliko studija upoređeni su predviđeni kapaciteti istih kružnih raskrsnica iz različitih modela, koristeći njihov kalibrirani oblik:

- Özuysal i njegovi saradnici (Özuysal, Çalışkanelli, Tanyel, & Baran, 2009) su utvrdili da je model *LR942* slabije predvidio kapacitet turskih jednostranih kružnih raskrsnica, kao i da je predložio lošija predviđanja u poređenju sa nemačkim modelom kojeg je dao *Stuwe* (Stuwe, 1991).

Suprotno tome, jednačine *SR45* nedovoljno su predviđale kritični interval sleđenja i vremena sleđenja.

- U radu (Rodegerdts, i drugi, 2007) utvrđeno je da su svi glavni modeli precenili kapacitet ulaza 25 američkih kružnih raskrsnica, pri čemu je nemački model slabije predvidio samo jedan.
- Polus i Shmueli (Polus & Shmueli, 1997) otkrili su da je regresioni model *LR942* predvidio veće kapacitete za izraelske kružne raskrsnice u odnosu na nemačke, australijske i švajcarske modele. Nemački model je bio naročito blizu posmatranih kapaciteta.
- Troutbeck (Troutbeck R. J., 1998) je utvrdio da je nemački linearni empirijski model stvorio znatno niže predviđene kapacitete u odnosu na engleske modele, modele Troutbeck i *SIDRA*, zasnovane na hipotetičkoj kružnoj raskrsnici.
- Stanek (Stanek, 2012) je uporedio modele *HCM 2010*, *SIDRA*, *Vissim* i *Paramics* na hipotetičkoj kružnoj raskrsnici i utvrdio razlike u kapacitetima ulaza u rasponu od oko 620 do 260 (voz/h) kod tokova u kruženju od 0 odnosno 1000 (voz/h).

S obzirom na relativnu sličnost u dizajnama kružnih raskrsnica širom sveta, ranije navedene razlike su verovatno rezultat različitih izvora empirijskih podataka korištenih u razvoju i kalibraciji modela, posebno onih koji se odnose na ponašanja u vožnji. Na primer, američki model *HCM 2010* ima veći zadati kritični interval sleđenja i vreme sleđenja u poređenju sa drugim zemljama, što možda odražava činjenicu da su američki vozači najmanje iskusni u korištenju kružnih raskrsnica (Rodegerdts, i drugi, 2007).

Razlike u kapacitetima između različitih zemalja pripisuju se različitim dužinama iskustva sa kružnim raskrsnicama (Mauro, 2010), (Rodegerdts, i drugi, 2007), (Troutbeck R. J., 1998), iako bi se te razlike mogle smanjiti jer se vozači postupno navikavaju na kružne raskrsnice (Johnson, 2013), (Wei, Grenard, & Shah, 2011).

Većina modela tako ima uređaj za kalibraciju, poput korekcije faktora životne sredine – *SIDRA* (Akçelik R. , 2011c), kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja u *HCM 2010* (Highway Capacity Manual, 2010) i *HCM 6* (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016) i parametara modela ponašanja vozila u mikroskopskim simulatorima. Međutim, postoji nekoliko problema povezanih s kalibracijom svake od tri metodologije modeliranja. 2008. godine u radu (Gagnon, Sadek, Touchette, & Smith, 2008) vrši se poređenje nekoliko makroskopskih i mikroskopskih modela i otkriva se da kalibrirani parametri, koji se koriste u svakom modelu, verovatno zavise od samog mesta. To bi predstavljalo problem jer određivanje tih parametara zahteva podatke sa kružnih raskrsnica koje su lokalne i/ili imaju slične karakteristike, i možda neće biti dostupni kod svih predloženih vidova dizajna.

Razlike između rezultata modela i uočenih uslova mogu se umanjiti kalibracijom, a u nekoliko studija su primenjene preporučene metode kalibracije za poređenje modela u odnosu na hipotetičke ili stvarne podatke:

- *Akçelik* ([Akçelik R. , 2011b](#)) je uporedio modele *LR942*, *HCM 2010* i *SIDRA* zasnovane na hipotetičkoj jednotračnoj kružnoj raskrsnici u američkim uslovima. Razlika u predviđenim kapacitetima od kalibriranih modela bila je oko 100-220 (voz/h), osim pri malim konfliktnim tokovima. Takve razlike se povećavaju pri većim konfliktnim tokovima, s potencijalno velikim uticajima na predviđene redove čekanja i zastoje.
- *Lenters i Rudy* ([Lenters & Rudy, 2010](#)) su istražili nekoliko metoda kalibracije linearnog modela *LR942* kako bi se uklopili u regresioni model *HCM 2010*. S obzirom na nedostatke ovih metoda, zaključili su da je najbolji pristup bila opšta ponovna kalibracija modela *LR942* za američke uslove koji može biti moguć samo uz više podataka iz posebno opterećenih američkih kružnih raskrsnica.
- U radu ([Rodegerdts, i drugi, 2007](#)) izvršeno je kalibriranje glavnih modela sa parametrima intervala sleđenja specifičnim za dati prilaz koji su upoređivani sa izmerenim kapacitetom tokova iz 22 prilaza. Upotreba kalibriranih vrednosti specifičnih za data mesta pružila je bolje prilagođavanje nego što bi bilo moguće s prosečnim vrednostima s terena. Međutim, iako su ukupne greške modela značajno smanjene u poređenju s njihovim nekalibriranim oblicima, ustanovljeno je da su novi eksponencijalni regresioni modeli pokazali bolje performanse u poređenju s kalibriranim modelima. Dakle, regresioni modeli su izabrani kao osnova modela *HCM 2010* i *HCM 6*.

Ova zapažanja pokazuju da kalibracija s lokalnim ili uporednim podacima može imati samo ograničen uticaj na poboljšanje predvidljive sposobnosti modela u novim kontekstima. Ključno ograničenje metoda kalibracije je nepotpuno razumevanje načina na koji se parametri modela menjaju sa kapacitetima i ulaznim podacima u svim modelima. Iako parametri kalibracije (kao što su intervali sleđenja kod *HCM 2010* i *HCM 6*, faktor životne sredine kod *SIDRA* ili parametri pravila prioriteta modela mikrosimulacija) omogućavaju da se predviđeni kapaciteti modela usklade s posmatranim tokovima kapaciteta, nije uvek jasno na koji način se dobijene promene u rezultatima odnose na promene u koeficijentima modela ili ulaznim podacima. Na primer, nije jasno na koji način treba menjati ove parametre kalibracije kako bi reflektovali glavna prilagođavanja sa geometrijom kružne raskrsnice. Razumevanje mehanizma kalibracije i njegove povezanosti s ulaznim i izlaznim podacima modela je od suštinske važnosti da bi model mogao biti istinski prenosiv u druge kontekste ili dizajne.

3.4. Izbor modela za proračun kapaciteta

U poglavlju 3.3 dat je pregled tri metodologije koje čine osnovu za glavne modele pri određivanju kapaciteta kružnih raskrsnica. Empirijski modeli mapiraju odnose između kapaciteta i značajnih ulaznih varijabli, ali podležu ograničenjima statistike i uzorkovanja. Modeli prihvatljivih intervala sleđenja se zasnivaju na modelima ponašanja vozača i karakteristika saobraćaja, ali su ograničeni relativno slabim odnosima sa geometrijom kružnih raskrsnica. Stohastički modeli mikroskopske simulacije pružaju najveću fleksibilnost, ali veoma zavise od tačnog prikaza interakcija među vozilima, koje je teško ponoviti, čak i uz stvarna posmatranja.

Različita ograničenja i svojstvene aproksimacije u ovim metodologijama sprečavaju ih da u potpunosti objasne veoma složene procese pri ulasku u kružne raskrsnice. To samo po sebi nije problem, jer je glavni cilj modela za određivanje kapaciteta da obezbedi razumno tačne procene kapaciteta, a ne tačan i strog opis postupaka koji su uključeni, s obzirom na svojstvenu varijabilnost karakteristika vozača i vozila. Međutim, ovi problemi znače da se svi glavni modeli oslanjaju na delimično ili potpuno empirijske baze, koristeći podatke iz svojih zemalja za određivanje opsega odnosa između različitih parametara ili za kalibraciju prilagođenih koeficijenata. Osim što uzrokuje razlike u predviđenim kapacitetima između modela, empirijske baze takođe znače da se nijedan model ne bi trebao koristiti izvan raspona izvorne baze podataka, bez uzimanja u obzir potrebe za ažuriranom kalibracijom, što se primenjuje u pogledu novih projektnih rešenja, lokacija ili vremenskih perioda.

Kalibracija s domaćim podacima ima ograničenu sposobnost poboljšanja prenosivosti modela, zbog nepotpunog razumevanja odnosa između parametara modela i kapaciteta. Dakle, istorijski trendovi sugerišu da će jedino preuređenje modela uključivanjem empirijskih podataka obezbediti veću tačnost. Razvoj modela za određivanje kapaciteta kružne raskrsnice je pratio sličan obrazac u mnogim zemljama, obično započinjući usvajanjem osnovnog modela razvijenog u drugih zemljama koje su imale veće iskustvo s kružnim raskrsnicama. U najčešćem slučaju kretalo se od *Harders* ili *Siegloch*-ovog modela, koji je usvojen u *HCM 2010* i *HCM 6*. Zatim se vrši kalibriranje sa bilo kojim dostupnim domaćim empirijskim podacima, kao što su kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja za modele zasnovane na prihvatljivim intervalima sleđenja. Nakon toga sledi dalji razvoj i kalibracija sa empirijskim podacima lokalnih kružnih raskrsnica, jer su podaci o kapacitetu široko dostupniji usled većeg broja zagušenih kružnih raskrsnica u zemlji.

Shodno svemu do sad navedenom, definisanje modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica potrebno je vršiti na osnovu opšte prihvaćenog modela. Pošto u gotovo svim zemljama sveta

Highway Capacity Manual (HCM) predstavlja osnovu za proračun kapaciteta nesignalisanih raskrsnica, a time i kružnih raskrsnica, u disertaciji će se koristiti model predložen u *HCM*-u, s tim da će se vrednosti parametara saobraćajnog toka (kritični interval sleđenja - t_c i vreme sleđenja - t_f) dobijati merenjima u realnim saobraćajnim uslovima za dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni vozači). Na taj način model dat u *HCM*-u služiće za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku. Tako dobijeni kapaciteti, primenom metode interpolacije, biće temeljna osnova za dobijanje vrednosti faktora uticaja nerezidentnih vozača (f_{nre}) na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica.

Celokupna procedura na kojoj je zasnovan proračun kapaciteta kružnih raskrsnica prema *HCM*-u data je u okviru Poglavlja 2.5. Postupci na kojima se zasniva *HCM* su produkt velikog broja istraživanja i daju izuzetno jake temelje za korišćenje predložene procedure za definisanje modela kojim će se utvrditi uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica.

U odnosu na *HCM 2000*, u postupcima datim u *HCM 2010* i *HCM 6* primetan je veliki napredak u proračunu kapaciteta, naročito u zavisnosti od geometrije kružnih raskrsnica i definiranih parametara t_c i t_f . Treba istaći i da se postupak *HCM 6* i *HCM 2010* razlikuju u pogledu preporučenih vrednosti parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, dok su razlike u postavljenim modelima minimalne.

Predloženi model u disertaciji daje moguća unapređenja u odnosu na postojeće modele. Naime, daje se mogućnost proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača, što do sada nije zabeleženo u literaturi. Predloženi model je zasnovan na iscrpnim terenskim istraživanjima, uz primenu *Siegloch*-ovog modela. Shodno napred navedenom, može se smatrati da model predložen u disertaciji ima izuzetno jaku teorijsku pozadinu.

3.5. Kružne raskrsnice u priručniku *Highway Capacity Manual*

3.5.1. Highway Capacity Manual 2000 (*HCM 2000*)

Modeli za analizu kružnih raskrsnica se svrstaju u empirijske i analitičke modele, a izbor u primeni između ove dve grupe zavisi od kalibracije raspoloživih podataka. Empirijski modeli se zasnivaju na podacima kojima se opisuju veze između geometrije raskrsnice i pokazatelja performansi raskrsnica: kapaciteta i izgubljenog vremena. Empirijski modeli su generalno bolji za korišćenje, ali zahtevaju određeni broj „zagušenih“ kružnih raskrsnica iz prakse na osnovu kojih će se vršiti kalibracija. Sa druge strane, analitički modeli se zasnivaju na konceptu teorije prihvatljivog intervala sleđenja i oni se mogu razvijati i na prosečno opterećenim raskrsnicama. Metodologija proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

prema *Highway Capacity Manual (HCM)* posebno je pogodna za primenu u situacijama kada ne postoji dovoljno podataka sa terena, pošto omogućava modifikaciju operativnih parametara kojim se opisuju performanse na raskrscima (Bogdanović, 2005).

Korišćenjem metode prihvatljivog intervala sleđenja može se proračunati kapacitet kružnih raskrsnica, na osnovu parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja. Najveći broj tehnika analize koristi podatke o samo jednom kraku kružne raskrsnice, shodno pretpostavci da se svaki krak kružne raskrsnice može analizirati nezavisno od ostalih.

U proračunu kapaciteta kružnih raskrsnica, tokovi koji se uzimaju u razmatranje jesu konfliktni tok (v_c) i ulazni tok (v_e). Na kapacitet kružnih raskrsnica utiču i „izvorno-ciljna“ putovanja kroz raskrnicu. U situacijama kada se vozači duže kreću tranzitnom zonom, koriste manje radijuse pri svom kretanju kroz kružnu raskrnicu. Ukoliko ne skreću na susednom kraku kružne raskrsnice, vozači dakle koriste manje radijuse zbog čega su ti tokovi sporiji. Iz tog razloga, u koloni koja se kreće u kružnom toku, mogu se stvoriti duži vremenski intervali sleđenja vozila, što utiče na smanjenje kapaciteta. Kao posledica toga, smanjuje se mogućnost ulaska u raskrnicu od strane ostalih vozila, tako da pada kapacitet čitave raskrsnice. U slučaju da vozači na ulaznom toku prihvataju kraće intervale sleđenja, može doći do smanjenja brzine vozila u kružnom toku, što doprinosi smanjenju i vremena sleđenja vozila na ulaznim saobraćajnim tokovima (Bogdanović, 2005).

Ukoliko se za saobraćajne tokove u kružnoj raskrsnici pretpostavi da su slučajni, odnosno ukoliko se pretpostavi da kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja imaju slučajnu raspodelu, moguće je izvršiti proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

Prema *HCM*-u smatra se da vozači koji izvode manevar uključivanja u kružni saobraćajni tok prihvataju iste ili slične kritične intervale sleđenja kao što to čine i vozači koji se sa sporednog toka uključuju u glavni tok klasičnih nesignalisanih raskrsnica gde je saobraćaj regulisan postavljanjem saobraćajnih znakova II-1 ili II-2. Parametri kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja u *HCM 2000* su se mogli primeniti samo na jednostranim kružnim raskrscima, ali treba istaći da je ovaj nedostatak u kasnijim izdanjima *HCM*-a otklonjen (*Highway Capacity Manual*, 2010), (*Highway Capacity Manual Edition 6*, 2016).

Prema *HCM 2000*, kapacitet kružnih raskrsnica se određuje na osnovu sledeće relacije (*Highway Capacity Manual*, 2000), Equation 17-70.

$$c_a = \frac{V_c e^{-V_c t_c / 3600}}{1 - e^{-V_c t_f / 3600}} \quad (3.22)$$

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

gde su:

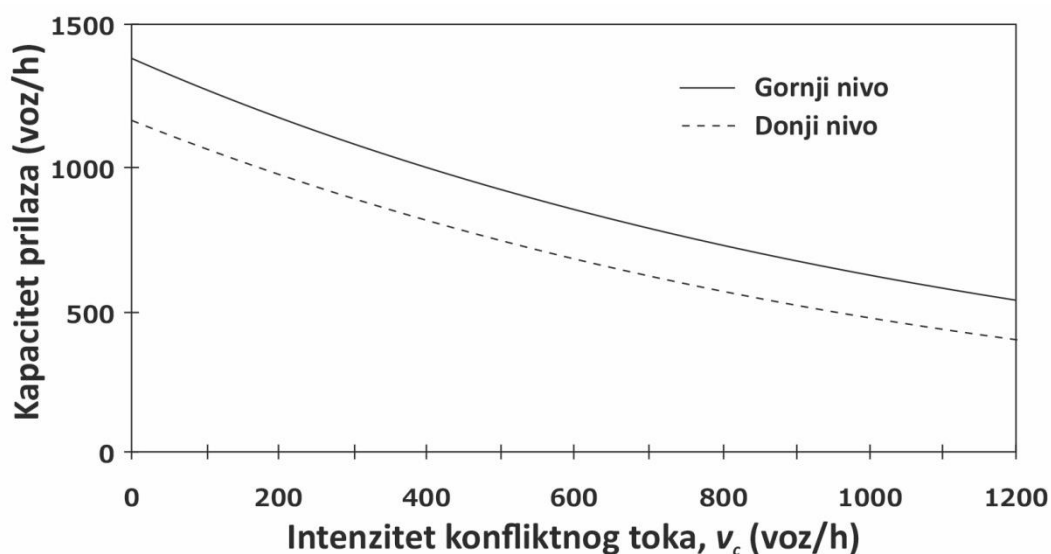
- C_a – kapacitet prilaza (voz/h),
- V_c – intenzitet konfliktnog toka (voz/h),
- t_c – kritični interval sleđenja (s) i
- t_f – vreme sleđenja (s).

Preporučene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja date su u *Tabeli 3.2* dok je na *Slici 3.7* prikazan odnos između kapaciteta na prilazu i intenziteta konfliktnog toka za gornju i donju granicu preporučenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja ([Highway Capacity Manual, 2000](#)).

Tabela 3.2. Vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja za kružne raskrsnice, prema HCM 2000

	Kritični interval sleđenja, t_c (s)	Vreme sleđenja, t_f (s)
Gornja granica	4,1	2,6
Donja granica	4,6	3,1

*Izvor: HCM 2000, Exhibit 17-37.

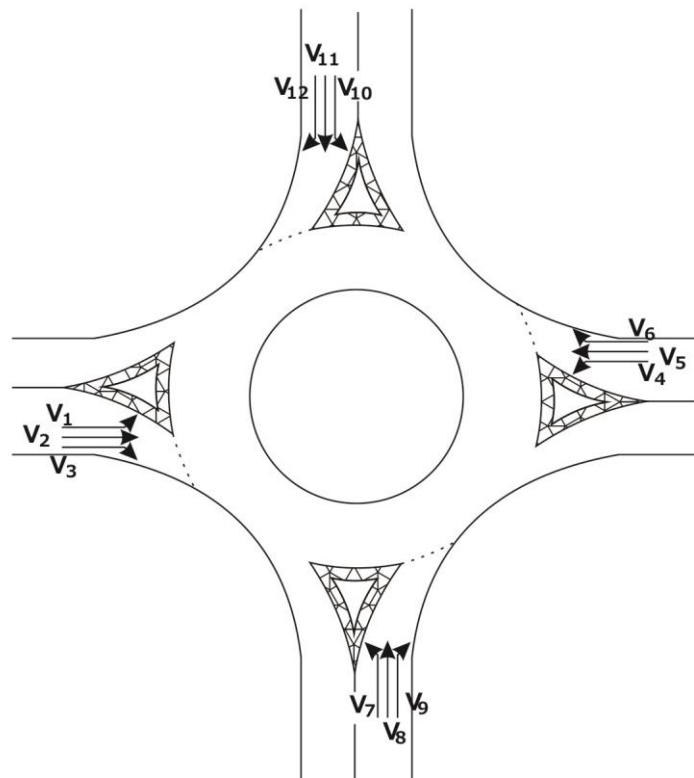


Slika 3.7. Kapacitet prilaza kružne raskrsnice za gornju i donju granicu kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, prema HCM 2000

*Izvor: HCM 2000, Exhibit 17-38.

Prema ([Bogdanović, 2005](#)), konfliktni tokovi vozila koja prolaze ispred vozila koja ulaze u raskrsnicu mere se u petnaestominutnim vremenskim intervalima. Uticaj vozila koja izlaze iz kružnog toka na mestu gde druga vozila ulaze u kružni tok, se prema nekim metodologijama smatraju sekundarnim. U slučaju dobro projektovanih raskrsnica, može se zanemariti uticaj toka vozila koja izlaze u kružnog toka. Metodologija koju daje *HCM 2000*, nije preporučljiva ukoliko je intenzitet konfliktnog kružnog toka veći od 1200 (voz/h). Prema preporukama, u praksi se vrši konverzija tokova koji ulaze u raskrsnicu u konfliktne tokove u

kružnom toku. Oznakama V_1 - V_{12} prikazani su saobraćajni tokovi koji ulaze u kružnu raskrsnicu (Slika 3.8).



Slika 3.8. Definisanje manevara na ulazima kružne raskrsnice prema HCM 2000

*Izvor: HCM 2000, Exhibit 17-39.

Za ulazne tokove 1, 2 i 3 konfliktorni tok u kružnom toku biće sastavljen od tokova označenih kao 4, 10 i 11, tako da će konfliktorni tok na posmatranom prilazu na kom čekaju tokovi 1, 2 i 3 biti:

$$V_c = V_4 + V_{10} + V_{11} \quad (3.23)$$

Vidljivo je da prema metodologiji koju predstavlja HCM 2000 nije predviđeno polukružno okretanje, iako je opšte poznato da na kružnim raskrsnicama postoji mogućnost polukružnog okretanja u situacijama kada se vozilo nakon prolaska kroz raskrsnicu vraća na isti prilaz. U novijim izdanjima HCM-a unapređen je postupak po ovom pitanju, tako da je predviđeno i polukružno okretanje ([Highway Capacity Manual, 2010](#)), ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)).

Sa proširenjem širine saobraćajnih traka na prilazu i u kružnom toku povećava se kapacitet kružnih raskrsnica. U slučaju proširenja prilaza dodatnom trakom taj efekat je mnogo veći, ali treba napomenuti da udvostručavanje broja saobraćajnih traka ne podrazumeva i udvostručavanje kapaciteta.

HCM 2000 daje četiri koraka za analizu kružnih raskrsnica, a to su:

1. Definisane saobraćajnih uslova i geometrije posmatrane kružne raskrsnice;
2. Određivanje konfliktnog toka u kružnom toku za svaki prilaz. Potrebno je posebno utvrditi obim saobraćaja na svakom prilazu i obim konfliktnog saobraćaja ispred svakog prilaza. Ukoliko je protok u kružnom toku koji je konfliktan posmatranom prilazu veći od 1200 voz/h, onda ova metodologija ne treba da se koristi, izuzev u slučaju da su podaci o kritičnom intervalu sleđenja i vremenu sleđenja prikupljeni na posmatranoj raskrsnici;
3. Određivanje kapaciteta prilaza na osnovu prikazane formule (3.22) i
4. Određivanje opštih performansi kružne raskrsnice na osnovu odnosa tok/kapacitet (v/c).

3.5.2. Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) i Highway Capacity Manual 6 (HCM 6)

Veliki napredak u proračunu kapaciteta kružnih raskrsnica HCM je dao 2010 godine, kada je u odnosu na HCM 2000 u proračunu kapaciteta razmatran i geometrijski oblik kružnih raskrsnica u smislu broja ulaznih saobraćajnih traka i broja saobraćajnih traka u kruženju. Postupak za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica u HCM 6 se razlikuje od HCM 2010 u pogledu preporučenih vrednosti parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, dok su razlike u postavljenim modelima minimalne. Shodno tome u ovom delu razmatraće se najnovije izdanje priručnika HCM-a, priručnik HCM 6.

Modeli za analizu kružnih raskrsnica obično spadaju u dve kategorije:

- *Regresioni modeli* koriste podatke sa terena za razvijanje statistički izvedenih odnosa između geometrijskih karakteristika i mera performansi kao što su kapacitet i vremenski gubici.
- *Analitički modeli* se baziraju na teoriji saobraćajnog toka kombinovanom sa terenskim merenjem ponašanja vozača, rezultirajući analitičkom formulacijom odnosa između terenskih merenja i merenja performansi kao što su kapacitet i vremenski gubici.

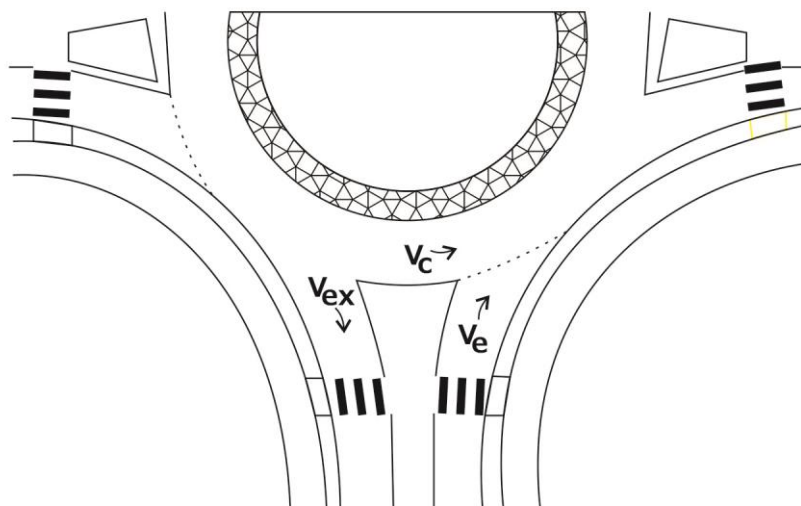
Obe vrste modela su primenljive na kružne raskrsnice. Analitički modeli zasnovani na teoriji verovatnoće pojave vremenskih intervala (praznina) u prioritetnom toku, koji su dovoljni za izvršenje sporednog manevra, odnosno uključenja sa ulaznog (sporednog) toka u prioritetni saobraćajni tok se obično primenjuju za analiziranje svih tipova nesignalisanih raskrsnica, pošto direktno beleže karakteristike ponašanja vozača. Ovi modeli mogu biti korišteni za određene lokacije prilagođavanjem vrednosti korištenih parametara saobraćajnog toka. Međutim, jednostavni modeli sa prihvatanjem vremenskog intervala između vozila ne mogu zabeležiti sva posmatrana ponašanja. Regresioni modeli se često koriste u slučajevima u kojima je razumevanje karakteristika ponašanja vozača nepotpuno. Procedura data u HCM-u uključuje kombinaciju jednostavnog regresionog modela i modela prihvatanja vremenskih intervala, za jednostrane i

dvotračne kružne raskrsnice. Kao rezultat toga, modeli za određivanje kapaciteta se fokusiraju na jedan ulaz kružne raskrsnice. Kružna raskrsnica se razmatra u celosti samo pri određivanju konfliktnog toka za ulaz koji se razmatra.

Koncepti kapaciteta

Kapacitet prilaza kružne raskrsnice je direktno pod uticajem strukture saobraćajnog toka. Tri toka mogu imati značajan uticaj na kapacitet, a to su: ulazni tok (v_e), konfliktni tok (v_c), i izlazni tok (v_{ex}) (Slika 3.9).

Kapacitet prilaza se smanjuje kako se konfliktni tok povećava. Uopšteno govoreći, primarni konfliktni tok jeste tok koji prolazi direktno ispred posmatranog ulaznog toka. Konfliktni tok direktno dolazi u konflikt sa ulaznim tokom, ali takođe i izlazni tok može uticati na donošenje odluke vozača da izvede sporedni manevar uključenja u kružni saobraćajni tok. Ovaj fenomen je sličan fenomenu na TWSC raskrsnicama, kada vozači sa sporednog toka vrše sporedan manevar skretanja udesno, a vozači na glavnom toku vrše takođe manevar skretanja udesno. Dok vozači sa glavnog toka ne izvrše manevar skretanja udesno, može doći do određenih nesigurnosti u odlukama vozača na sporednom toku, koji izvode sporedni manevar skretanja udesno. I pored toga što ovi faktori mogu uticati na donošenje odluka vozača koji vrše sporedne manevre, intenzitet izlaznog toka (v_{ex}) nije uzet pri definisanju modela za određivanje kapaciteta kružnih raskrsnica.



Slika 3.9. Prikaz jednog kraka kružne raskrsnice

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-1.

U slučaju kada se konfliktni tok približi nuli, maksimalan ulazni tok predstavlja količnik broja 3600 i vremena sleđenja, što je analogno zasićenju protoka na semaforisanim raskrsnicama pri pojavi zelenog svetlosnog signala. Pri visokim nivoima ulaznog i konfliktnog toka, može se pojaviti:

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

- *ograničeni prioritet* u kojem saobraćaj u konfliktnom toku prilagođava vremena sleđenja kako bi omogućio vozilima sa sporednog toka ulazak u kružni saobraćajni tok,
- *poništeni prioritet* u kojem vozila iz ulaznog toka prisiljavaju vozila iz konfliktnog toka na prisilno ustupanje prvenstva prolaza i
- *druge slične pojave*.

U ovakvim slučajevima, potrebni su kompleksniji analitički i regresioni modeli za dobijanje realnih rezultata proračunatog kapaciteta.

I pored ranije definisanog polazno-odredišnog uticaja na kapacitet ulaznog toka, ovaj parametar nije identifikovan u iscrpnim studijama na ovu temu ([Rodegerdts, i drugi, 2007](#)), te nije uključen u modele proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica. Kako se navodi u *HCM 6*, za potrebe izrade priručnika u istraživanjima su zabeleženi različiti kapaciteti širom Sjedinjenih Američkih Država. To ukazuje da ponašanje vozača u različitim regijama, usled uticaja lokalne kulture vožnje, gustine kružnih raskrsnica i dr., u mnogome utiče na kapacitet kružnih raskrsnica.

Drugi izvori primetnih varijacija u kapacitetu jesu geometrijske karakteristike raskrsnica. Sprovedenim istraživanjima nije bilo moguće izolovati specifične geometrijske faktore u odnosu na varijacije u ponašanju vozača, i pored toga što su neka ranija međunarodna istraživanja identifikovala određene geometrijske doprinose ([Kimber, 1980](#)), ([Guichet, 1997](#)).

Prikupljanje podataka 2010. godine kao dio nacionalnog američkog istraživanja rezultiralo je mnogo većim i zasićenijim setom informacija koje su pokazale veće kapacitete nego što je to bilo u ranijim izveštajima u Sjedinjenim Američkim Državama. Za kapacitete koji su prezentovani u *HCM-u* se veruje da su veći pre svega zbog većeg i zasićenijeg seta podataka, a ne primarno zbog porasta u kapacitetu tokom vremena. Iako se obično pretpostavlja da će se vrednosti kapaciteta kružnih raskrsnica u Sjedinjenim Američkim Državama povećavati kako vozači budu postajali iskusniji prilikom vožnje kroz kružne raskrsnice, nije moguće dobiti direktan dokaz ove osobine na osnovu dostupnih podataka. Podaci ispitivani na dve kružne raskrsnice posmatrane pod zasićenim uslovima 2003. god. i 2012. god. nisu otkrili nikakvu značajniju promenu u posmatranim kapacitetima. Međutim, Karmel u Indijani, grad sa velikim brojem kružnih raskrsnica, imao je znatno više vrednosti kapaciteta kružnih raskrsnica od prosečnih uslova u Sjedinjenim Američkim Državama ([Rodegerdts, Malinge, Marnell, Beard, Kittelson, & Mareszczak, 2015](#)).

Jednotračne kružne raskrsnice

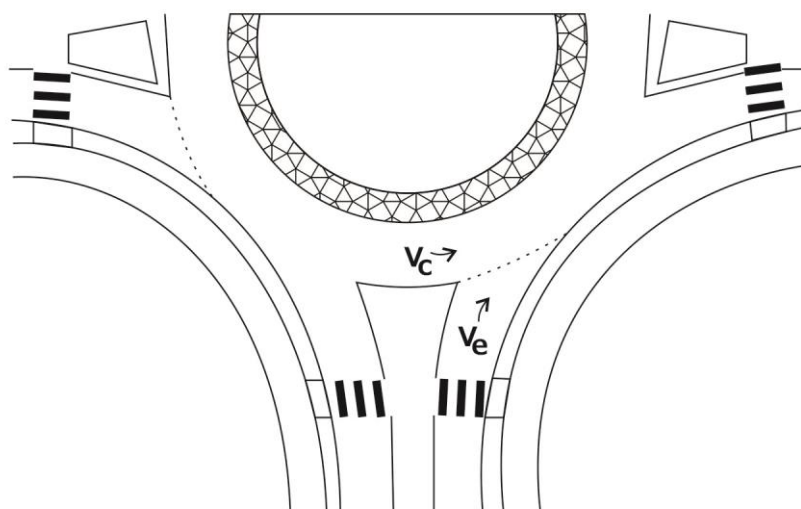
Kapacitet na ulaznoj saobraćajnoj traci jednotračne kružne raskrsnice koja je u konfliktu sa jednom saobraćajnom trakom u konfliktnom toku se izračunava na osnovu sledeće jednačine, za preporučene vrednosti parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja.

$$C_{e,pce} = 1380e^{(-1,02 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.24)$$

gde je:

$C_{e,pce}$ – kapacitet ulazne trake, prilagođeno teretnim vozilima (PA/h) i

$v_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka (PA/h).



Slika 3.10. Prikaz jednotračne kružne raskrsnice, po jedna traka na ulazu i u kružnom toku
*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-2.

Model za određivanje kapaciteta dat u jednačini (3.24) pokazuje zapažanja na kružnim raskrnicama u Sjedinjenim Američkim Državama 2012. godine (Rodegerdts, Malinge, Marnell, Beard, Kittelson, & Mareszczak, 2015). Uočena je značajna varijacija u kapacitetu u različitim regionima SAD-a, kao i na različitim mestima unutar regiona. Shodno tome, HCM 6 preporučuje vršenje kalibracije (korigovanje) modela za određivanje kapaciteta, kako bi se u najboljoj meri iskazao uticaj lokalnog ponašanja vozača.

Višetračne kružne raskrsnice

Višetračne kružne raskrsnice imaju više od jedne saobraćajne trake na najmanje jednom prilazu i/ili najmanje deo kružnog kolovoza sa više od jedne saobraćajne trake. Broj ulaznih, kružnih i izlaznih saobraćajnih traka može varirati unutar kružne raskrsnice. Zbog mnogih mogućih varijacija, proračun kapaciteta na

višetračnim kružnim raskrsnicama je složeniji u odnosu na jednotračne kružne raskrsnice.

Takođe, definicija intervala sleđenja (engl. *headways*) i intervala između vozila (engl. *gap*) je takođe mnogo složenija na višetračnim kružnim raskrsnicama. Ukoliko kružni kolovoz potpuno funkcioniše kao objekat sa više traka, onda vozači na ulazu na integrisan način opažaju intervale između vozila i u unutrašnjoj i u spoljašnjoj traci. Neki vozači koji odaberu da u kružnu raskrsnicu uđu iz desne ulazne trake će propustiti sav saobraćaj u kružnom kolovozu, usled nesigurnosti po pitanju putanje kretanja vozila u kružnom saobraćajnom toku. Ova nesigurnost je zbog geometrijskih karakteristika izraženija na kružnim raskrsnicama u odnosu na druge tipove nesignalisanih raskrsnica. Međutim, neki vozači se iz desne ulazne trake uključuju u unutrašnju kružnu traku posle vozila koja prolaze kružnim kolovozom, ukoliko smatraju da neće doći do konflikta sa tim vozilom. Pored toga, ponašanje vozila u kružnom saobraćajnom toku može biti pod uticajem prisustva ili odsustva horizontalne signalizacije unutar kružnog kolovoza. Rezultat toga jesu različiti prihvaljivi intervali sleđenja, u zavisnosti od konkretne saobraćajne situacije, što implicira da je ovaj proces kompleksan i da je izuzetno teško odrediti model za proračun kapaciteta. Sve to navodi na upotrebu jedinog prihvatljivog rešenja za korišćenje modela baziranog na regresiji.

Model za proračun kapaciteta višetračnih kružnih raskrsnica dat u *HCM 6*, bavi se isključivo kružnim raskrsnicama sa najviše dve trake na ulazu i najviše dve trake u toku u kruženju. Model je dat na osnovu iscrpnih istraživanja provedenih u SAD-u 2012. godine ([Rodegerdts, Malinge, Marnell, Beaird, Kittelson, & Mareszczak, 2015](#)). Kao i kod jednotračnih kružnih raskrsnica, preporučuju se lokalna merenja kako bi se model prilagodio ponašanju vozača na određenom geografskom području.

Određivanje kapaciteta višetračnih kružnih raskrsnica sa dve ulazne trake i jednom trakom u kružnom toku

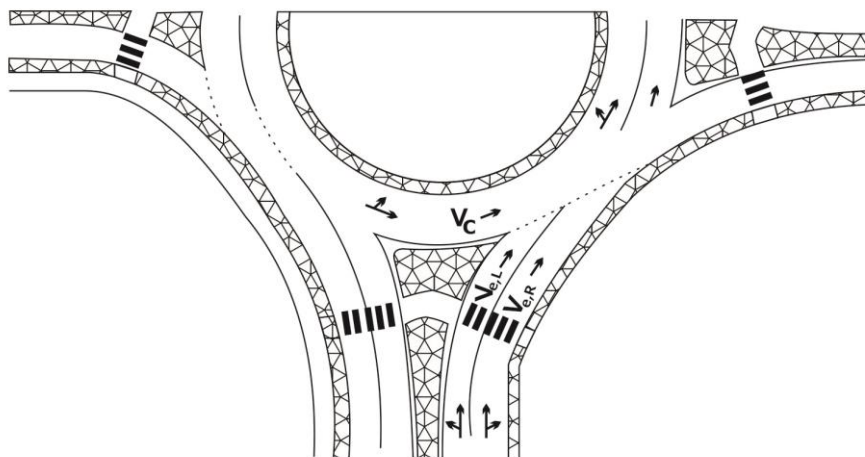
Jednačina (3.25) daje kapacitet svake ulazne trake koja je u konfliktu sa jednom kružnom trakom, na osnovu preporučenih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja (*Slika 3.11*).

$$c_{e,pce} = 1420e^{(-0,91 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.25)$$

gde je:

$c_{e,pce}$ – kapacitet ulazne trake, prilagođeno teretnim vozilima (PA/h) i

$v_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka (PA/h).



Slika 3.11. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa dve ulazne trake i jednom trakom u kružnom toku

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-3.

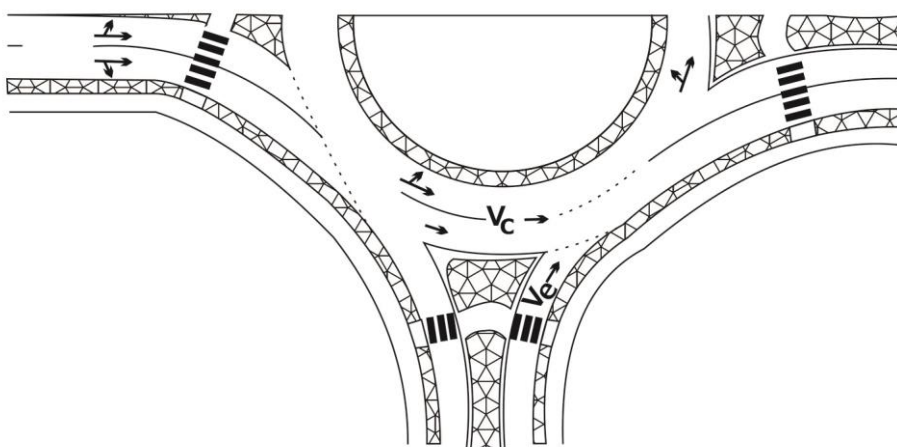
Određivanje kapaciteta višetračnih kružnih raskrsnica sa jednom ulaznom trakom i dve trake u kružnom toku

Jednačina (3.26) daje kapacitet ulazne trake, na višetračnim kružnim raskrsnicama sa jednom ulaznom trakom i dve trake u kružnom toku, na osnovu preporučenih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja (Slika 3.12).

$$C_{e,pce} = 1420e^{(-0,85 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.26)$$

gde je:

- $C_{e,pce}$ – kapacitet ulazne trake, prilagođeno teretnim vozilima (PA/h) i
- $V_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka koji obuhvata i unutrašnju i spoljašnju kružnu traku (PA/h).



Slika 3.12. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa jednom ulaznom trakom i dve trake u kružnom toku

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-4.

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Određivanje kapaciteta višetračnih kružnih raskrsnica sa dve ulazne trake i dve trake u kružnom toku

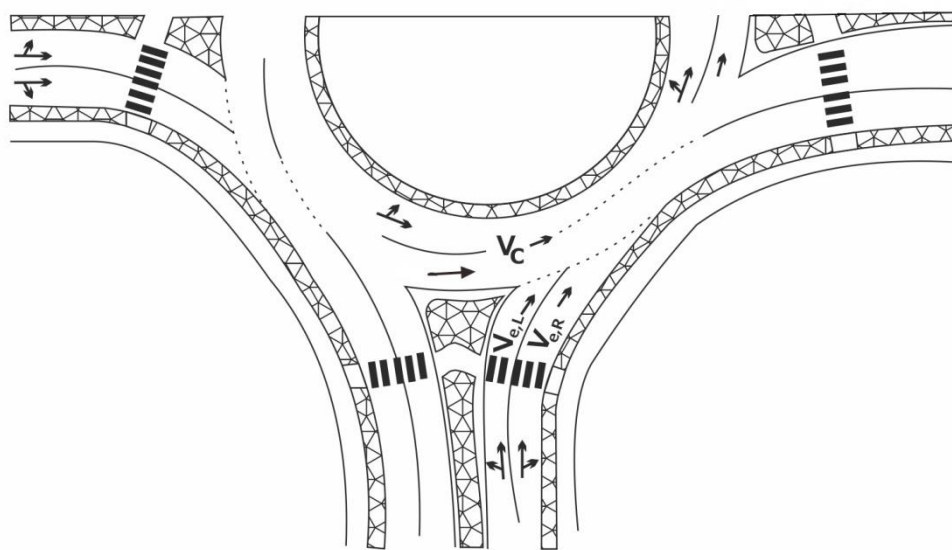
Jednačine (3.27) i (3.28) daju kapacitet za svaku ulaznu traku posebno, desnu i levu ulaznu traku, na višetračnim kružnim raskrsnicama sa dve ulazne i dve trake u kružnom toku, na osnovu preporučenih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja (Slika 3.13).

$$C_{e,R,pce} = 1420e^{(-0,85 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.27)$$

$$C_{e,L,pce} = 1350e^{(-0,92 \times 10^{-3})v_{c,pce}} \quad (3.28)$$

gde je:

- $C_{e,R,pce}$ – kapacitet desne ulazne trake, prilagođeno teretnim vozilima (PA/h),
- $C_{e,L,pce}$ – kapacitet leve ulazne trake, prilagođeno teretnim vozilima (PA/h) i
- $V_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka koji obuhvata i unutrašnju i spoljašnju kružnu traku (PA/h)



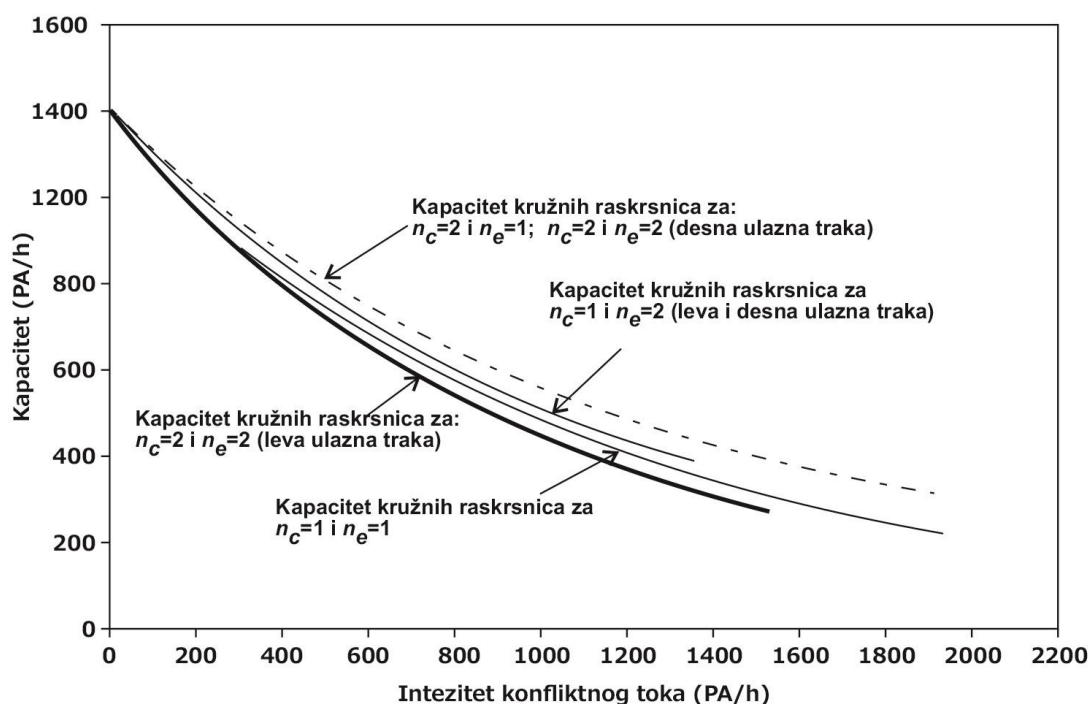
Slika 3.13. Prikaz dvotračne kružne raskrsnice sa dve ulazne trake i dve trake u kruženju
*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-5.

Kapaciteti dobijeni za ulazne trake su prikazani za homogen saobraćajni tok sastavljen od putničkih automobila, prikazano u jedinicama PA/h (putnički automobili po času), i isti se mogu modifikovati faktorom uticaja teretnih vozila (f_{HV}), nakon čega se izlazni rezultat za kapacitet predstavlja u jedinici voz/h (vozilo po času).

Na osnovu prethodno datih jednačina formiran je grafički prikaz rezultata kapaciteta ulaznih saobraćajnih traka za jednoetračne i dvotračne kružne raskrsnice, a u skladu sa preporučenim parametrima kritičnog intervala sleđenja i

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

vremena sleđenja, gde je n_c broj traka u kruženju, a n_e broj ulaznih traka (Slika 3.14).

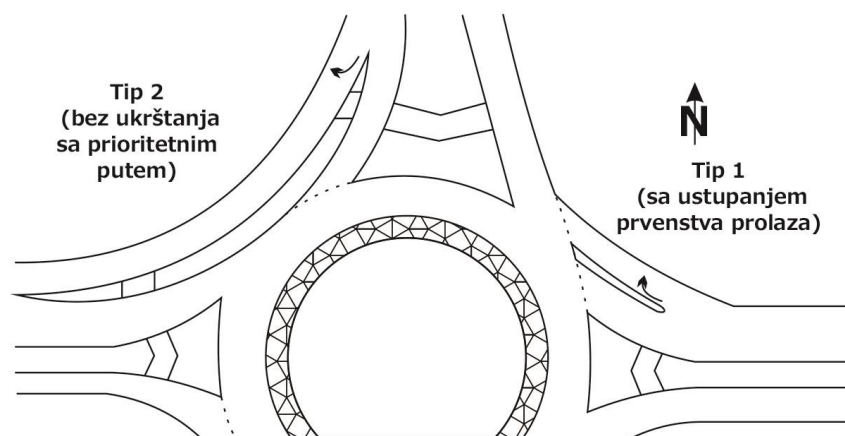


Slika 3.14. Kapacitet jednostranih i dvostranih kružnih raskrsnica

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-6.

Dodatne trake za desno skretanje (bypass)

Kod jednostranih i dvostranih kružnih raskrsnica koriste se dva uobičajena tipa dodatnih traka za desno skretanje – tzv. „bypass“ (Slika 3.15). Kod oba tipa, vozači bi obično trebali propustiti pešake koji prelaze dodatnu traku, ali ovaj uticaj pešaka nije uključen u analizi kapaciteta datoj u HCM 6.



Slika 3.15. Dodatna traka za desno skretanje

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-7.

Tip 1 dodatne trake za desno skretanje

Dodatna traka za desno skretanje tipa 1 se završava pod velikim uglom, sa saobraćajem koji skreće udesno uz propuštanje saobraćaja iz traka u kruženju. U istraživanju za potrebe izrade HCM 6, dodatne trake za desno skretanje nisu detaljno analizirane (Rodegerdts, Malinge, Marnell, Beaird, Kittelson, & Mareszczak, 2015). Međutim, kapacitet dodatne trake za desno skretanje može se izračunati korištenjem formule za proračun kapaciteta jednotračnih i dvotračnih kružnih raskrsnica, pri čemu se izlazni tok iz kružne raskrsnice tretira kao konfliktni tok, dok se tok u dodatnoj traci posmatra kao ulazni tok.

Kapacitet dodatne trake za desno skretanje koja za konfliktni tok ima jednu izlaznu traku, na osnovu preporučenih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, može se približno odrediti pomoću sledeće formule:

$$C_{bypass,pce} = 1380e^{(-1,02 \times 10^{-3})v_{ex,pce}} \quad (3.29)$$

Sa druge strane, kapacitet dodatne trake za desno skretanje koja za konfliktni tok ima dve izlazne trake na osnovu preporučenih parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, može se približno odrediti pomoću formule:

$$C_{bypass,pce} = 1420e^{(-0,85 \times 10^{-3})v_{ex,pce}} \quad (3.30)$$

gde je:

- $C_{bypass,pce}$ – kapacitet dodatne trake za desno skretanje (*bypass*), prilagođeno teretnim vozilima (PA/h) i
 $v_{ex,pce}$ – intenzitet izlaznog toka (PA/h).

Tip 2 dodatne trake za desno skretanje

Ovaj tip dodatne trake za desno skretanje podrazumeva spajanje sa izlaznim saobraćajem pod malim uglom, ili se obrazuje nova traka u blizini izlaznog toka. Kapacitet ovog tipa dodatnih traka nije posebno utvrđen, ali se očekuje da je relativno visok usled spajanja dva saobraćajna toka sličnih brzina.

Izlazni kapacitet

Istraživanja provedena u Nemačkoj navode da je kapacitet izlazne trake, uzimajući u obzir pešake i biciklistički saobraćaj u tipičnoj urbanoj oblasti, u opsegu od 1200-1300 (voz/h) (Brilon & Stuwe, 1993). Međutim, potrebno je takođe proceniti zahteve izlazne trake na osnovu broja traka u kruženju i njihovog rasporeda. Tako npr. od izlaza sa dve trake može se zahtevati da primi dve trake u kruženju kako bi se obezbedio kontinuirani saobraćaj.

Kriterijumi nivoa usluge

Kriterijumi nivoa usluga (LOS kriterijumi – engl. *level-of-servece criteria*) za motorna vozila u kružnim raskrsnicama du dati u *Tabeli 3.3*. Prema tako definisanim kriterijumima, nivo usluge *F* se dodjeljuje ako odnos tok/kapacitet prelazi 1,0 bez obzira na vremenske gubitke. Za proračun nivoa usluge prilaza i raskrsnice koristi se isključivo parametar vremenski gubici, na osnovu čega je definisano ukupno šest nivoa usluge od *A-F*.

Tabela 3.3. Nivo usluge i prosečni vremenski gubici

Vremenski gubici po vozilu (s/voz)	Nivo usluge na osnovu stepena iskorišćenja kapaciteta (v/c)	
	v/c ≤ 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

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

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* daje preporuke proračuna vremenskih gubitaka kako je to definisano za prethodno pomenute nesignalisane raskrsnice. U delu koji obuhvata redosled procedura za izračunavanje kapaciteta, dat je i empirijski obrazac za proračun prosečnih vremenskih gubitaka sporednog manevra uključenja u kružni saobraćajni tok.

Metodologija za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica

Funkcionisanje raskrsnica je analizirano na osnovu studija provedenih u *SAD-u* ([Rodegerdts, Malinge, Marnell, Beaird, Kittelson, & Mareszczak, 2015](#)). Ova metodologija se ne primenjuje nužno na rotorima, semaforisanim kružnim raskrsnicama i kružnim raskrsnicama sekundarne putne mreže, pošto ove vrste kružnih raskrsnica obično imaju drugačije geometrijske elemente ili elemente regulisanja saobraćaja. Analitička procedura koju daje *HCM 6* pretpostavlja da su granice analize sama kružna raskrsnica, uključujući i pridružene pešačke prelaze. U nekim slučajevima moguće je proširiti granice analize i na susedne raskrsnice. Merenje porformansi podrazumeva utvrđivanje stepena iskorišćenja kapaciteta, prosečnog nivoa gubitaka, nivoa usluge i dužine reda čekanja. Uslovi koji su izvan opsega predložene metodologije, koji su obuhvaćeni izričito alternativnim alatima, obuhvataju:

- semaforisanu svetlosno-zvučnu signalizaciju za pešake,

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

- semaforisane merne signale za vozila na jednom ili više prilaza kružne raskrsnice,
- signale kojima se daje prioritet drugim vozilima (vozila na šinama, vozila hitne pomoći i dr.)
- susedne semaforisane raskrsnice ili susedne kružne raskrsnice,
- poništavanje prioriteta usled ekstremno velikih tokova,
- visok nivo aktivnosti pešaka ili biciklista,
- više od dve ulazne trake na jednom ili više prilaza i
- naročito proširene ulazne trake.

Faktor učešća teretnih vozila (f_{HV}) je izuzetno bitan pri izračunavanju kapaciteta svih tipova kružnih raskrsnica, naročito u slučajevima kada teretna vozila zauzimaju veliki deo strukture saobraćajnog toka. Svaki razmatrani saobraćajni tok može se prilagoditi na način da se u obzir uzme struktura toka, korištenjem vrednosti datih u delu kako sledi.

Tabela 3.4. Ekvivalentne vrednosti putničkog automobila

Vrsta vozila	Ekvivalentna jedinica putničkog automobila (E_T)
Putnički automobil	1,0
Teretno vozilo	2,0

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-11.

Shodno podacima iz Tabele 3.4, a na osnovu jednačina (3.31) i (3.32), moguće je proračunati faktor učešća teretnih vozila na kapacitet.

$$v_{m,pce} = \frac{v_m}{f_{HV}} \quad (3.31)$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)} \quad (3.32)$$

gde je:

$v_{m,pce}$ – protok za manevar i , izražen u (PA/h),

v_m – protok za manevar i , izražen u (voz/h),

f_{HV} – faktor učešća teretnih vozila,

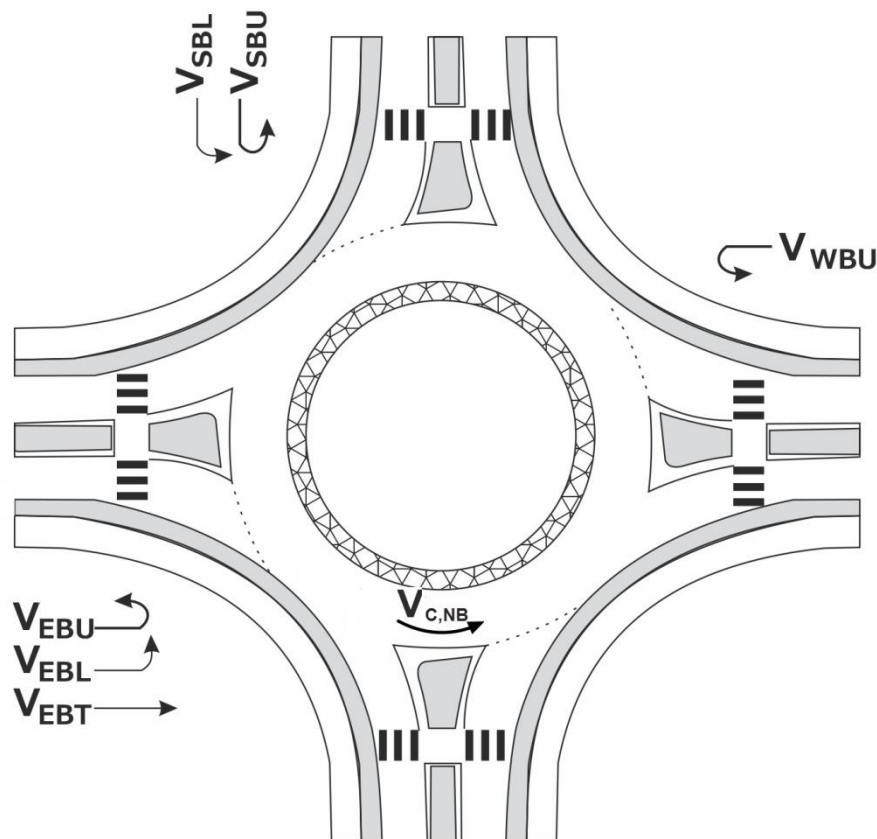
P_T – učešće teretnih vozila u saobraćajnom toku i

E_T – ekvivalentna jedinica putničkog automobila.

Kako bi se odredio kapacitet na određenom ulazu u kružni tok, potrebno je prethodno odrediti i intenzitet konfliktnog toka (v_c). Konfliktni tok naspram posmatranog ulaza se definiše kao tok koji je u konfliktu sa ulaznim tokom, odnosno tok koji prolazi ispred razdelnog ostrva pored ulaza koji je predmet

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

analize. Izračunavanje konfliktnog toka je prikazano na *Slici 3.16* i numerički putem jednačine (3.33). Svi tokovi su u ekvivalentnim jedinicama putničkog automobila.

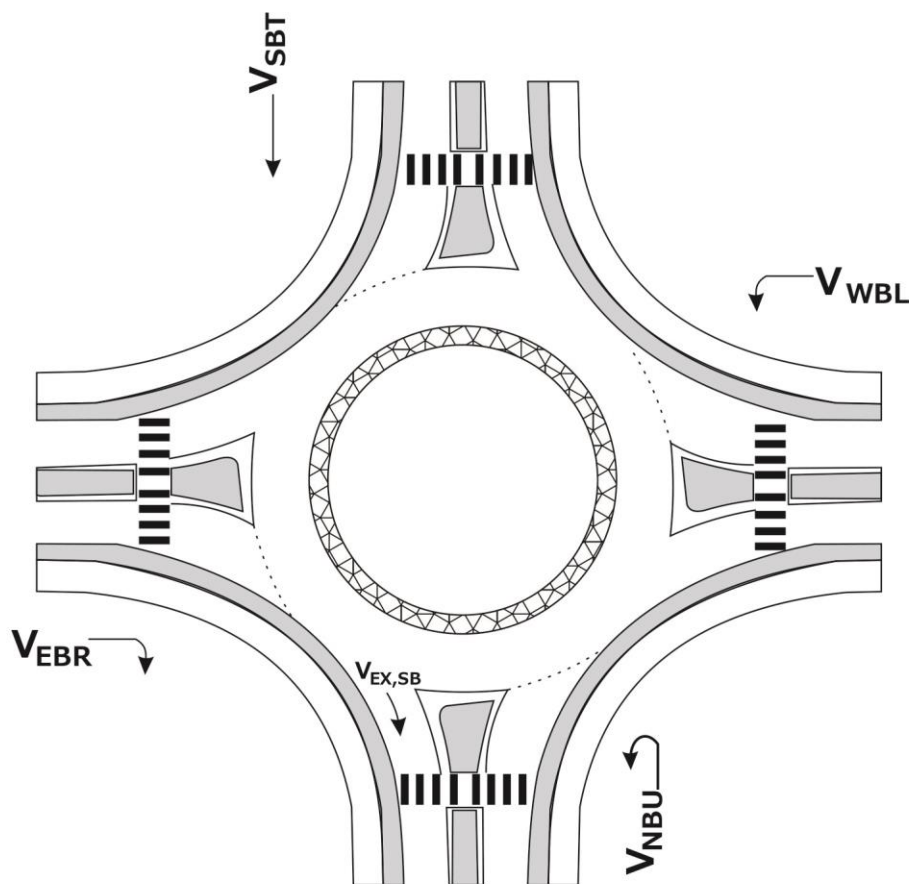


Slika 3.16. Proračun intenziteta konfliktnog toka

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-12.

$$v_{c,NB,pce} = v_{WBU,pce} + v_{SBL,pce} + v_{SBU,pce} + v_{EBT,pce} + v_{EBL,pce} + v_{EBU,pce} \quad (3.33)$$

Izlazni protok za određeni krak kružne raskrsnice se primarno koristi za izračunavanje konfliktnog toka za dodatne trake namenjene desnom skretanju. Izračunavanje izlaznog protoka za jedan krak kružne raskrsnice je prikazano na *Slici 3.17* i numerički u jednačini (3.34). Ukoliko je dodatna traka prisutna na samom ulazu gornjeg dela toka, tok sa skretanjem desno uz korišćenje dodatne trake se oduzima od izlaznog toka. Svi tokovi su u ekvivalentnim jedinicama putničkog automobila.



Slika 3.17. Izračunavanje izlaznog toka

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-13.

$$v_{ex,SB,pce} = v_{NBU,pce} + v_{WBL,pce} + v_{SBT,pce} + v_{EBR,pce} - v_{EBR,pce,bypass} \quad (3.34)$$

Pešački saobraćaj može smanjiti kapacitet na prilazima kružne raskrsnice, a time i na celoj kružnoj raskrsnici ukoliko se na pešačkim prelazima pojavljuje znatan broj pešaka. Pri velikim konfliktnim tokovima vozila, pešaci obično prolaze između vozila koja su u redu čekanja na ulazu i zato imaju neznatan dodatni uticaj na ulazni kapacitet. Međutim, pri slabijim konfliktnim tokovima, pešaci utiču na ulazni kapacitet kao dodatna konfliktna vozila, na način da smanjuju kapacitet na ulazu u kružnu raskrsnicu. Povećanjem broja pešaka na pešačkim prelazima dolazi do smanjenja kapaciteta na ulaznim tokovima.

Na kružnim raskrsnicama sa jednom ulaznom saobraćajnom trakom, definisan je model za približno određivanje uticaja pešaka na kapacitet ulaznog toka u Tabeli 3.5 (Brilon & Stuwe, 1993). Ove jednačine se zasnivaju na pretpostavkama da pešaci imaju apsolutan prioritet na pešačkim prelazima.

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Tabela 3.5. Model prilagođavanja kapaciteta ulaza kružnih raskrsnica zbog uticaja pešačkih tokova, na ulaznim tokovima sa jednom trakom (prioritet imaju pešaci)

Uslov	Faktor učešća pešaka na ulazima sa jednom trakom
Ako je $v_{c,pce} > 881$	$f_{ped} = 1$
Ukoliko je $n_{ped} \leq 101$	$f_{ped} = 1 - 0,000137n_{ped}$
U ostalim slučajevima	$f_{ped} = \frac{1119,5 - 0,715v_{c,pce} - 0,644n_{ped} + 0,00073v_{c,pce}n_{ped}}{1068,6 - 0,654v_{c,pce}}$

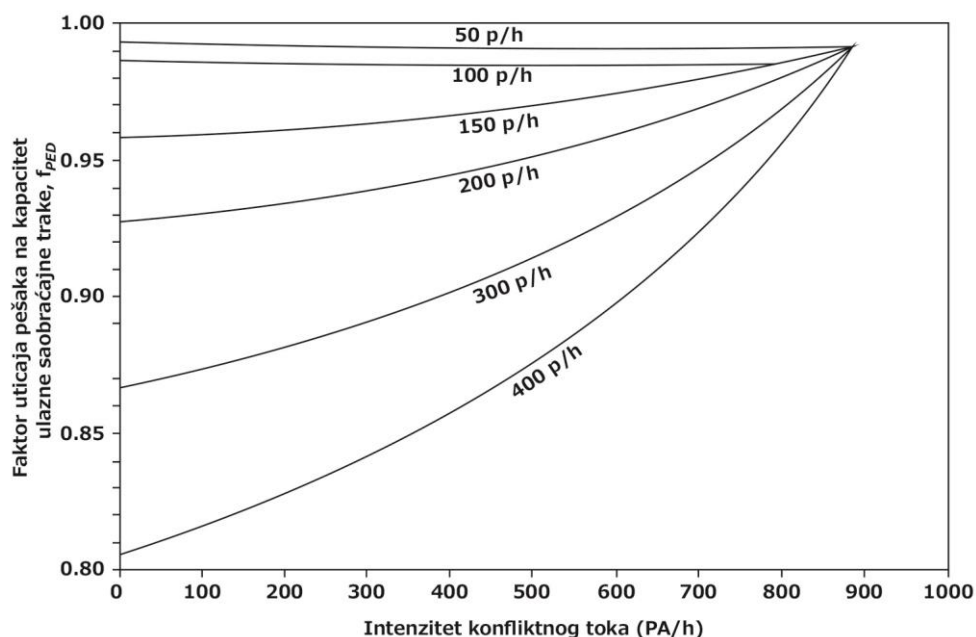
*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-18.

gde je:

f_{ped} – faktor učešća pešaka,

n_{ped} – broj konfliktnih pešaka po satu (p/h) i

$v_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka izražen u (PA/h).



Slika 3.18. Vrednosti faktora učešća pešaka (f_{ped}) na kapacitet ulaznog toka, za kružne raskrsnice sa jednom ulaznom saobraćajnom trakom

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-19.

Na kružnim raskrsnicama sa dve ulazne saobraćajne trake, definisan je model za približno određivanje uticaja pešaka na kapacitet ulaznog toka u Tabeli 3.6 (Brilon & Stuwe, 1993). Ove jednačine se zasnivaju na pretpostavkama da pešaci imaju apsolutan prioritet na pešačkim prelazima.

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

Tabela 3.6. Model prilagođavanja kapaciteta ulaza kružnih raskrsnica zbog uticaja pešačkih tokova, na ulaznim tokovima sa dve trake (prioritet imaju pešaci)

Uslov	Faktor učešća pešaka na ulazima sa dve trake
Ukoliko je $n_{ped} < 100$	$f_{ped} = \min \left[1 - \frac{n_{ped}}{100} \left(1 - \frac{1260,6 - 0,329v_{c,pce} - 0,381 \times 100}{1380 - 0,5v_{c,pce}} \right), 1 \right]$
U ostalim slučajevima	$f_{ped} = \min \left[\frac{1260,6 - 0,329v_{c,pce} - 0,381n_{ped}}{1380 - 0,5v_{c,pce}}, 1 \right]$

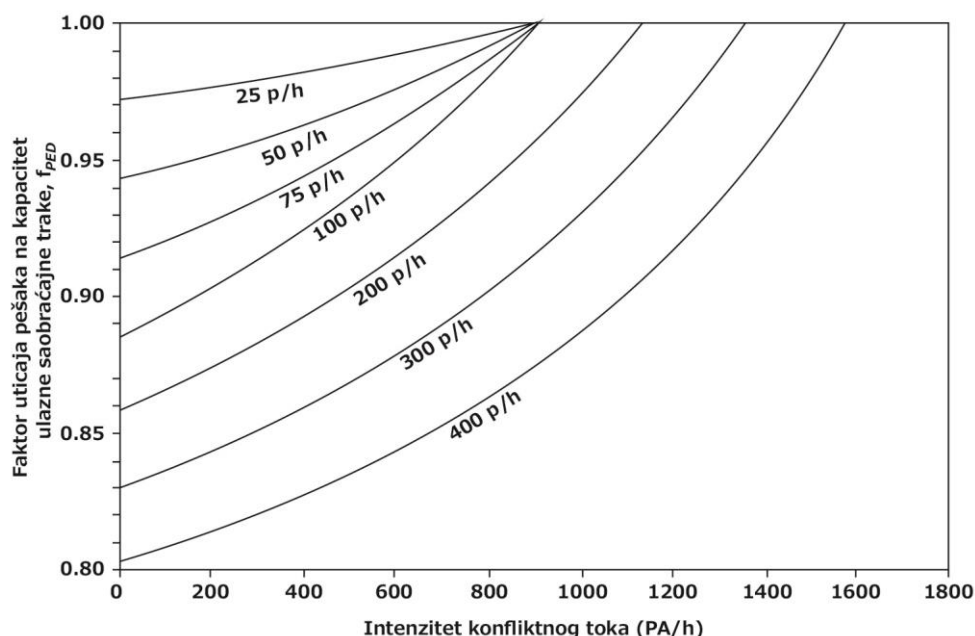
*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-20.

gde je:

f_{ped} – faktor učešća pešaka,

n_{ped} – broj konfliktnih pešaka po satu (p/h) i

$v_{c,pce}$ – intenzitet konfliktnog toka (PA/h).



Slika 3.19. Vrednosti faktora učešća pešaka (f_{ped}) na kapacitet ulaznog toka, za kružne raskrsnice sa dve ulazne saobraćajne trake

*Izvor: HCM 6, Exhibit 22-21.

Protok za datu traku se može iskazati u jedinicu voz/h, na način da se protok za datu traku izražen u PA/h množi sa faktorom učešća teretnih vozila, kao što je prikazano u jednačini (3.35):

$$v_i = v_{i,pce} f_{HV} \quad (3.35)$$

gde je:

v_i – protok za traku i , izražen u (voz/h),

$v_{i,pce}$ – protok za traku i , izražen u (PA/h) i

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

f_{HV} – faktor učešća teretnih vozila.

Slično tome, kapacitet za datu traku se može iskazati u jedinicama voz/h, kao što je prikazano u jednačini (3.36).

$$c_i = c_{i,pce} f_{HV} f_{ped} \quad (3.36)$$

gde je:

c_i – kapacitet ulazne trake i , izražen u (voz/h),

$c_{i,pce}$ – kapacitet ulazne trake i , izražen u (PA/h),

f_{HV} – faktor učešća teretnih vozila i

f_{ped} – faktor učešća pešaka.

Faktor ušešća teretnih vozila za svaki ulazni tok može biti približno određen uzimajući ponderirani (vagani) prosek faktora učešća teretnih vozila za svako ulazno kretanje na posmatranom ulaznom toku, a prema jednačini 3.37.

$$f_{HV,e} = \frac{f_{HV,U} v_{U,pce} + f_{HV,L} v_{L,pce} + f_{HV,T} v_{T,pce} + f_{HV,R,e} v_{R,e,pce}}{v_{U,pce} + v_{L,pce} + v_{T,pce} + v_{R,e,pce}} \quad (3.37)$$

gde je:

$f_{HV,e}$ – faktor učešća teretnih vozila za ulaznu traku,

$f_{HV,i}$ – faktor učešća teretnih vozila za kretanje i ,

$v_{i,pce}$ – protok za traku i , izražen u (PA/h).

Za određenu saobraćajnu traku, stepen iskorišćenja kapaciteta (odnos v/c) se dobija deljenjem protoka i izračunatog kapaciteta, kao što je prikazano u jednačini (3.38). Obe ulazne vrednosti se daju u jedinicama voz/h.

$$x_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (3.38)$$

gde je:

x_i – stepen iskorišćenja kapaciteta za posmatranu ulaznu traku,

v_i – protok za traku i , izražen u (voz/h) i

c_i – kapacitet za traku i , izražen u (voz/h).

Izračunavanje vremenskih gubitaka vozila na kružnim raskrsnicama vrši se na sličan način kao i za druge tipove nesignalisanih raskrsnica. Putem jednačine 3.39 prikazuje se model koji bi se trebao koristiti pri izračunavanju vremenskih gubitaka za svaku ulaznu traku kružne raskrsnice.

$$d = \frac{3600}{c} + 900T \left[x - 1 + \sqrt{(x - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{450T}} \right] + 5x[\min x, 1] \quad (3.39)$$

gde je:

- d – prosečni vremenski gubici posmatrane trake (s/voz),
- x – stepen iskorišćenja kapaciteta posmatrane trake,
- c – kapacitet posmatrane trake (voz/h) i
- T – analizirani period (h) – ako je 15 min, onda je $T=0,25h$.

Iz relacije (3.39), koja se koristi za proračun prosečnih vremenskih gubitaka vozila u toku, izraženih u (s/voz), može se zaključiti da navedena veličina zavisi od kapaciteta i protoka posmatrane ulazne trake.

Napred prikazana jednačina je identična kao i kod nesignalisanih raskrsnica na kojima je saobraćaj regulisan postavljanjem saobraćajnog znaka II-1, osim što je izraz modifikovan za „+5 x [min x, 1]“. Ovaj deo jednačine koristi izračunati stepen iskorišćenja kapaciteta, ili vrednost 1, u zavisnosti šta je manje. Neophodno je uzeti ovu modifikaciju za regulisanje saobraćaja uz pomoć znaka II-1 na datom ulazu, što ne zahteva da se vozači potpuno zaustave kada ne postoji konfliktni saobraćaj. Pri velikim stepenima iskorišćenja kapaciteta, verovatnoća da će doći do potpunog zaustavljanja vozila se povećava, čime proizvodi ponašanje vozača koje više odgovaraju regulisanju saobraćaja pomoću znaka II-2.

Jednačina (3.39) se upotrebljava, ako su za vreme perioda analize zahtevi za protokom manji od kapaciteta. Ako je odnos toka i kapaciteta veći od 0,9, onda na prosečne vremenske gubitke značajno utiče dužina perioda analize. U većini slučajeva, preporuka je da period analize bude 15 minuta. Ako zahtevi toka prevazilaze kapacitet, tokom perioda analize od 15 minuta, onda prosečni vremenski gubici izračunati izrazom (3.39) neće biti tačni.

Vremenski gubici za neki prilaz mogu biti određeni na način da se uzima ponderirani prosek vremenskih gubitaka za svaku traku, ponderiran protokom na svakoj traci. Protok u dodatnoj traci za skretanje udesno bi se takođe trebao uključiti pri izračunavanju vremenskih gubitaka za svaki prilaz.

Sa druge strane, vremenski gubici za celu raskrsnicu mogu biti određeni na sličan način, izračunavanjem ponderiranog (vaganog) proseka vremenskih gubitaka za svaki prilaz, ponderiran protokom na svakom prilazu (jednačina 3.40).

$$d_{is} = \frac{\sum d_i v_i}{v_i} \quad (3.40)$$

gde je:

Analiza postojećih istraživanja i postupaka proračuna kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica

- d_{is} – prosečni vremenski gubici za celu raskrsnicu (s/voz),
 d_i – prosečni vremenski gubici za prilaz i (s/voz) i
 v_i – protok za traku i , izražen u (voz/h).

Proračun 95. procentnog reda čekanja za datu traku na nekom prilazu se računa korištenjem jednačine (3.41).

$$Q_{95} = 900T \left[x - 1 + \sqrt{(1-x)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right)x}{150T}} \right] \left(\frac{c}{3600} \right) \quad (3.41)$$

gde je:

- Q_{95} – 95. procentni red (voz),
 T – analizirani period (h) ($T=1$ za 1h analize; $T=0,25$ za 15 min analize),
 x – stepen iskorišćenja kapaciteta posmatrane trake i
 c – kapacitet posmatrane trake (voz/h).

Dužina reda čekanja izračunata za svaku traku bi trebala biti proverena u odnosu na raspoloživi prostor. Red u svakoj traci može doći u interakciju sa susednim trakama na jedan ili više načina:

- Ako redovi u susednim trakama premašuju raspoloživi prostor, red u datoj traci može biti duži od predviđenog usled dodatnog čekanja u redu iz susedne trake i
- Ako redovi u datoj traci premašuju raspoloživi prostor za susedne trake, susedna traka može biti ugrožena redom u datoj traci.

U slučaju jednog ili više ovakvih slučajeva, može se sprovesti analiza osetljivosti sa metodologijom menjajući zahtev u svakoj traci.

Ukoliko se bicikla kreću kao motorna vozila, njihov uticaj na kapacitet kružnih raskrsnica može biti približno određen kombinovanjem protoka bicikala sa drugim vozilima, koristeći faktor ekvivalentne jedinice putničkog automobila od 0,5 (Rodegerdts, i drugi, 2007). Sa druge strane, u slučaju da bicikli, usled načina kretanja, predstavljaju pešački saobraćaj (npr. pešak gura bicikl i sl.), njihov uticaj na kapacitet kružnih raskrsnica se može analizirati kao što je to predviđeno za uticaj pešaka.

4. Definisanje područja i metodologije istraživanja

I pored toga što je ponašanje vozača prepoznato kao faktor čiji je uticaj dokazan i definisan na drugim delovima i elementima putne i ulične mreže, on do sada na kružnim raskrsnicama nije razmatran i valorizovan. U okviru istraživanja koje je sprovedeno za potrebe disertacije formirana je baza podataka o ponašanju rezidentnih i nerezidentnih vozača na kružnim raskrsnicama, odnosno o vrednostima prihvaćenih parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače.

S obzirom da je ponašanje vozača u korelaciji sa poznavanjem samog lokaliteta istraživanje je provedeno u lokalnim uslovima. Zbog činjenica da je u ranijim istraživanjima prepoznato da se vozači koji svakodnevno ili često koriste neki deo putne mreže ponašaju drugačije u poređenju sa vozačima koji ga koriste retko, istraživanje je orijentisano ka utvrđivanju uticaja karakteristika vozača, koji su svrstani u dve kategorije: rezidentni i nerezidentni vozači. Kako su nerezidentni vozači učesnici u saobraćaju koji povremeno, retko ili po prvi put prolaze kroz posmatrane kružne raskrsnice, očekivano je da će i njihov način prihvatanja kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja biti drugačiji u odnosu na rezidentne vozače koji vozilom svakodnevno prolaze preko predmetnih kružnih raskrsnica. Objektivno se može pretpostaviti da su vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja veće kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače. Iz toga proizilazi da će sa povećanjem učešća nerezidentnih vozača doći do smanjenja kapaciteta kružnih raskrsnica. Na osnovu utvrđenih zakonitosti između vrednosti parametra za jednu i drugu grupu vozača, definisaće se model za proračun *Faktora učešća nerezidentnih vozača* (f_{nre}) radi unapređenja postojećih postupaka za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica.

Nerezidentni vozači pojavljuju se u većem procentu na tranzitnim putnim pravcima i u turističkim regijama, kada u periodu godišnjih odmora ovi vozači često čine veliki deo vozačke populacije. Iz tog razloga proračun kapaciteta kružnih raskrsnica sa preporučenim vrednostima ulaznih parametara, bez uvažavanja uticaja nerezidentnih vozača, može dati nerealne rezultate. Sve to može uticati na pogrešnu konstataciju stanja, kao i mera koje treba preduzeti da bi se poboljšao nivo usluga na kružnim raskrsnicama.

4.1. Područje i vreme istraživanja

Kako bi se pravilno utvrdili osnovni parametri neophodni za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica, definisan je skup raskrsnica na kojima će biti vršeno istraživanje. Ovaj skup obuhvata četiri kružne raskrsnice u gradovima različite veličine i različite geometrije (trokrake, četverokrake, šestokrake) u Bosni i Hercegovini.

Istraživanje je provedeno u julu i avgustu 2018. godine, na četiri kružne raskrsnice u četiri grada u Bosni i Hercegovini (Bijeljina (BN) – 107715 stanovnika, Brčko (BC) – 83516 stanovnika, Tuzla (TZ) – 110979 stanovnika, Banja Luka (BL) – 185042 stanovnika). Ovi gradovi su izabrani za vršenje istraživanja usled pretpostavke da se u letnjem periodu u njima pojavljuje veći broj vozača koji ove gradove posećuju povremeno ili u turističke svrhe, što je predstavljalo eliminatorni preduslov za sprovođenje analize. Letnji period je izabran kao reprezentativan za istraživanje jer se na teritoriji Bosne i Hercegovine upravo u ovom periodu pojavljuje veliki broj nerezidentnih vozača. Kružna raskrsnica u Brčkom pripada turbo kružnim raskrsnicama, dok su raskrsnice u Bijeljini, Tuzli i Banja Luci klasične kružne raskrsnice. Istraživanje je izvršeno za jednostrane kružne raskrsnice ($n_e=n_c=1$) i za dve varijante dvotračnih kružnih raskrsnica (prvi slučaj: $n_e=n_c=2$, drugi slučaj: $n_e=1, n_c=2$), gde je:

n_e – broj saobraćajnih traka na ulazu u kružni tok (broj ulaznih saobraćajnih traka) i
 n_c – broj saobraćajnih traka u kružnom (prioritetnom toku).

Tabela 4.1. Osnovni geometrijski i lokacijski podaci promatranih kružnih raskrsnica

Grad	Broj stanovnika	Lokacija	Broj karakova	R (m)	n_e / n_c	Period
BN	107715	44° 45' 20.0" N 19° 12' 41.7" E	4	28	1/1	07 ⁰⁰ -16 ⁰⁰
BC	83516	44° 52' 37.6" N 18° 47' 52.5" E	3	30	1/1	07 ⁰⁰ -16 ⁰⁰
TZ	110979	44° 32' 25.8" N 18° 40' 22.6" E	6	34	1/2	09 ⁰⁰ -15 ⁰⁰
BL	185042	44° 47' 26.4" N 17° 11' 56.6" E	4	60	2/2	12 ⁰⁰ -17 ⁰⁰

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. *Sustainability*, 11(14), 3896.

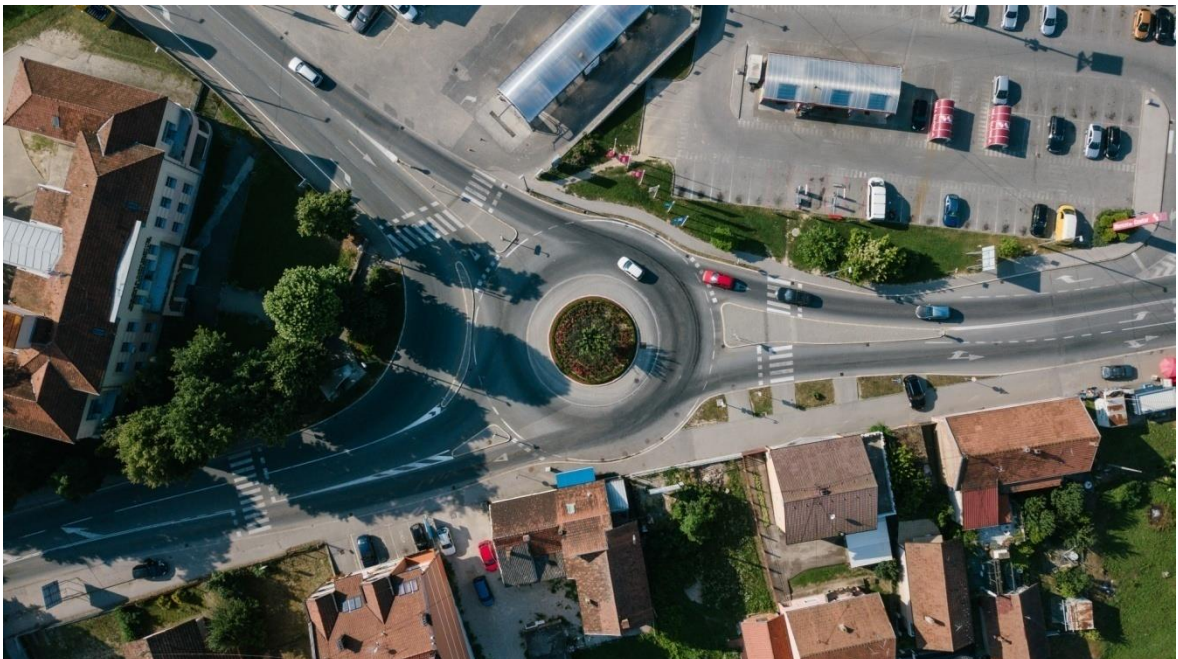
Ukupno vreme snimanja iznosi 1740 minuta. Analiza snimljenog materijala je podrazumevala prvobitno merenje parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni) na posmatranim kružnim raskrsnicama, nakon čega se pristupilo obradi prikupljenih podataka. Provođenje istraživanja je vršeno u sledećim periodima (Tabela 4.1):

- za posmatranu kružnu raskrsnicu u Bijeljini, istraživanje je provedeno u periodu od 07-16 časova, ukupno 9 časova ili 540 minuta;
- za posmatranu kružnu raskrsnicu u Brčkom, istraživanje je provedeno u periodu od 07-16 časova, ukupno 9 časova ili 540 minuta;
- za posmatranu kružnu raskrsnicu u Tuzli, istraživanje je provedeno u periodu od 09-15 časova, ukupno 6 časova ili 360 minuta i

- za posmatranu kružnu raskrsnicu u Banja Luci, istraživanje je provedeno u periodu od 12-17 časova, ukupno 5 časova ili 300 minuta.



Slika 4.1. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Bijeljini, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina (2018)



Slika 4.2. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Brčkom, Brčko Distrikt Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina (2018)



Slika 4.3. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina (2018)



Slika 4.4. Orto-foto snimak posmatrane kružne raskrsnice u Tuzli, Federacija Bosne i Hercegovine, Bosna i Hercegovina (2018)

4.2. Metodologija istraživanja

Analiza i sinteza, komparacija, interpolacija, statistička obrada podataka i grafički prikaz rezultata su metode iz matematičke statistike i teorije verovatnoće koje su korišćene za merenje i analizu kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja na posmatranim kružnim raskrsnicama.

Metoda za prikupljanje i obradu podataka u procesu istraživanja je zasnovana na korištenju svetski priznatih računarskih programa. Ove metode su provedene kroz pet osnovnih metodoloških koraka:

- analiza dosadašnjih rezultata,
- preliminarna analiza kružnih raskrsnica,
- prikupljanje podataka,
- statistička obrada dobijenih podataka sa tabelarnim i grafičkim predstavljanjem rezultata i
- definisanje metoda proračuna kapaciteta kružnih raskrsnica u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača.

Snimanje saobraćaja na kružnim raskrsnicama je sprovedeno pomoću digitalne video-kamere, nakon čega su se rezultati statistički obrađivali u programu *Microsoft Office Excel 2016*, *Minitab 18.1.0.*, i drugim odgovarajućim softverima namenjenim za obradu podataka.

4.3. Merenje parametara saobraćajnog toka

Na unapred utvrđenim lokacijama, metodom obrade video zapisa, na slučajno prikupljenom uzorku vršeno je merenje parametara saobraćajnog toka (kritičnih intervala sleđenja – t_c i vremena sleđenja – t_f).

Prilikom merenja koristila se metoda obrade i analize video snimaka (zapisa), što predstavlja jednu od najstarijih metoda ([Greenshields, Thompson, Dickinson, & Swinton, 1934](#)). Ova metoda je kasnije usavršavana korišćenjem znatno naprednije tehnologije, što se pokazalo kao izuzetno efikasan način merenja parametara saobraćajnog toka, pošto se njenim korišćenjem minimizira uticaj istraživanja na ponašanje vozača. Ovako prikupljeni i obrađeni podaci predstavljaju efikasnu i praktičnu osnovu u mnogim istraživanjima parametara saobraćajnog toka ([Bogdanović V. , Papić, Ruškić, & Jeftić, 2011](#)), ([Bogdanović, Ruškić, Kulović, & Han, 2013](#)). Napred navedena metoda se koristila za utvrđivanje parametara saobraćajnog toka (t_c i t_f) jer postupak istraživanja ni na koji način ne utiče na ponašanje vozača, te se shodno tome dobija objektivan uzorak koji se može obrađivati na sve naučno priznate načine. Naime, vozači praktično ni ne znaju da su učesnici eksperimenta, pa je njihovo ponašanje uobičajeno. Upravo to je jedan od uslova za dobijanje objektivnih rezultata uticaja ponašanja dve različite grupe vozača (rezidentni i nerezidentni) na vrednost parametara

saobraćajnog toka (t_c i t_f), a time i na kapacitet kružne raskrsnice. Negativni efekti na ponašanje vozača i kretanje vozila, kao što su magla, kiša i snažan vetar, mogu nepovoljno uticati na ponašanje vozača, zbog čega se istraživanje nije vršilo pri ovakvim nepovoljnim vremenskim uslovima. U teoriji saobraćajnog toka bazni ambijentalni, odnosno vremenski uslovi podrazumevaju dnevne uslove vožnje, dobru vidljivost, suv kolovoz, vreme bez vetra itd. Ovakvi vremenski uslovi prilikom sprovođenja istraživanja su odabrani kako bi se eliminisao uticaj vremenskih uslova na ponašanje vozača, što je u teoriji saobraćajnog toka predmet drugih istraživanja. U toku snimanja bilo je sunčano vreme sa temperaturom od 25-35 °C, bez magle, kiše, snažnog vetra i drugih nepovoljnih klimatskih uslova koji mogu izazvati negativne efekte na ponašanje vozača i kretanje vozila (Goodwin, 2002).

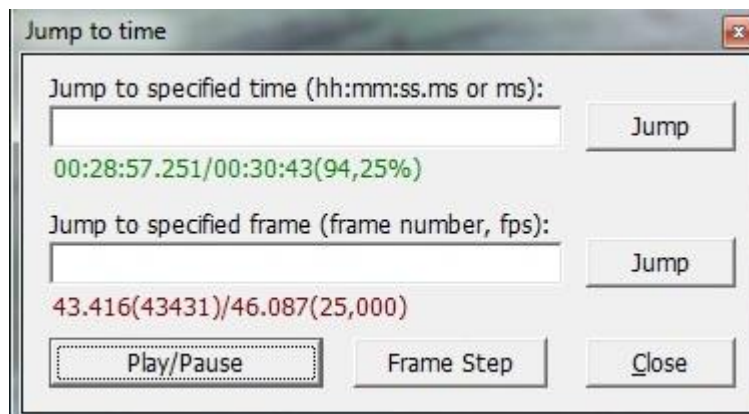
Istraživanje je obavljeno uz pomoć digitalne video-kamere, u julu i avgustu 2018. godine, kada je u saobraćajnom toku izabranih lokacija prisutan značajan broj nerezidentnih vozača. Zbog specifičnog načina formiranja registarskih oznaka, vozači iz drugog grada se u Bosni i Hercegovini ne mogu prepoznati po registarskim tablicama. Iz tog razloga, radi formiranja kompaktnog uzorka nerezidentnih vozača na prioritnim kružnim raskrsnicama, u ovu grupu svrstavani su vozači koji su vozili isključivo vozila sa inostranim registarskim tablicama. Veoma mali broj rezidentnih vozača vozi vozila sa inostranim registarskim tablicama, a takođe je i mali broj rezidentnih vozača koji, u periodu istraživanja, turistički, rekreaciono ili na drugi način posećuju gradove u Bosni i Hercegovini koji im predstavljaju nepoznanicu. Iz tog razloga, formiran uzorak na opisan način može se smatrati relevantnim za istraživanje i izvođenje zaključaka.

Prilikom snimanja saobraćajnih tokova na kružnim raskrsnicama, korišćena je kamera Panasonic HC-MDH2, Full-HD, 50x *Intelligent Zoom*, koja je prikazana na narednoj slici (Slika 4.5). Analiza snimaka je vršena prema sledećoj proceduri: Na snimku je definisan nepokretni objekat (horizontalna signalizacija, saobraćajni znak, stub rasvete ili slično) u odnosu na koji je moglo da bude praćeno kretanje vozila. Prolazak vozila pored ili preko ovog objekta je beleženo kao prvo vreme za potrebe merenja nekog intervala, a prolazak sledećeg vozila je beležen kao drugo vreme.



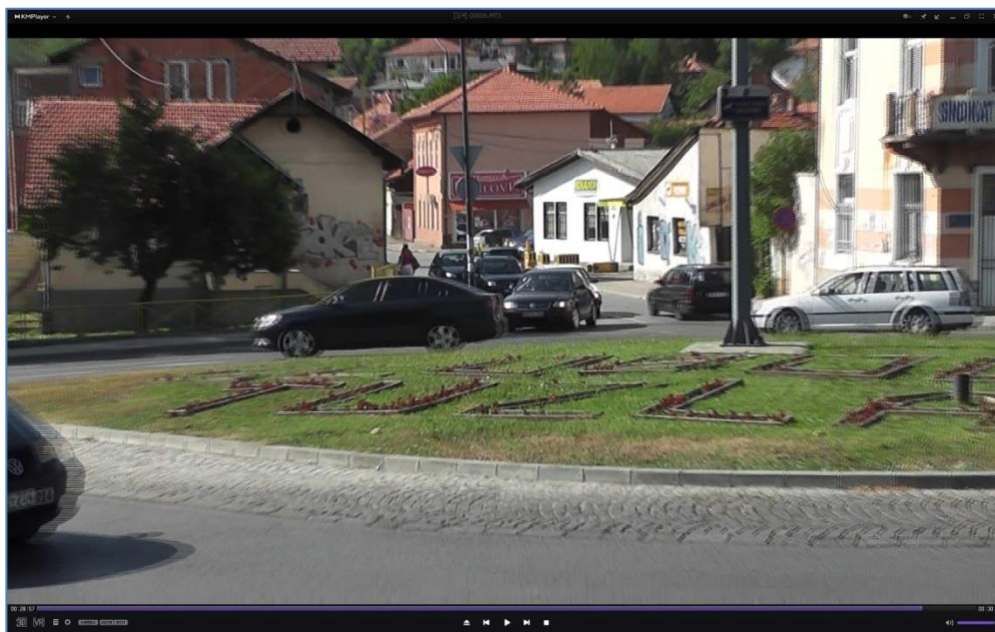
Slika 4.5. Kamera kojom je vršeno snimanje

Serijska slika koje se prikazuju jedna za drugom velikom brzinom predstavlja video zapis. Svaka pojedinačna slika u video zapisu se naziva „frejm“ (engl. *frame*). U softveru za pregled video snimka, koji je korišćen za potrebe istraživanja, moguće je pregledati video zapis po jednom zabeleženom frejmu. Program za analizu video zapisa omogućava pregled (Slika 4.6) u vremenskim sekvencama tačnosti od 0,001s. Ovakva preciznost je zadovoljavajuća za prikupljanje podataka o veličini kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, čija tačnost se zaokružuje na maksimalno dve desimale (0,01s).



Slika 4.6. Prikaz parametara izabranog frejma

Snimak je pregledan u programu *KMPlayer*, verzija 4.2.1.4 (Slika 4.7).



Slika 4.7. Prikaz video zapisa lokacije kružne raskrsnice u Tuzli (program *KMPlayer*)

Za potrebe istraživanja izvršeno je merenje parametara saobraćajnog toka, i to kritičnog intervala sleđenja vozila u kružnom (prioritetnom) toku „critical headway“ (t_c) i vremena sleđenja vozila na ulaznom (sporednom) toku „follow-up headway“ (t_f).

Kritični interval sleđenja (t_c) je meren sa snimaka poštujući sledeća pravila:

- Vozilo na ulaznom (sporednom) toku se moralo zaustaviti i nakon toga izvesti manevar uključenja (sporedni manevar) u kružni (prioritetni) saobraćajni tok.
- Nakon što je vozilo sa ulaznog (sporednog) toka izvršilo sporedni manevar, snimak je vraćen do trenutka prolaska poslednjeg vozila u kružnom (prioritetnom) toku ispred vozila u ulaznom (sporednom) toku, pre započinjanja sporednog manevra i to vreme je zabeleženo.
- Po izvođenju sporednog manevra, zabeležen je trenutak prolaska sledećeg vozila u kružnom (prioritetnom) toku kroz istu tačku u kojoj je zabeleženo prethodno vreme.
- Oba karakteristična vremena se beleže u unapred pripremljenu *Excel* tabelu za kritične intervale sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače.
- Razlika ova dva vremena predstavlja kritični interval sleđenja.
- Svi zabeleženi intervali u kojima su vozila sa ulaznog (sporednog) toka primoravala vozila u kružnom (prioritetnom) toku da menjaju režim kretanja (reaguju kočenjem ili izbegavanjem) su isključeni iz analize.

Vreme sleđenja (t_f) je mereno sa snimaka uz poštovanje sledećih pravila:

- Vreme sleđenja predstavlja vreme između dva vozila koja se na ulaznom (sporednom) toku nađu u redu čekanja i jedno za drugim izvedu sporedni manevar, u situaciji kada se u kružnom (prioritetnom) toku pojavi veća vremenska praznina.
- Oba vozila su morala da se zaustave pre nego što izvedu sporedni manevar.
- Vreme sleđenja je mereno od momenta kada prvo vozilo u redu čekanja započne manevar, dok se sledeće vozilo iz niza ne postavi na njegovo mesto.
- Oba karakteristična vremena se beleže u unapred pripremljenu *Excel* tabelu za vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače.
- Razlika ova dva vremena predstavlja vreme sleđenja.
- Svi zabeleženi intervali u kojima su vozila sa ulaznog (sporednog) toka primoravala vozila u kružnom (prioritetnom) toku da menjaju režim kretanja (reaguju kočenjem ili izbegavanjem) su isključeni iz analize.

Pomoću odgovarajućeg softvera (*Microsoft Office Excel 2016* i *Minitab 18.1.0*) formirane su tabele za svaku kružnu raskrnicu pojedinačno, gde su beležene izmerene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače.

4.4. Prikupljanje i obrada podataka

Ukupan broj vozila koja su bila predmet istraživanja, a na osnovu kojih su dobijene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja iznosi 31053. U tekstu koji sledi navode se detaljniji prikazi vozila koja su učestvovala u istraživanju, i to:

- za posmatranu kružnu raskrnicu u Bijeljini, ukupan broj vozila koji je bio predmet istraživanja iznosi 6744, pri čemu broj posmatranih vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) iznosi 4111, dok je broj posmatranih vozila u toku u kruženju (v_c) 2633 (Tabele 4.2. i 4.3);
- za posmatranu kružnu raskrnicu u Brčkom, ukupan broj vozila koji je bio predmet istraživanja iznosi 7849, pri čemu broj posmatranih vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) iznosi 4968, dok je broj posmatranih vozila u toku u kruženju (v_c) 2881 (Tabele 4.4 i 4.5);
- za posmatranu kružnu raskrnicu u Tuzli, ukupan broj vozila koji je bio predmet istraživanja iznosi 7842, pri čemu broj posmatranih vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) iznosi 1203, dok je broj posmatranih vozila u toku u kruženju (v_c) 6639 (2273 vozila u unutrašnjoj saobraćajnoj traci, a 4366 vozila u spoljašnjoj saobraćajnoj traci) (Tabele 4.6 i 4.7);
- za posmatranu kružnu raskrnicu u Banja Luci, ukupan broj vozila koji je bio predmet istraživanja iznosi 8618, pri čemu broj posmatranih vozila u ulaznim saobraćajnim trakama (v_e) iznosi 2291 (953 vozila u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci, a 1338 vozila u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci), dok je broj posmatranih vozila u toku u kruženju (v_c) 6327 (3337 vozila u unutrašnjoj saobraćajnoj traci, a 2990 vozila u spoljašnjoj saobraćajnoj traci) (Tabele 4.8, 4.9 i 4.10).

Prema napred navedenim podacima za analizirana vozila na svim kružnim raskrnicama, dolazimo do podatka da je ukupan broj posmatranih vozila za vreme istraživanja iznosio 31053 ($6744+7849+7842+8618=31053$).

Tabela 4.2. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrnicu u Bijeljini ($n_e=1$, $n_c=1$)

Raskrsnica	Broj vozila u ulazu u kružni tok	Broj PA u ulazu u kružni tok	PA (u %)
BN-1	501	429	85,63
BN-2	456	403	88,38
BN-3	437	392	89,70
BN-4	442	398	90,04
BN-5	481	442	91,89
BN-6	451	419	92,90
BN-7	462	410	88,74
BN-8	448	408	91,07
BN-9	433	369	85,22
Σ BN	4111	3670	89,27

*Broj pored oznake raskrsnice odnosi se na čas istraživanja (1-prvi čas, 2-drugi čas, itd.).

Tabela 4.3. Broj vozila u toku u kruženju (v_o) po vremenu snimanja za kružnu raskrnicu u Bijeljini ($n_e=1$, $n_c=1$)

Raskrsnica	Broj vozila u toku u kruženju	Broj PA u toku u kruženju	PA (u %)
BN-1	307	258	84,04
BN-2	272	245	90,07
BN-3	279	257	92,11
BN-4	291	261	89,69
BN-5	316	292	92,40
BN-6	302	274	90,73
BN-7	298	271	90,94
BN-8	286	252	88,11
BN-9	271	236	87,08
Σ BN	2633	2346	89,09

 Tabela 4.4. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrnicu u Brčkom ($n_e=1$, $n_c=1$)

Raskrsnica	Broj vozila u ulazu u kružni tok	Broj PA u ulazu u kružni tok	PA (u %)
BC-1	534	455	85,20
BC-2	541	482	89,09
BC-3	550	507	92,18
BC-4	562	495	88,08
BC-5	571	486	85,11
BC-6	569	489	85,94
BC-7	560	471	84,11
BC-8	544	452	83,09
BC-9	537	450	83,80
Σ BC	4968	4287	86,29

 Tabela 4.5. Broj vozila u toku u kruženju (v_o) po vremenu snimanja za kružnu raskrnicu u Brčkom ($n_e=1$, $n_c=1$)

Raskrsnica	Broj vozila u toku u kruženju	Broj PA u toku u kruženju	PA (u %)
BC-1	315	271	86,03
BC-2	332	292	87,95
BC-3	327	291	88,99
BC-4	324	271	83,64
BC-5	341	297	87,10
BC-6	317	288	90,85
BC-7	306	273	89,21
BC-8	308	270	87,66
BC-9	311	261	83,92
Σ BC	2881	2514	87,26

Tabela 4.6. Broj vozila u ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Tuzli ($n_e=1, n_c=2$)

Raskrsnica	Broj vozila u ulazu u kružni tok	Broj PA u ulazu u kružni tok	PA (u %)
TZ-1	216	193	89,35
TZ-2	214	185	86,44
TZ-3	195	163	83,59
TZ-4	209	177	84,69
TZ-5	177	147	83,05
TZ-6	192	168	87,50
Σ TZ	1203	1033	85,87

 Tabela 4.7. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrsnicu u Tuzli ($n_e=1, n_c=2$)

Raskrsnica		Broj vozila u toku u kruženju	Broj PA u toku u kruženju	PA (u %)
TZ-1	U	374	341	91,18
	S	732	658	89,89
	Σ	1106	999	90,32
TZ-2	U	380	350	92,10
	S	704	619	87,93
	Σ	1084	969	89,39
TZ-3	U	364	339	93,13
	S	853	770	90,27
	Σ	1217	1109	91,12
TZ-4	U	387	349	90,18
	S	690	638	92,46
	Σ	1077	987	91,64
TZ-5	U	331	311	93,96
	S	673	587	87,22
	Σ	1004	898	89,44
TZ-6	U	437	393	89,93
	S	714	662	92,72
	Σ	1151	1055	91,66
Σ TZ	U	2273	2086	91,77
	S	4366	3931	90,04
	Σ	6639	6017	90,63

*Slovo pored oznake raskrsnice odnosi se na kružnu saobraćajnu traku (U-unutrašnja, S-spoljna)

Tabela 4.8. Broj vozila u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrslu u Banja Luci ($n_e=2, n_c=2$)

Raskrslu	Broj vozila u ulazu u kružni tok	Broj PA u ulazu u kružni tok	PA (u %)
BL_L-1	221	199	90,04
BL_L-2	198	166	83,84
BL_L-3	178	150	84,27
BL_L-4	187	161	86,10
BL_L-5	169	152	89,94
Σ BL_L	953	828	86,88

 Tabela 4.9. Broj vozila u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci (v_e) po vremenu snimanja za kružnu raskrslu u Banja Luci ($n_e=2, n_c=2$)

Raskrslu	Broj vozila u ulazu u kružni tok	Broj PA u ulazu u kružni tok	PA (u %)
BL_D-1	252	222	88,09
BL_D-2	277	225	81,23
BL_D-3	269	231	85,87
BL_D-4	289	242	83,74
BL_D-5	251	207	82,47
Σ BL_D	1338	1127	84,23

 Tabela 4.10. Broj vozila u toku u kruženju (v_c) po vremenu snimanja za kružnu raskrslu u Banja Luci ($n_e=2, n_c=2$)

Raskrslu		Broj vozila u toku u kruženju	Broj PA u toku u kruženju	PA (u %)
BL-1	U	666	547	82,13
	S	601	483	80,37
	Σ	1267	1030	81,29
BL-2	U	631	532	84,31
	S	560	454	81,07
	Σ	1191	986	82,79
BL-3	U	642	506	78,82
	S	568	453	79,75
	Σ	1210	959	79,26
BL-4	U	725	594	81,93
	S	650	523	80,46
	Σ	1375	1117	81,24
BL-5	U	673	559	83,06
	S	611	502	82,16
	Σ	1284	1061	82,63
Σ BL	U	3337	2738	82,05
	S	2990	2415	80,77
	Σ	6327	5153	81,44

Da bi se odredio uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica, pri izvođenju manevra uključenja rezidentnih i nerezidentnih vozača u kružni saobraćajni tok, parametri t_c i t_f su se merili na način kojim bi se isključila mogućnost uticaja komercijalnih vozila na vrednosti parametara t_c i t_f . Iz tog razloga, vrednosti parametara t_c su uzimane u analizi isključivo ukoliko su i prvo i drugo vozilo u kružnom (prioritetnom) toku bili putnički automobili, a manevar uključenja u kružni saobraćajni tok je vršio takođe putnički automobil. Sa druge strane, vrednosti parametara t_f su uzimane u analizi isključivo ukoliko su i prvo i drugo vozilo na sporednom (ulaznom) toku bili putnički automobili, a vozilo u kružnom (prioritetnom) toku, u odnosu na koje se vršilo merenje, bilo takođe putnički automobil. Homogen saobraćajni tok sastavljen isključivo od putničkih automobila pokazao se kao dobar metod prilikom obrade podataka i definisanja validnog modela (Tanackov, Dragić, Sremac, Bogdanović, & Matić, 2019).

Svi kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja kod kojih je došlo do bilo kakvih ometanja saobraćajnih tokova, nisu uzeti u razmatranje.

Obrada podataka i utvrđivanje parametara saobraćajnog toka (t_c i t_f) je vršena tako što se video zapis emitovao u softveru sa preciznim tajmerom *KMPlayer*, verzija 4.2.1.4, pri čemu su se identifikovale situacije koje odgovaraju definiciji kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja. Ukoliko iz nekog razloga nisu ispunjeni uslovi koji karakterišu kritični interval sleđenja ili vreme sleđenja, na primer nema vozila iz konfliktnog toka, vozilo sa sporednog prilaza u raskrsnicu ulazi u letećem startu itd, istraživači nisu zaustavljali snimke niti su beležili vremena.

Rezultati su statistički obrađivani u softveru *Microsoft Office Excel 2016* i *Minitab 18.1.0*. Kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja su mereni prilikom vršenja sporednih manevara uključenja vozila u kružni (prioritetni) saobraćajni tok, pri čemu se došlo do vrednosti ovih parametara u realnim uslovima. Ukupna veličina uzorka parametara kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja data je u *Tabelama 4.11 i 4.12*.

Tabela 4.11. Prikupljena veličina uzorka za kritične intervale sleđenja (t_c)

Lokacija	Rezidentni vozači	Nerezidentni vozači	Ukupno
BN	147	48	195
BC	193	49	242
TZ	177	40	217
BL	162 (D) ; 172 (L)	31 (D) ; 32 (L)	193 (D) ; 204 (L)
Ukupno	851	200	1051

*Slovo u zagradi odnosi se na ulaznu saobraćajnu traku (D-desna, L-leva)

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). *The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability*, 11(14), 3896.

Tabela 4.12. Prikupljena veličina uzorka za vremena sleđenja (t_f)

Lokacija	Rezidentni vozači	Nerezidentni vozači	Ukupno
BN	237	62	299
BC	288	89	377
TZ	160	39	199
BL	104 (D) ; 95 (L)	30 (D) ; 20 (L)	134 (D) ; 115 (L)
Ukupno	884	240	1124

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). *The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity*. *Sustainability*, 11(14), 3896.

U praksi, potrebni uslovi za merenje kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja nisu uvek mogući u toku celog perioda istraživanja. Prilikom merenja kritičnog intervala sleđenja (t_c) neophodno je da prvo vozilo na ulaznom (sporednom) toku bude zaustavljeno, a da uslovi na kružnom (prioritetnom) toku budu slični zasićenom toku, odnosno da se u određenim periodima u kružnom (prioritetnom) toku omogući izvođenje manevra uključjenja vozila u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Prilikom merenja vremena sleđenja (t_f) neophodno je da se na ulaznom (sporednom) toku stvore uslovi zasićenog toka tako da postoji red vozila na ulaznom (sporednom) toku, a da se na kružnom (prioritetnom) toku pojave uslovi (vremenske praznine) koji omogućavaju da dva vozila iz reda čekanja na ulaznom (sporednom) toku, jedno za drugim, izvedu sporedni manevar uključjenja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Oba vozila (prvo i drugo vozilo) u redu čekanja moraju biti zaustavljena pre izvođenja manevra uključjenja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Iz napred navedenih uslova, na jednoj posmatranoj kružnoj raskrsnici, retko postoje uslovi za istovremeno merenje oba parametra – kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja.

Ograničenja vezana za nemogućnost merenja kritičnog intervala sleđenja se pojavljuju u slučaju kada je kružni (prioritetni) saobraćajni tok slabog intenziteta, jer se u to vreme veoma često realizuju dva ili više uzastopnih manevara uključjenja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Sa druge strane, ograničenja vezana za nemogućnost merenja vremena sleđenja se pojavljuju u slučaju kada je saobraćajni tok na ulaznom (sporednom) pravcu slabog intenziteta, kao i kada je na kružnom (prioritetnom) toku saobraćaj veoma intenzivan zbog čega nije moguće da dva vozila iz reda čekanja izvedu uzastopne manevre uključjenja u kružni (prioritetni) saobraćajni tok.

5. Prikaz rezultata istraživanja

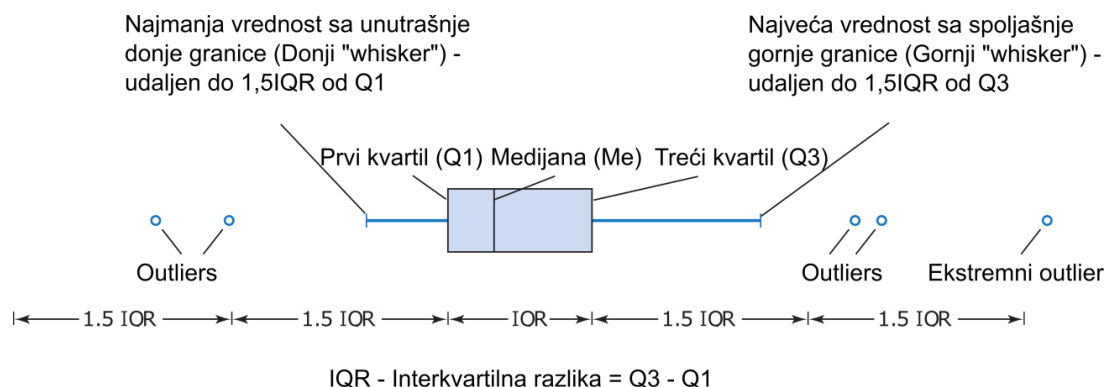
U matematičkoj statistici *Box plot* se prikazuje crtanjem pravougaonika, pomoću medijane, prvog kvartila, trećeg kvartila, najmanje i najveće vrednosti u seriji podataka između donje i gornje unutrašnje granice (Mann, 2009). Vrednosti koje se nalaze izvan dve unutrašnje granice se nazivaju *outliers*. Mogu se podeliti na umerene i ekstremne.

Vrednost *outlier* je vrednost koju uzima slučajna promenljiva, pri čemu je navedena vrednost neuobičajeno manja ili veća od drugih posmatranih vrednosti. Generalno se razlikuju dva tipa *outlier*-a. *Outlier* može da se odnosi na grešku pri čitanju, grešku pri merenju, grešku pri unosu ili na specijalan događaj koji ometa posmatrani fenomen do te mere da je neuporediv sa drugim vrednostima. U tim slučajevima, ukoliko je moguće, pristupa se ili ispravljanju greške ili uklanjanju vrednosti iz uzorka kako bi se izbeglo ometanje planirane analize (deskriptivna analiza, modeliranje, predviđanje i sl.). Sa druge strane *outlier* može da nastane i zbog netipičnog događaja, koji je pored toga za analizu poznat ili interesantan (XLSTAT, 2014).

Dve unutrašnje i dve spoljašnje granice koje su prisutne kod *Box-plota* su:

- donja unutrašnja granica – $1,5 \times IQR$ (interkvartilni razmak) ispod prvog kvartila,
- gornja unutrašnja granica – $1,5 \times IQR$ (interkvartilni razmak) iznad trećeg kvartila.
- donja spoljašnja granica – $3,0 \times IQR$ (interkvartilni razmak) ispod prvog kvartila i
- gornja spoljašnja granica – $3,0 \times IQR$ (interkvartilni razmak) iznad trećeg kvartila.

Pod pojmom *umereni outlier* podrazumeva se vrednost izvan bilo koje od dve unutrašnje granice, ali unutar bilo koje od dve spoljašnje granice. Sa druge strane, *ekstremni outlier* jeste vrednost koja se nalazi izvan bilo koje od dve spoljašnje granice.



Slika 5.1. Opis vrednosti koje se nalaze na grafikonu *Box plot*

*Izvor: Montgomery & Runge (2010), str. 207

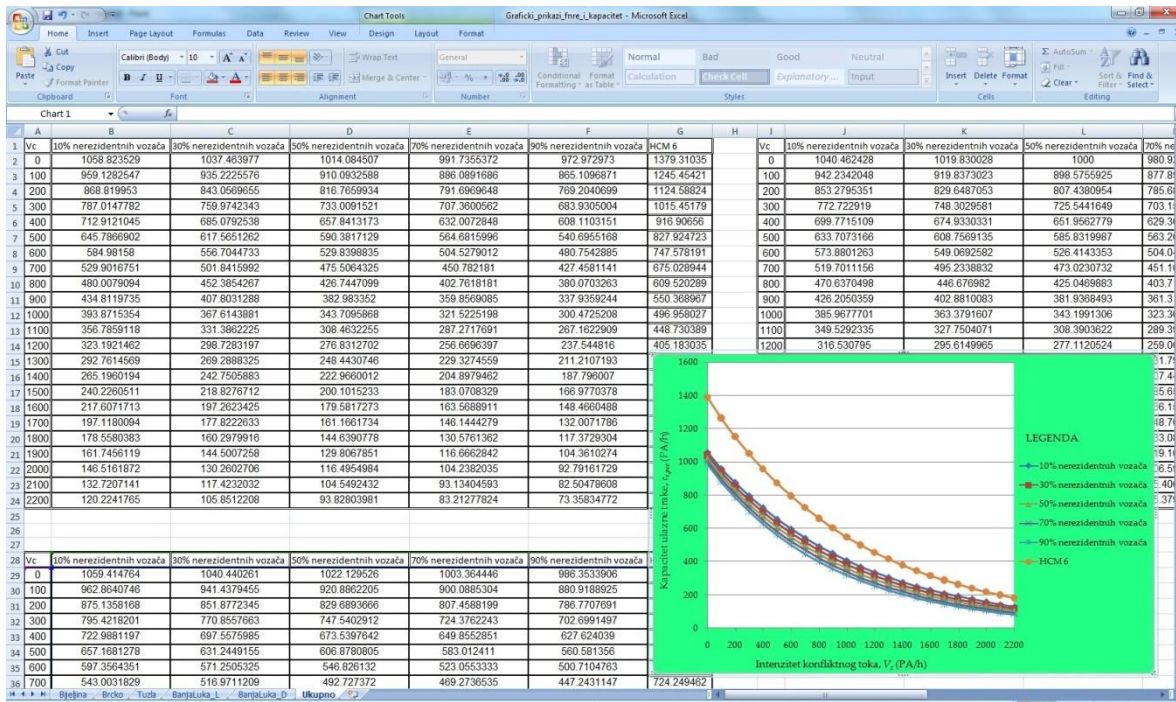
Odluka o tome da li da se odbaci ili da se ne odbaci postavljena hipoteza protiv neke alternativne hipoteze, u statističkom zaključivanju vrši se na osnovu *p*-vrednosti (engl. *p-value*). Ukoliko je *p*-vrednost veća od postavljenog praga značajnosti (α), nulta (postavljena) hipoteza se ne odbacuje, a ukoliko je *p*-vrednost manja od postavljenog praga značajnosti (α), nulta (postavljena) hipoteza se odbacuje (Mann, 2009).

U programu *Microsoft Office Excel 2016* formirana je baza podataka u zavisnosti od posmatrane kružne raskrsnice, zasebno za kritične intervale sleđenja i vremena sleđenja. Svaka kružna raskrsnica je analizirana na način da bi se omogućilo dobijanje vrednosti parametara t_c i t_f u realnom saobraćajnom toku, a u zavisnosti od vrste vozača (rezidentni i nerezidentni vozači) (Slika 5.2).

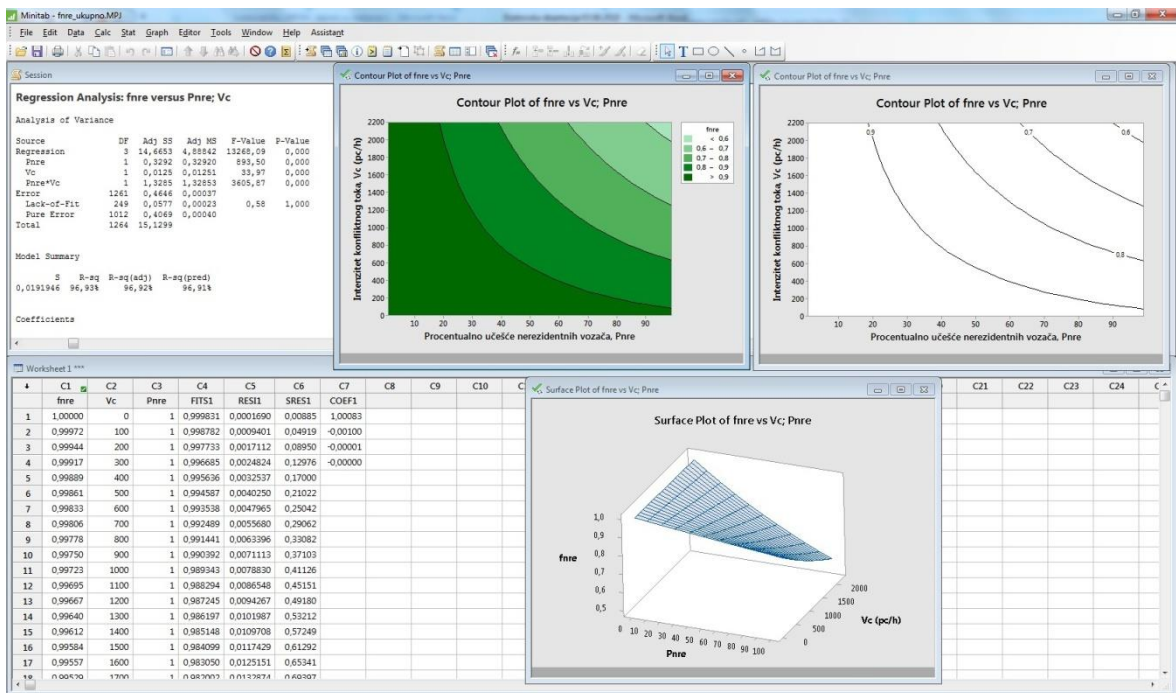
Kritični interval sleđenja, t_c (s)						Vreme sleđenja, t_f (s)					
Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I	Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I	Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I	Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I	Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I	Banja Luka_re_D	Banja Luka_re_I
5.020	7.020	5.020	4.632	5.720	4.632	5.269	3.094	5.269	2.927	2.990	2.927
3.420	6.757	3.420	3.880	5.216	3.880	4.068	4.752	4.068	3.012	2.943	3.012
4.295	6.584	4.295	3.480	6.483	3.480	3.688	3.611	3.688	3.154	3.489	3.154
3.884	6.161	3.884	2.820	6.903	2.820	3.620	2.853	3.620	2.331	3.456	2.331
6.332	6.839	6.332	5.533	5.482	5.533	2.705	4.208	2.705	2.983	4.017	2.983
5.021	6.320	5.021	4.258	6.284	4.258	3.257	4.842	3.257	3.795	3.878	3.795
5.345	7.321	5.345	5.580	4.825	5.580	3.377	3.652	3.377	3.709	3.321	3.709
4.721	6.039	4.721	3.914	4.941	3.914	2.738	3.641	2.738	3.048	3.623	3.048
6.221	4.100	6.221	4.359	5.751	4.359	3.411	3.082	3.411	2.940	2.664	2.940
6.500	5.224	6.500	5.238	5.922	5.238	3.724	4.912	3.724	2.976	3.763	2.976
3.975	4.918	3.975	4.840	5.676	4.840	3.087	3.493	3.087	3.049	3.598	3.049
3.669	6.042	3.669	4.584	5.933	4.584	4.985	3.224	4.985	2.331	3.532	2.331
4.058	6.654	4.058	4.280	6.224	4.280	3.162	3.849	3.162	2.960	4.179	2.960
5.721	5.075	5.721	3.340	5.587	3.340	3.192	3.456	3.192	2.808	3.244	2.808
6.140	4.950	6.140	6.401	5.464	6.401	2.860	3.423	2.860	2.737	3.843	2.737
6.738	5.507	6.738	4.341	5.808	4.341	3.074	4.126	3.074	3.888	3.156	3.888
5.341	5.610	5.341	4.000	5.247	4.000	4.773	3.628	4.773	3.134	4.382	3.134
4.533	4.720	4.533	3.420	5.518	3.420	3.766	3.964	3.766	3.656	3.225	3.656
4.730	5.118	4.730	3.344	5.922	3.344	2.547	3.567	2.547	3.241	3.517	3.241
3.920	6.800	3.920	4.480	5.139	4.480	3.265	4.377	3.265	3.287	3.287	3.287
4.940	6.572	4.940	3.105	6.506	3.105	5.086	4.013	5.086	2.757	2.757	2.757
6.201	6.159	6.201	5.878	5.530	5.878	2.536	3.418	2.536	2.291	2.291	2.291
4.020	5.980	4.020	5.050	5.731	5.050	3.362	4.144	3.362	2.935	2.935	2.935
4.340	5.560	4.340	7.420		7.420	4.519	3.207	4.519	3.405	3.405	3.405
5.918	6.057	5.918	6.111		6.111	3.582	3.259	3.582	2.934	2.934	2.934
3.521	5.400	3.521	4.164		4.164	3.022	3.850	3.022	4.059	4.059	4.059
3.640	4.380	3.640	5.231		5.231	3.933	3.556	3.933	3.086	3.086	3.086
4.935	4.421	4.935	3.613		3.613	4.052	3.307	4.052	3.451	3.451	3.451
4.816	6.315	4.816	6.040		6.040	3.569	3.732	3.569	3.425	3.425	3.425
4.589	5.814	4.589	4.727		4.727	2.590		2.590	4.260	4.260	4.260
3.507		3.507	6.167		6.167	4.276		4.276	2.308	2.308	2.308
3.302		3.302	5.718		5.718	3.432		3.432	3.688	3.688	3.688
5.061		5.061	3.440		3.440	3.107		3.107	3.351	3.351	3.351
7.059		7.059	5.012		5.012	3.890		3.890	2.812	2.812	2.812
3.475		3.475	4.960		4.960	3.199		3.199	2.715	2.715	2.715

Slika 5.2. Prikaz izmerenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja u programu *Microsoft Office Excel 2016*

Vrednosti kritičnih intervala sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f), evedentirane na prethodno opisan način, statistički su obrađivane u softveru *Minitab 18.1.0.*, uz poštovanje svih kriterijuma statističke analize. Parametri t_c i t_f se nezavisno statistički obrađuju prema mestu istraživanja (lokacije kružne raskrsnice) i vrste vozača (rezidentni i nerezidentni vozači) (Slike 5.3 i 5.4).



Slika 5.3. Prikaz statističke obrade podataka u programu Minitab 18.1.0.



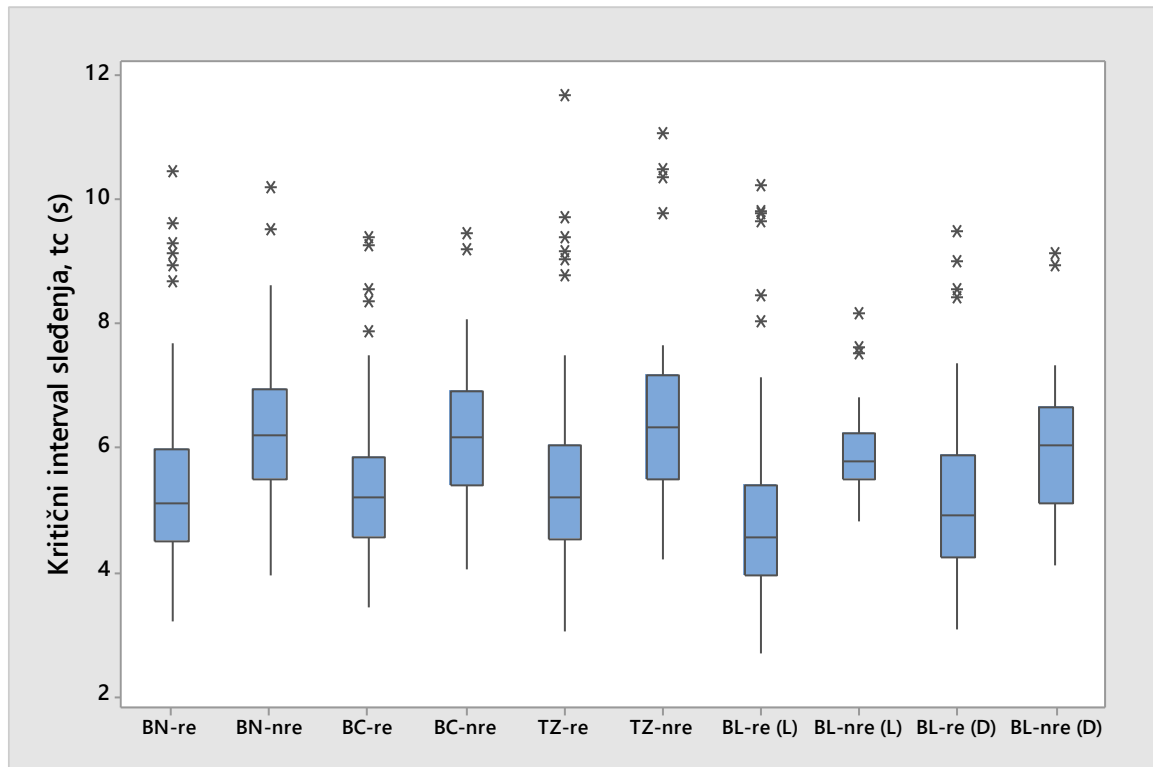
Slika 5.4. Definisanje modela primenom programa Minitab 18.1.0.

Vrednosti t_c i t_f se prvobitno obrađuju pomoću grafika *Box Plot*, čime se dobija grafički prikaz podataka sa prikazanim vrednostima medijane, prvog i trećeg kvartila, minimalne i maksimalne vrednosti analiziranih podataka. Neobičajene ekstremne vrednosti – (engl. *outliers*) su prema statističkim preporukama isključene iz dalje analize (Montgomery & Runge, 2010).

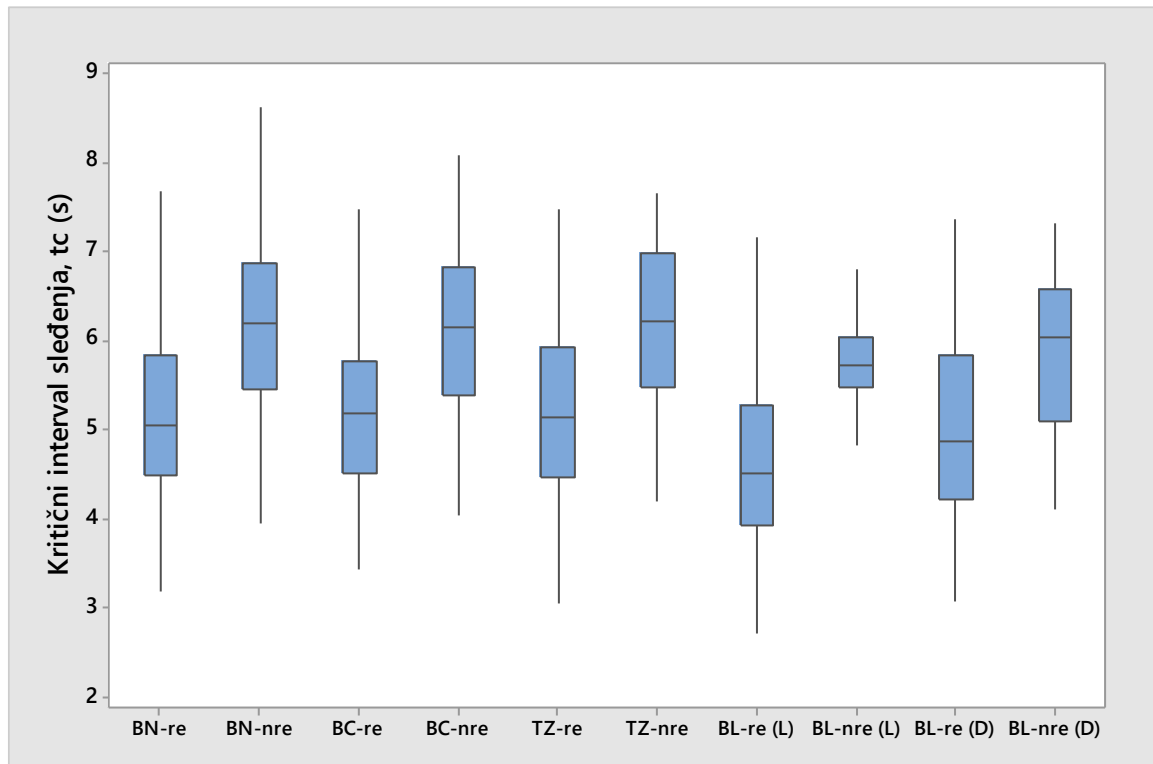
Putem *Box plot-ova* ukupan prikupljeni uzorak je obrađen zasebno za sledeće posmatrane kružne raskrsnice i grupe vozača (*Slike 5.5 - 5.8*), i to za:

- BN-re – rezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Bijeljini,
- BN-nre – nerezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Bijeljini,
- BC-re – rezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Brčkom,
- BC-nre – nerezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Brčkom,
- TZ-re – rezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Tuzli,
- TZ-nre – nerezidentni vozači na kružnoj raskrsnici u Tuzli,
- BL-re (L) – rezidentni vozači u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u Banja Luci,
- BL-nre (L) – nerezidentni vozači u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u Banja Luci,
- BL-re (D) – rezidentni vozači u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u Banja Luci i
- BL-nre (D) – nerezidentni vozači u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u Banja Luci.

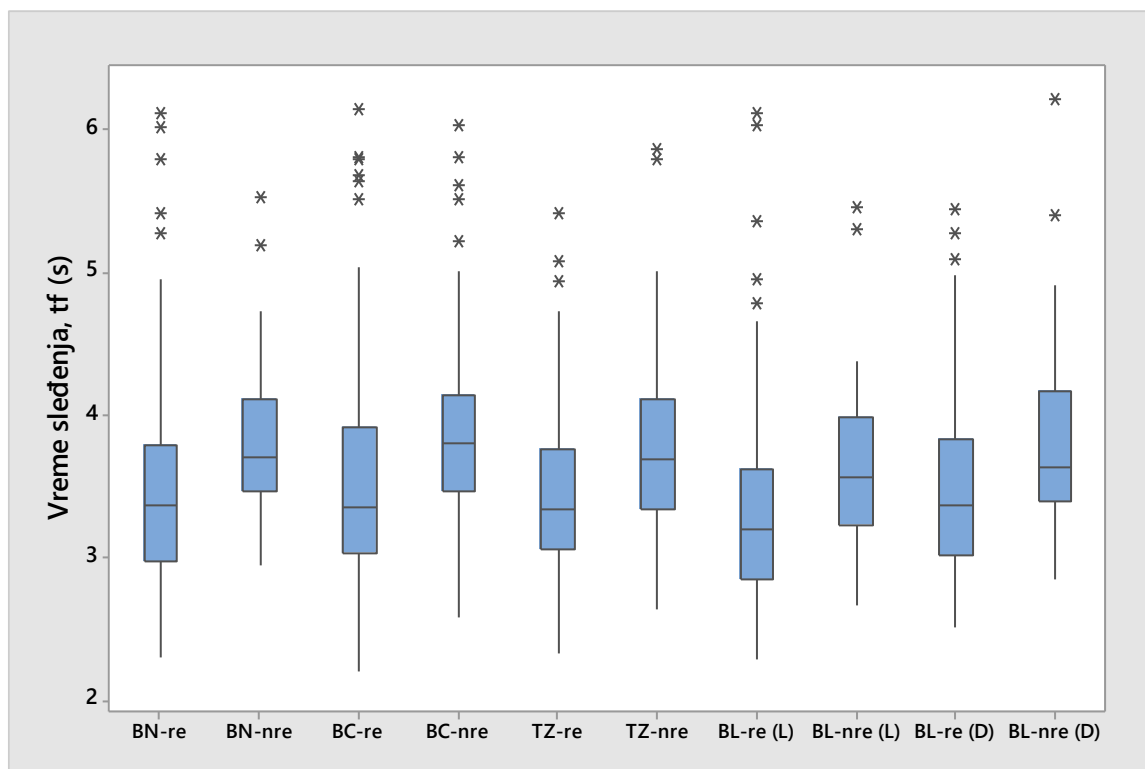
U okviru svih prikazanih grafika, rezultati su dati zasebno za kritične intervale sleđenja - t_c (*Slike 5.5 i 5.6*) i vremena sleđenja – t_f (*Slike 5.7 i 5.8*) i to za svaku posmatranu kružnu raskrsnicu i grupe vozača (rezidentni i nerezidentni). Sastavni deo svakog grafika jeste po deset *Box Plot-ova*, i to zasebni *Box Plot-ovi* za rezidentne i nerezidentne vozače po posmatranim kružnim raskrsnicama. *Outliers* označeni sa * u *Slikama 5.5 i 5.7* su isključeni iz dalje analize, nakon čega se preostale vrednosti dalje obrađuju i analiziraju (*Slike 5.6 i 5.8*). Predstavljene *Box Plot-ovi* pokazuju da su vrednosti simetrično raspoređene u odnosu na medijanu. U svim prikazanim *Box Plot-ovima* (*Slike 5.5 - 5.8*), posmatrajući prve i treće kvartile, kao i interkvartilne razmake, zaključuje se da vrednosti parametara kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja nisu mnogo razučene, što predstavlja dobru osnovu za izvođenje zaključaka. Takođe, treba istaći da *Box Plot* dijagrami pokazuju da su, za posmatrane kružne raskrsnice, vrednosti napred navedenih parametara prilično ujednačene za rezidentne vozače sa jedne strane, a sa druge strane za nerezidentne vozače ([Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019](#)).



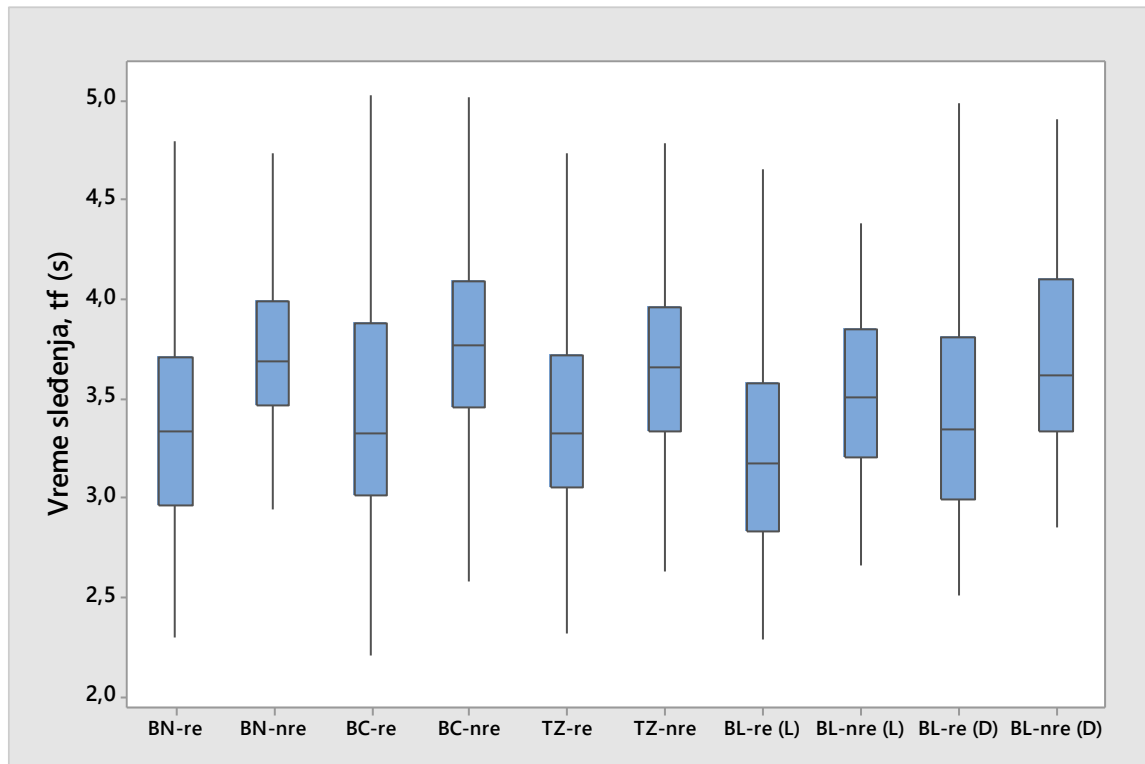
Slika 5.5. Box plot dijagrami parametra t_c posmatranih kružnih raskrsnica, sa outliers
 *Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.



Slika 5.6. Box plot dijagrami parametra t_c posmatranih kružnih raskrsnica, bez outliers
 *Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.



Slika 5.7. Box plot dijagrami parametra t_f posmatranih kružnih raskrsnica, sa outliers
 *Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.



Slika 5.8. Box plot dijagrami parametra t_f posmatranih kružnih raskrsnica, bez outliers
 *Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.

U *Tabelama 5.1 i 5.2*, nakon isključivanja evidentiranih *outlier*-a, date su deskriptivne mere parametara t_c i t_f koje su korištene za dobijanje modela. Zavisno od posmatrane kružne raskrsnice i vrste vozača (rezidentni–re, nerezidentni-nre), za parametre t_c i t_f prikazane su sledeće deskriptivne mere: veličina uzorka (engl. Count), aritmetička sredina (engl. Mean), standardna devijacija uzorka (engl. StDev), najmanja vrednost (engl. Min – Minimum), najveća vrednost (engl. Max – Maximum), vrednosti prvog kvartila (Q_1), trećeg kvartila (Q_3) i medijane (Median), kao i *p*-vrednosti slaganja parametara t_c i t_f sa lognormalnom raspodelom (u *Tabelama 5.1 i 5.2* označeno kao: *p* za Ln).

Na osnovu snimanja realnog saobraćajnog toka na predmetnim kružnim raskrsnicama, rezultati parametara t_c i t_f ukazuju da se ne može odbaciti hipoteza o slaganju sa lognormalnom raspodelom za sve posmatrane kružne raskrsnice, što je u skladu sa preporukama raznih istraživačkih studija (Brilon, Koenig, & Troutbeck, 1999), (Hagring, 2000).

Tabela 5.1. Deskriptivne mere parametra t_c , na posmatranim kružnim raskrsnicama

Lokacija	Vrsta vozača	Count	Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za Ln
BN	re	141	5,161	0,982	3,191	4,490	5,054	5,828	7,679	0,456
	nre	46	6,182	0,991	3,940	5,455	6,187	6,870	8,624	0,917
	Σ	187	5,412	1,076	3,191	4,696	5,308	6,200	8,624	0,421
BC	re	188	5,209	0,888	3,424	4,513	5,193	5,780	7,485	0,329
	nre	47	6,096	0,920	4,039	5,389	6,144	6,835	8,087	0,360
	Σ	235	5,386	0,961	3,424	4,639	5,340	6,040	8,087	0,173
TZ	re	171	5,222	0,971	3,060	4,459	5,139	5,920	7,482	0,457
	nre	36	6,144	0,914	4,202	5,469	6,215	6,979	7,662	0,543
	Σ	207	5,390	1,021	3,060	4,643	5,320	6,080	7,662	0,202
BL	re (L)	166	4,629	0,999	2,702	3,932	4,511	5,286	7,156	0,898
	re (D)	158	5,030	1,062	3,065	4,230	4,873	5,841	7,358	0,270
	nre (L)	29	5,729	0,489	4,825	5,473	5,720	6,033	6,803	0,852
	nre (D)	29	5,814	0,863	4,100	5,097	6,039	6,578	7,321	0,244
	Σ (L)	195	4,792	1,019	2,702	3,989	4,752	5,530	7,156	0,076
	Σ (D)	187	5,152	1,070	3,065	4,360	5,021	6,039	7,358	0,059

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). *The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability*, 11(14), 3896.

Tabela 5.2. Deskriptivne mere parametra t_f na posmatranim kružnim raskrsnicama

Lokacija	Vrsta vozača	Veličina uzorka	Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za Ln
BN	re	229	3,356	0,552	2,296	2,959	3,332	3,705	4,796	0,186
	nre	60	3,739	0,428	2,946	3,467	3,687	3,985	4,731	0,442
	Σ	289	3,435	0,551	2,296	3,055	3,434	3,786	4,796	0,072
BC	re	282	3,435	0,597	2,203	3,015	3,329	3,875	5,030	0,115
	nre	84	3,768	0,472	2,579	3,459	3,768	4,090	5,014	0,891
	Σ	366	3,511	0,587	2,203	3,073	3,495	3,934	5,030	0,110
TZ	re	157	3,392	0,506	2,321	3,048	3,327	3,722	4,732	0,425
	nre	36	3,659	0,497	2,632	3,332	3,661	3,964	4,791	0,892
	Σ	193	3,442	0,514	2,321	3,086	3,391	3,818	4,791	0,664
BL	re (L)	90	3,223	0,518	2,291	2,829	3,172	3,578	4,655	0,964
	re (D)	101	3,444	0,593	2,507	2,990	3,345	3,804	4,987	0,403
	nre (L)	18	3,517	0,448	2,664	3,208	3,511	3,852	4,382	0,996
	nre (D)	28	3,732	0,536	2,853	3,335	3,620	4,098	4,912	0,507
	Σ (L)	108	3,272	0,517	2,291	2,934	3,224	3,597	4,655	0,910
	Σ (D)	129	3,507	0,591	2,507	3,079	3,418	3,849	4,987	0,639

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). *The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity*. *Sustainability*, 11(14), 3896.

Rezultati analize su dati za homogen saobraćajni tok sastavljen isključivo od putničkih automobila, pri čemu su posmatrane dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni). Shodno tome, na osnovu ulaznih parametara t_c i t_f , dobijenih snimanjem realnog saobraćajnog toka, moguće je odrediti kapacitet kružnih raskrsnica u zavisnosti od posmatrane grupe vozača, za homogen saobraćajni tok sastavljen od putničkih automobila. Za potrebe izbora kružnih raskrsnica, u preliminarnom istraživanju utvrđeno je da na njima nema znatnog učešća teretnih vozila i pešaka. Ukoliko bi se takva vozila (pešaci) ipak pojavila u saobraćajnom toku, veličine istraživanih parametara nisu merene dok vozila (pešaci) ne napuste raskrsnicu. Time je produženo vreme istraživanja, ali je isključen uticaj teretnih vozila i pešaka na vrednosti istraživanih parametara.

Kako predmet istraživanja nije bio uticaj pešaka i teretnih vozila na kapacitet kružnih raskrsnica, u svim proračunima za oba faktora (f_{ped} , $f_{HV,e}$) uzeta je vrednost 1,00 ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)).

Kapacitet kružnih raskrsnica dobijen merenjem parametara t_c i t_f , isključivo u trenucima vladanja uslova homogenog saobraćajnog toka sastavljenog od putničkih automobila, se izražava u jedinicama putnički automobili po času (PA/h). Vrednosti kapaciteta dobijene na ovakav način, prema *HCM 6* ([Highway Capacity Manual Edition 6, 2016](#)) mogu se modifikovati:

- faktorom učešća teretnih vozila (f_{HV}), čime se vrednost kapaciteta dobija u jedinicama vozilo po času (voz/h) i
- faktorom učešća pešaka (f_{ped}).

Tabela 5.3. Izmerene srednje vrednosti parametra kritični interval sleđenja (t_c)

Lokacija	HCM 2010 (s)	HCM 6 (s)	n_e i n_c	Lokalna merenja (s)				P_{nre}
				Ukupno	Rezidentni vozači	Nerezidentni vozači	Razlika	
BN	5,19	4,98	$n_c=n_e=1$	5,41	5,16	6,18	1,02	24,61
BC	5,19	4,98	$n_c=n_e=1$	5,39	5,21	6,10	0,89	20,25
TZ	4,11	4,33	$n_c=2, n_e=1$	5,39	5,22	6,14	0,92	18,43
BL	4,11(D)	4,33(D)	$n_c=2, n_e=2$	5,15(D)	5,03(D)	5,81(D)	0,78(D)	16,06(D)
	4,29(L)	4,65(L)		4,79(L)	4,63(L)	5,73(L)	1,10(L)	15,69(L)

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.

Tabela 5.4. Izmerene srednje vrednosti parametra vreme sleđenja (t_f)

Lokacija	HCM 2010 (s)	HCM 6 (s)	n_e i n_c	Lokalna merenja (s)				P_{nre}
				Ukupno	Rezidentni vozači	Nerezidentni vozači	Razlika	
BN	3,19	2,61	$n_c=n_e=1$	3,43	3,36	3,74	0,38	20,73
BC	3,19	2,61	$n_c=n_e=1$	3,51	3,43	3,77	0,34	23,61
TZ	3,19	2,54	$n_c=2, n_e=1$	3,44	3,39	3,66	0,27	19,60
BL	3,19(D)	2,54(D)	$n_c=2, n_e=2$	3,51(D)	3,44(D)	3,73(D)	0,29(D)	22,39(D)
	3,19(L)	2,67(L)		3,27(L)	3,22(L)	3,52(L)	0,30(L)	17,39(L)

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.

Vrednosti kritičnih intervala sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f), dobijenih sprovedenim istraživanjama (Tabele 5.3 i 5.4), odstupaju od preporučenih vrednosti datih u HCM 2010 i HCM 6, što ukazuje na zaključak da je korisno vršiti lokalna merenja. U odnosu na preporučene vrednosti date u HCM 6 (Highway Capacity Manual Edition 6, 2016), najveća odstupanja kod parametra t_c jesu kod kružne raskrsnice u Tuzli, dok su kod parametra t_f najveća odstupanja zabeležena u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u Banja Luci.

Shodno rezultatima dobijenih vrednosti parametara t_c i t_f , može se zaključiti da nerezidentni vozači koriste veće vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za izvođenje manevara uključenja u kružni saobraćajni tok. Nerezidentni vozači usled nepoznavanja uslova lokalne sredine su obazriviji i oprezniji, tako da im je potrebno više vremena za donošenje odluke i vršenje sporednog manevara u odnosu na rezidentne vozače. Kao rezultat takvog ponašanje nerezidentnih vozača jesu veće iskorištene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, što direktno utiče na smanjenje kapaciteta na ulazima u kružni tok, odnosno na smanjenje kapaciteta cele kružne raskrsnice.

Sa druge strane, rezidentni vozači, usled poznavanja lokalnih saobraćajnih uslova i svakodnevnog korištenja datih kružnih raskrsnica, brže i eksplozivnije reaguju, odnosno koriste manje vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena

sleđenja prilikom izvođenja sporednog manevra uključanja u kružni saobraćajni tok, što za posledicu daje povećanje kapaciteta na ulazima u kružni tok, a samim tim i povećanje kapaciteta cele kružne raskrsnice.

Kako je prikazano u *Tabeli 5.3*, najveća razlika između izmerenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače iznosi 1,10 (s), a zabeležena je u levoj ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice u gradu Banja Luka, dok je najmanja razlika od 0,78 (s) zabeležena takođe u Banja Luci ali u desnoj ulaznoj saobraćajnoj traci. Razlike između izmerenih vrednosti vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače je približno ujednačena za sve posmatrane kružne raskrsnice, i iznosi oko 0,3 (s), uz određena odstupanja zavisno od mernog mesta (*Tabela 5.4*). Prema napred prikazanim rezultatima, evidentno je da nerezidentni vozači koriste veće kritične intervale sleđenja i vremena sleđenja prilikom izvođenja sporednog manevra uključanja u kružni saobraćajni tok, a usled uticaja ponašanja, navika, običaja i drugačije zakonske regulative.

Potvrđeno je da poznavanje lokalnih uslova utiče na prihvaćene vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, odnosno na različito prihvatanje ovih parametara od strane posmatranih grupa vozača (rezidentni i nerezidentni). Rezultati istraživanja pokazuju da su razlike između vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače približno jednake za sve posmatrane kružne raskrsnice (*Tabele 5.3 i 5.4*), što je dobar preduslov za definisanje modela kojim bi se obuhvatili svi tipovi posmatranih kružnih raskrsnica.

6. Definisanje i testiranje modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica

Polazna osnova za formiranje matematičkog modela za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica, jeste baza podataka koja sadrži osnovne karakteristike odabranih lokacija (geometrija kružnih raskrsnica, GPS koordinate, period u kome je vršeno istraživanje, broj stanovnika po gradovima gde su kružne raskrsnice locirane, ukupan broj izmerenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja i dr.), a sve kako je prikazano u poglavljima 4. *Definisanje područja i metodologije istraživanja* i 5. *Prikaz rezultata istraživanja*.

Na svim snimljenim lokacijama evidentirano je ukupno 31053 vozila, pri čemu je:

- ukupan broj vozila na posmatranim ulaznim tokovima (v_e) iznosio 12573, od čega je procenat putničkih automobila bio 87,05% i
- ukupan broj vozila u toku u kruženju (konfliktnom toku – v_c) iznosio 18480, od čega je procenat putničkih automobila 86,74%.

Kako je detaljno objašnjeno u poglavljju 4. *Definisanje područja i metodologije istraživanja*, radi dobijanja modela koji bi omogućio primenu u realnim uslovima, merenja kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja su vršena isključivo u situacijama kada su vladali uslovi homogenog saobraćajnog toka sastavljenog isključivo od putničkih automobila. Ukoliko ovaj uslov nije bio ispunjen nisu se evidentirale vrednosti parametara t_c i t_f .

Na svim lokacijama mereni su kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja za dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidenti) prilikom izvođenja sporednog manevra uključanja iz ulaznog (sporednog) toka u kružni (prioritetni) saobraćajni tok.

Da bi se razvio model potrebno je primeniti statističke tehnike regresije za određivanje jednačine koja na najefikasniji način opisuje promene između zavisne promenljive i nezavisnih promenljivih, odnosno potrebno je izabrati jednačinu koja razliku između realnih (empirijskih) i modelskih vrednosti dovodi na minimum.

6.1. Teorijske postavke modela

Za izradu modela utvrđivanja uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica pretpostavljeno je da postoji linearna veza između jedne zavisne i dve nezavisne promenljive. Na osnovu izmerenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, kako bi se mogao proceniti kapacitet kružnih raskrsnica u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih

vozača u saobraćajnom toku, za određivanje modela korišćena je višestruka linearna regresija (Montgomery & Runge, 2010).

U ovom postupku polazi se od pretpostavke da postoji linearna veza između zavisne promenljive Y (faktor učešća nerezidentnih vozača – f_{nre}) i dve nezavisne promenljive x_1 i x_2 (procentualno učešće nerezidentnih vozača – P_{nre} i intenzitet konfliktnog toka – v_c). Kako se radi o višestrukoj linearnoj regresiji, cilj je da se na osnovu modela izvrši predviđanje varijacija zavisne promenljive – faktora učešća nerezidentnih vozača (f_{nre}) za različite kombinacije vrednosti dve nezavisne promenljive – procentualnog učešća nerezidentnih vozača i intenziteta konfliktnog toka.

Shodno istraživanju datom u radu (Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019), u opštem slučaju, zavisna promenljiva Y može biti povezana sa k nezavisnih promenljivih. U sledećoj jednačini (6.1), dat je model za višestruku linearnu regresiju sa k nezavisnih promenljivih:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (6.1)$$

Parametri $\beta_j, j=0,1,\dots,k$, se nazivaju regresioni koeficijenti. Modeli (6.2) koji su kompleksniji u strukturi od modela iz jednačine (6.1), mogu se i dalje analizirati putem tehnika višestruke linearne regresije, preko odgovarajuće smene (6.3).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon \quad (6.2)$$

Ako se uvede smena (6.3):

$$x_1 = x, \quad x_2 = x^2, \quad x_3 = x^3 \quad (6.3)$$

Onda jednačina (6.2), može biti napisana kao jednačina (6.4):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (6.4)$$

Modeli, kod kojih postoji uzajamno dejstvo (engl. *interaction*) nezavisnih promenljivih, mogu takođe da budu analizirani metodama višestruke linearne regresije. Uzajamno dejstvo između dve promenljive se predstavlja njihovim međusobnim proizvodom i odgovarajućim regresionim koeficijentom (6.5).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon \quad (6.5)$$

Ako se uvedu smene (6.6):

$$x_3 = x_1 x_2 \quad i \quad \beta_3 = \beta_{12} \quad (6.6)$$

Onda se jednačina (6.5) zapisuje u obliku jednačine (6.7), koja se može rešiti preko višestruke linearne regresije:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon \quad (6.7)$$

Pomoću softvera *Minitab 18.1.0.*, koristeći višestruku linearnu regresiju, može se dobiti relacija za proračun faktora učešća nerezidentnih vozača (f_{nre}) koji utiče

na kapacitet ulazne saobraćajne trake kružnih raskrsnica. Pošto se radi o višestrukoj linearnoj regresiji, koristiće se sledeći obrazac (6.8):

$$Y_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{P_{nre,i}} + \beta_2 \cdot x_{V_{c,j}} + \beta_3 \cdot x_{P_{nre,i}} \cdot x_{V_{c,j}} \quad (6.8)$$

U ovom modelu $Y_{i,j}$ je zavisna promenljiva, $x_{P_{nre,i}}$ i $x_{V_{c,j}}$ su zavisne promenljive, dok su β_0 , β_1 , β_2 , i β_3 nepoznati parametri ili regresijski koeficijenti.

Korišćenje jednačine (6.8) predstavljaće osnovu za dobijanje modela kojim će se definisati uticaj nerezidentnih vozača na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica.

Nakon ocene parametara regresijskog modela, postavlja se pitanje reprezentativnosti, odnosno sposobnosti modela da objasni kretanje zavisne promenljive $Y_{i,j}$ uz pomoć odabranih nezavisnih promenljivih ($x_{P_{nre,i}}$ i $x_{V_{c,j}}$). U tu svrhu koriste se pokazatelji koji se temelje na raspodeli odstupanja vrednosti zavisne promenljive $Y_{i,j}$ u regresijskom modelu od njene aritmetičke sredine i njenih očekivanih vrednosti. Ocena valjanosti modela se zasniva na osnovu rezultata različitih testova (t -test, koeficijent determinacije (R -Sq), koeficijent korelacije (r), standardna greška (S) i dr.).

T -test služi za ocenu statističke valjanosti pojedinih promenljivih. Vrednost t -testa regresionih koeficijenata koje su veće od tabličnih vrednosti pokazuju da određena nezavisno promenljiva ima značaja u regresionoj jednačini.

Koeficijent determinacije R -Sq je pokazatelj reprezentativnosti regresijskog modela, koji se temelji na analizi varijanse. Daje informaciju o tome koliko je jaka funkcija između zavisne i nezavisnih promenljivih. Koeficijent determinacije ima vrednosti u intervalu $0 \leq (R\text{-Sq}) \leq 1$, a dobija se kvadriranjem koeficijenta korelacije (r). Promatrani model je reprezentativniji što je koeficijent determinacije bliže jedinici. Može se izražavati u procentima i pokazuje koliki deo varijacija zavisne promenljive je objašnjen višestrukim regresionim modelom. Ukoliko se koeficijent determinacije nalazi u granicama od 90% do 100%, onda model daje statistički jake rezultate. Treba istaći da se u analizi često izračunava i prikazuje korigovani koeficijent determinacije R -Sq(adj), koji se koristi kao jedan od mogućih kriterijuma za izbor modela višestruke linearne regresije.

Standardna greška ili standardna devijacija regresije (S) – procena varijanse σ^2 jeste pokazatelj reprezentativnosti regresijskog modela, koji pokazuje prosečni stepen varijacije stvarnih vrednosti zavisne promenljive u odnosu na očekivane regresijske vrednosti. Predstavlja meru greške koju treba očekivati u proceni zavisno promenljive iz nezavisno promenljivih u regresijskoj jednačini.

6.2. Formiranje modela u realnom saobraćajnom toku

Kako je prikazano u poglavlju 5. *Prikaz rezultata israživanja*, vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja prilikom izvođenja manevra uključenja u kružni saobraćajni tok, veće su kod nerezidentnih vozača u odnosu na rezidentne vozače. Prilikom definisanja modela bilo je neophodno za faktore f_{ped} i $f_{HV,e}$ uzeti vrednost 1,00, čime je isključen uticaj teretnih vozila i pešaka na kapacitet kružnih raskrsnica. Na taj način ispunjen je preduslov za precizno određivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet kružnih raskrsnica. Shodno dobijenim vrednostima kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, koristeći metodu interpolacije, zavisno od stepena učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku i intenziteta konfliktnog toka (v_c) može se dobiti vrednost kapaciteta ulazne trake, što je osnova za definisanje faktora učešća nerezidentnih vozača (f_{nre}).

Za potrebe formiranja modela, prvobitno je vršena analiza prikupljenih podataka zasebno za svaku posmatranu kružnu raskrsnicu. Na osnovu dobijenih vrednosti parametara t_c i t_f , za rezidentne i nerezidentne vozače, moguće je odrediti kapacitet kružnih raskrsnica u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku. Dobijanje ovih vrednosti omogućilo je određivanje faktora učešća nerezidentnih vozača, a kako je to prikazano u tabelarnom i grafičkom delu koji sledi. Sve posmatrane kružne raskrsnice su prvobitno zasebno analizirane, a rezultati analize su dati u Prilozima disertacije, i to za:

- Kružnu raskrsnicu u Bijeljini (*Prilozi 1-12, 61-63*),
- Kružna raskrsnica u Brčkom (*Prilozi 13-24, 64-66*),
- Kružna raskrsnica u Tuzli (*Prilozi 25-36, 67-69*) i
- Kružna raskrsnica u Banja Luci (*Prilozi 37-60, 70-75*).

Za svaku od navedenih kružnih raskrsnica razmatrani su detaljno kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja po časovima posmatranja, kao i za celokupno vreme snimanja. Takođe, dat je tabelarni i grafički prikaz različitih pokazatelja koji ukazuju na opravdanost istraživanja. Naime, za svaku kružnu raskrsnicu su utvrđene razlike u ponašanju rezidentnih i nerezidentnih vozača, što se ogleda u različitim prihvatanjima vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja. Date su deskriptivne mere vrednosti parametara t_c i t_f za svaku posmatranu kružnu raskrsnicu, te je grafički predstavljeno slaganje navedenih parametara sa lognormalnom raspodelom. Podaci dobijeni analizom varijanse (*Prilozi 61, 64, 67, 70, 73*) pokazuju da su *p-vrednosti* za sve analizirane faktore manje od 0,05, što znači da je pouzdano linearna zavisnost između f_{nre} i P_{nre} , kao i između f_{nre} i v_c . Model višestruke linearne regresije daje izuzetno jake rezultate, pošto se koeficijenti višestruke determinacije (*R-Sq*) kreću u granicama od 90-100 %, zasebno posmatrano za svaku kružnu raskrsnicu ali i za celokupan uzorak (*Prilozi 61, 64, 67, 70, 73 i Tabela 6.1*). Ovi koeficijenti zapravo pokazuju koliki deo varijacija zavisne promenljive je opisan višestrukim regresionim modelom.

Tabela 6.1. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za sve posmatrane kružne raskrsnice

Regression Analysis: fnre versus Pnre; Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	14,6653	4,88842	13268,09	0,000
Pnre	1	0,3292	0,32920	893,50	0,000
Vc	1	0,0125	0,01251	33,97	0,000
Pnre*Vc	1	1,3285	1,32853	3605,87	0,000
Error	1261	0,4646	0,00037		
Lack-of-Fit	249	0,0577	0,00023	0,58	1,000
Pure Error	1012	0,4069	0,00040		
Total	1264	15,1299			

Model Summary

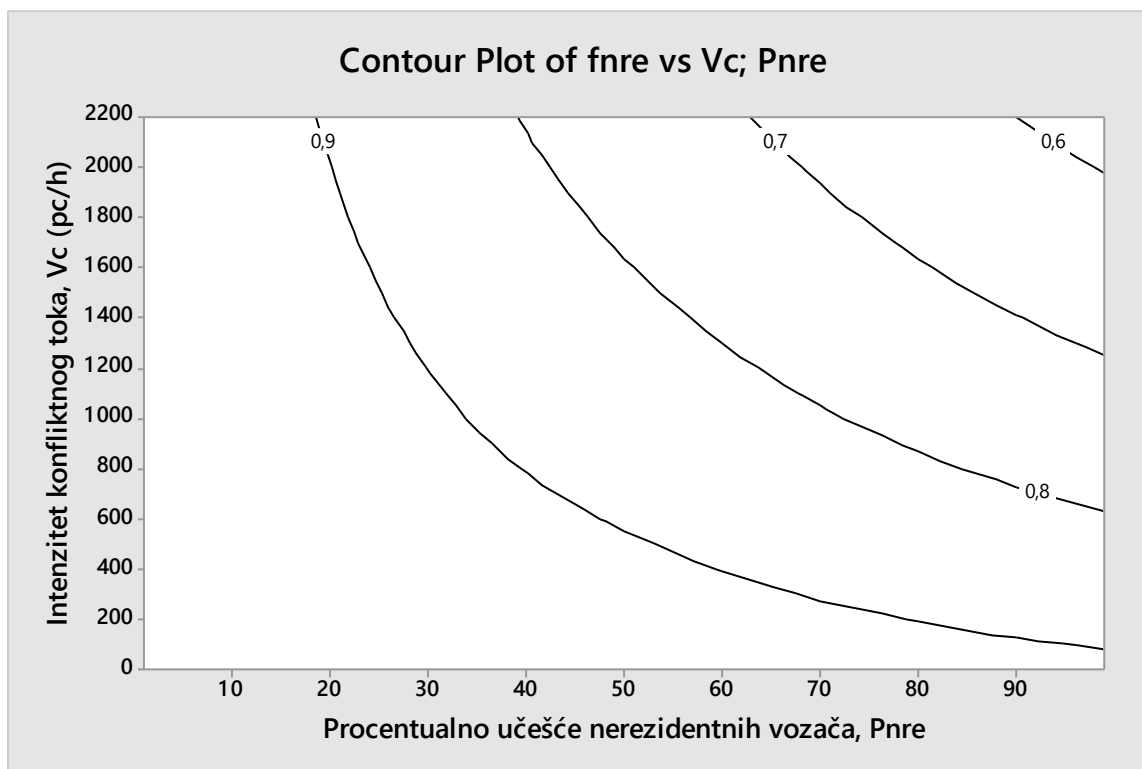
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0191946	96,93%	96,92%	96,91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00083	0,00197	508,57	0,000	
Pnre	-0,000997	0,000033	-29,89	0,000	3,75
Vc	-0,000009	0,000002	-5,83	0,000	3,55
Pnre*Vc	-0,000002	0,000000	-60,05	0,000	6,30

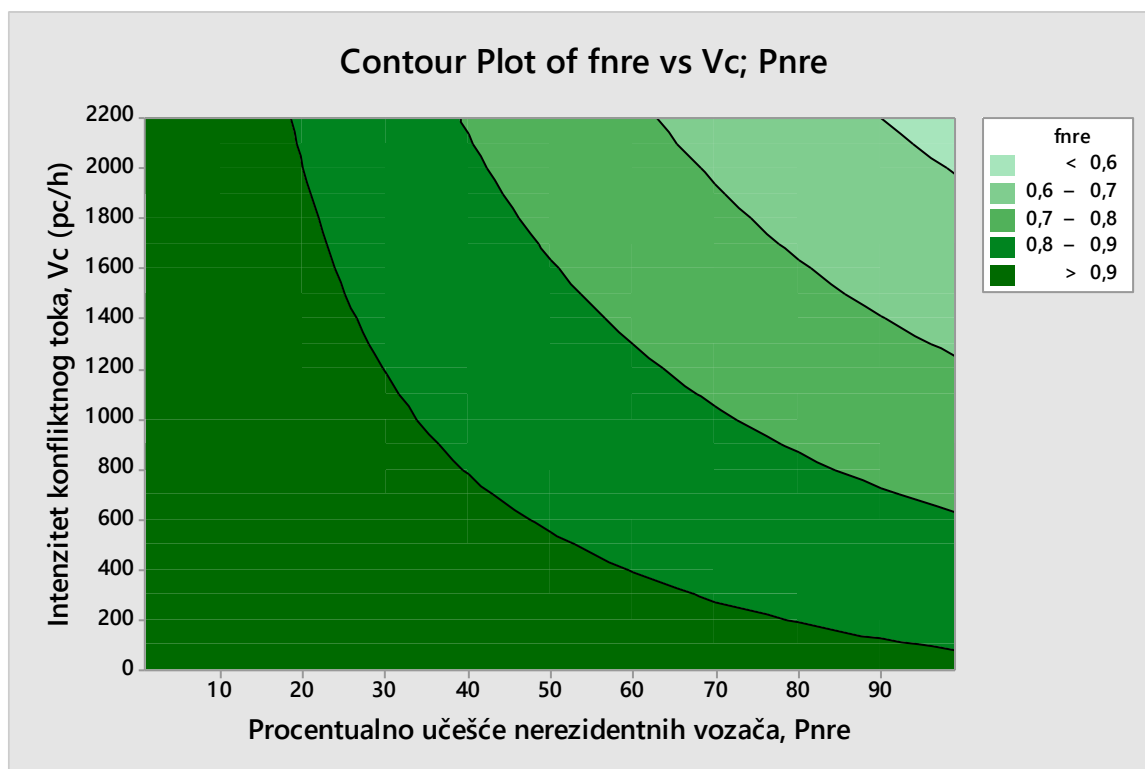
Regression Equation

$$f_{str} = 1,00 - 0,000997 Pnre - 0,000009 Vc - 0,000002 Pnre*Vc$$



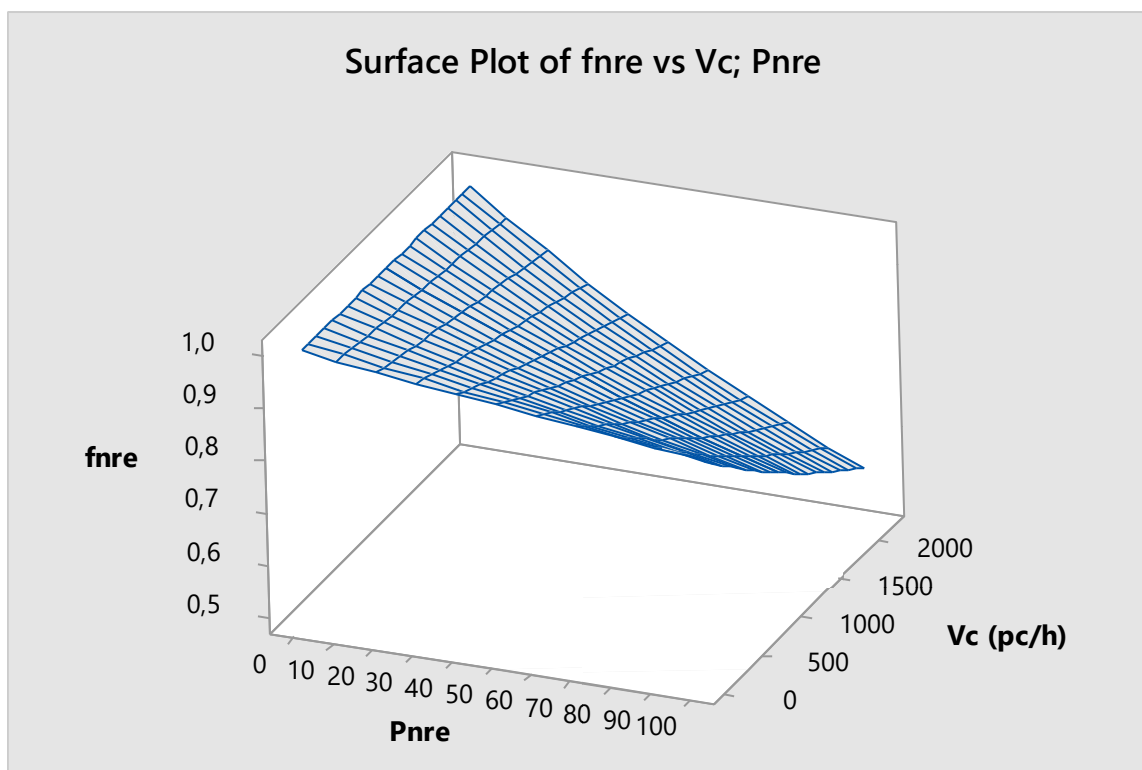
Slika 6.1. Contour Plot za vrednosti parametra f_{nre} – prikaz prvi

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.



Slika 6.2. Contour Plot za vrednosti parametra f_{nre} – prikaz drugi

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.



Slika 6.3. Surface Plot za vrednosti parametra f_{nre}

*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.

Ukupan posmatran uzorak je za potrebe definisanja modela obrađen u programu *Minitab 18.1.0.*, što je tabelarno i grafički prikazano putem *Tabele 6.1* i *Slika 6.1-6.3*. Sagledavajući ovako dobijene rezultate uočljiva je zavisnost između faktora f_{nre} sa jedne strane, te vrednosti parametara P_{nre} i v_c sa druge strane. U skladu sa navedenim prikazima, jasno je da povećanje procenta učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, pri jednakim vrednostima v_c , neposredno utiče na smanjenje vrednosti faktora f_{nre} , što za posledicu ima smanjenje kapaciteta kružne raskrsnice. Sa druge strane, smanjenjem procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (P_{nre}) smanjuje se i uticaj faktora f_{nre} . Faktor f_{nre} će biti jednak jedinici, odnosno neće imati uticaj na kapacitet, u slučaju nepostojanja nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku. Najmanja vrednost faktora f_{nre} , a samim tim i njegov najveći uticaj na kapacitet kružnih raskrsnica se javlja u maksimalnom učešću nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku i uz najveći intenzitet konfliktnog toka. Tako npr. u slučaju intenziteta konfliktnog toka od 2200 (PA/h), uz učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku od 90%, vrednost faktora f_{nre} iznosiće 0,6, čime se smanjuje kapacitet na ulaznoj saobraćajnoj traci kružne raskrsnice za čak 40% (Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019).

Provedeno istraživanje koje je prikazano u disertaciji i u radu (Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019), ukazuje da ponašanje različitih grupa vozača utiče na vrednosti prihvaćenih parametara t_c i t_f . Kako su nerezidentni vozači neodlučniji i oprezniji, potrebno im je više vremena za donošenje odluka prilikom izvođenja sporednih manevara u odnosu na rezidentne vozače. Sve to utiče da nerezidentni vozači koriste veće vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, što dovodi do smanjenja kapaciteta kružnih raskrsnica. Povećanjem procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku vrednost faktora f_{nre} se smanjuje, što direktno produkuje i smanjenje kapaciteta kružnih raskrsnica.

Testiranje hipoteza o regresionom parametru β_j je izvršeno preko sledećih hipoteza:

- a₁) $H_0: \beta_1=0$ – ne postoji linearna veza između f_{nre} i P_{nre} ;
- a₂) $H_1: \beta_1 \neq 0$ – postoji linearna veza između f_{nre} i P_{nre} ;
- b₁) $H_0: \beta_2=0$ – ne postoji linearna veza između f_{nre} i v_c ;
- b₂) $H_1: \beta_2 \neq 0$ – postoji linearna veza između f_{nre} i v_c ;
- c₁) $H_0: \beta_3=0$ – ne postoji linearna veza između f_{nre} i $(P_{nre} \cdot v_c)$ i
- c₂) $H_1: \beta_3 \neq 0$ – postoji linearna veza između f_{nre} i $(P_{nre} \cdot v_c)$.

Kako se navodi u *Tabeli 6.1*, u analizi varijanse je dobijeno da su *p-vrednosti* za sve analizirane faktore manje od 0,05, pa sledi da se hipoteze H_0 odbacuju, što znači da se prihvataju alternativne hipoteze da je:

- a) zavisnost između f_{nre} i P_{nre} pouzdano linearna;
- b) zavisnost između f_{nre} i v_c pouzdano linearna i

c) zavisnost između f_{nre} i ($P_{nre} \cdot v_c$) pouzdano linearna.

Procena koeficijenta višestruke determinacije ($R-Sq$) pokazuje koliko je jaka funkcija između parametra f_{nre} sa jedne strane, i parametara P_{nre} i v_c sa druge strane. Model je izuzetno reprezentativan i daje statistički veoma jake rezultate jer je vrednost koeficijenta $R-Sq$ 96,93%, kojim se pokazuje koliki deo varijacije zavisne promenljive je objašnjen višestrukim regresionim modelom. Vrednost korigovanog koeficijenta višestruke determinacije $R-Sq(adj)$ iznosi 96,92%, i gotovo je identična vrednosti koeficijenta $R-Sq$. Koeficijent $R-Sq(adj)$ takođe se koristi kao jedan od mogućih kriterijuma za izbor modela višestruke linearne regresije.

Budući da *Pearson-ov* koeficijent linearne korelacije pokazuje smer i jačinu kvantitativne linearne veze između dve promenljive (f_{nre} i P_{nre}), onda dobijeni koeficijent $r=-0,777$ pokazuje da postoji jaka negativna veza između ove dve promenljive.

Spearman-ov koeficijent korelacije ranga predstavlja neparametarsku analogiju linearnog koeficijenta korelacije. Ovaj koeficijent korelacije predstavlja koeficijent proste linearne korelacije između rangova podataka dve promenljive. Ako se posmatraju dve promenljive (f_{nre} i P_{nre}), onda dobijeni *Spearman-ov* koeficijent (-0,811) pokazuje da takođe postoji jaka negativna veza.

Model za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica koji je predložen u *HCM 6*, je shodno rezultatima sprovedenog istraživanja, dopunjen faktorom učešća nerezidentnih vozača – f_{nre} . Ovim je definisan model za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioriternih kružnih raskrsnica (jednačine 6.9-6.13). Formiranjem ovog modela, na osnovu istraživanja u realnom saobraćajnom toku, potvrđeno je da kapacitet kružnih raskrsnica zavisi i od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku. Naime, matematički je prikazano i dokazano da sa povećanjem učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku dolazi do smanjenja kapaciteta kružnih raskrsnica.

$$c_i = c_{i,pce} f_{HV,e} f_{ped} f_{nre} \quad (6.9)$$

$$c_{i,pce} = A e^{(-Bv_c)} \quad (6.10)$$

$$A = \frac{3600}{t_f} \quad (6.11)$$

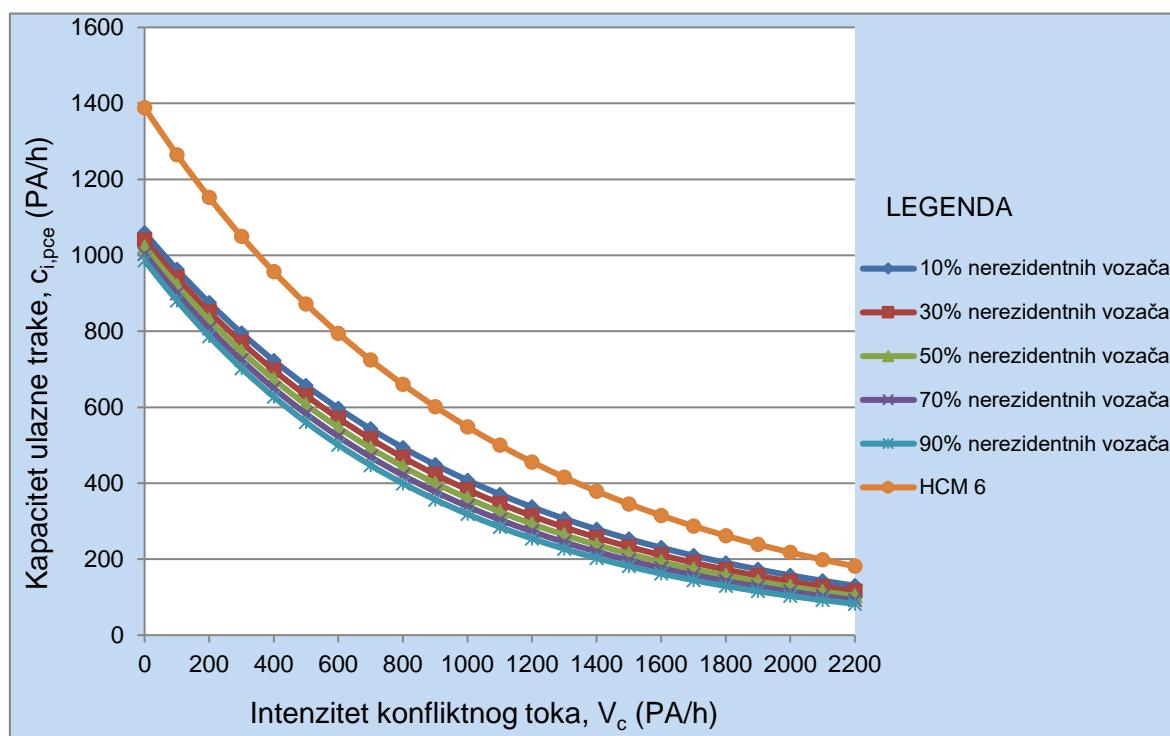
$$B = \frac{t_c - (t_f/2)}{3600} \quad (6.12)$$

$$f_{nre} = 1,00 - 0,000997 \cdot P_{nre} - 0,000009 \cdot v_c - 0,000002 \cdot P_{nre} \cdot v_c \quad (6.13)$$

gde 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 sleđenja (s),
- t_f – vreme sleđenja (s),
- $f_{HV,e}$ – faktor učešća teretnih vozila,
- f_{ped} – faktor učešća pešaka,
- f_{nre} – faktor učešća nerezidentnih vozača i
- P_{nre} – procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku.

Faktor f_{nre} će biti jednak jedinici, ako je procenat učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku jednak 0. Na osnovu jednačine (6.9) jasno je da faktor učešća nerezidentnih vozača utiče na kapacitet kružnih raskrsnica. Ovim je potvrđeno da postoje razlike između kapaciteta koji sa jedne strane ostvaruju rezidentni vozači, a sa druge strane nerezidentni vozači. Sve to utiče na ukupan kapacitet ulaznog toka, a samim tim i na kapacitet kružne raskrsnice. Povećanje učešća nerezidentnih vozača u ukupnom saobraćajnom toku utiče na smanjenje kapaciteta na ulaznom (sporednom) toku, kao i na smanjenje kapaciteta cele kružne raskrsnice. Korišćenjem postavljenog modela, a srazmerno učešću nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, javljaju se i određena odstupanja od procenjenih vrednosti kapaciteta koja se dobijaju primenom parametara t_c i t_f preporučenih u priručniku HCM 6 (Stanimirović, Bogdanović, Davidović, Zavadskas, & Stević, 2019).



Slika 6.4. Uporedni dijagram srednjih vrednosti kapaciteta prema istraživanju i HCM-u
*Izvor: Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., Stević, Ž. (2019). The Influence of the Participation of Non-Resident Drivers on Roundabout Capacity. Sustainability, 11(14), 3896.

Povećanje intenziteta konfliktnog toka (v_c) utiče na eksponencijalno smanjenje kapaciteta na ulaznim saobraćajnim trakama kružnih raskrsnica ($C_{i,pce}$). Sa *Slike 6.4* vidljivo je da kapacitet na prilazima zavisi i od procenta učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, tako da povećanje procenta učešća nerezidentnih vozača proizvodi smanjenje kapaciteta na ulaznim saobraćajnim trakama, a samim tim i smanjenje kapaciteta cele kružne raskrsnice. Potvrđeno je da se kapacitet u realnim uslovima smanjuje sa povećanjem procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, kao i da je kapacitet dobijen istraživanjem manji od kapaciteta koji se preporučuje u *HCM 6*, pošto su vrednosti parametara t_c i t_f u toku istraživanja veće u odnosu na vrednosti koje preporučuje *HCM 6* (*Slika 6.4* i *Tabele 5.3* i *5.4*).

Sprovedenim istraživanjem, za potrebe izrade disertacije, preporučuje se korišćenje faktora učešća nerezidentnih vozača prilikom izračunavanja kapaciteta kružnih raskrsnica u turističkim regijama, tranzitnim putnim pravcima i drugim mestima gde je znatno prisustvo nerezidentnih vozača. Na ovaj način bi se otklonio nedostatak u postojećoj literaturi, koja za sada ne prepoznaje uticaj faktora učešća nerezidentnih vozača na kapacitet kružnih raskrsnica.

6.3. Testiranje modela

Nakon što je izvršen izbor i analiza odabranog modela, sprovedeno je i testiranje modela slobodnim odabirom na kružnoj raskrsnici u gradu Bijeljina.

Kako bi se model testirao, potrebno je prethodno definisati parametre neophodne za analizu koji su dobijeni snimanjem realnog saobraćajnog toka, a to su: intenzitet konfliktnog toka (v_c), vrednosti kritičnog intervala sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f) za rezidentne i nerezidentne vozače, kao i procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (P_{nre}).

Prosečno procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (P_{nre}) dobija se na osnovu strukture saobraćajnog toka, i za grad Bijeljina u periodu posmatranja iznosi 22,27%.

Prosečna vrednost intenziteta konfliktnog toka (v_c), dobijena na osnovu perioda snimanja, za grad Bijeljina iznosi 260 (PA/h).

Shodno dobijenim vrednostima kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja za rezidentne i nerezidentne vozače u gradu Bijeljina (*Tabele 5.3* i *5.4*), moguće je odrediti vrednosti parametara t_c i t_f u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, koristeći metodu interpolacije:

$$t_{c,x} = \frac{t_{c,nre} \cdot P_{nre} + t_{c,re} \cdot (100 - P_{nre})}{100} \quad (6.14)$$

$$t_{f,x} = \frac{t_{f,nre} \cdot P_{nre} + t_{f,re} \cdot (100 - P_{nre})}{100} \quad (6.15)$$

gde su:

- $t_{c,x}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (s),
- $t_{f,x}$ – vrednost vremena sleđenja u zavisnosti od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (s),
- $t_{c,re}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja dobijenog istraživanjem za rezidentne vozače (s),
- $t_{c,nre}$ – vrednost kritičnog intervala sleđenja dobijenog istraživanjem za nerezidentne vozače (s),
- $t_{f,re}$ – vrednost vremena sleđenja dobijenog istraživanjem za rezidentne vozače (s),
- $t_{f,nre}$ – vrednost vremena sleđenja dobijenog istraživanjem za nerezidentne vozače (s) i
- P_{nre} – procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku (%).

Za posmatranu kružnu raskrsnicu u Bijeljini, izmerene vrednosti napred navedenih veličina koje su neophodne za testiranje modela iznose:

- $t_{c,re} = 5,16$ (s),
- $t_{c,nre} = 6,18$ (s),
- $t_{f,re} = 3,36$ (s),
- $t_{f,nre} = 3,74$ (s) i
- $P_{nre} = 22,27$ (%).

Na osnovu prethodnih vrednosti dobijenih merenjima u realnom saobraćajnom toku, za procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku od 22,27%, proračunata je vrednost kritičnih intervala sleđenja ($t_{c,22,27\%}$) i vremena sleđenja ($t_{f,22,27\%}$) pomoću jednačina (6.14) i (6.15):

$$\begin{aligned} t_{c,22,27\%} &= \frac{t_{c,nre} \cdot P_{nre} + t_{c,re} \cdot (100 - P_{nre})}{100} = \\ &= \frac{6,18 \cdot 22,27 + 5,16 \cdot (100 - 22,27)}{100} = 5,39(s) \end{aligned} \quad (6.16)$$

$$\begin{aligned} t_{f,22,27\%} &= \frac{t_{f,nre} \cdot P_{nre} + t_{f,re} \cdot (100 - P_{nre})}{100} = \\ &= \frac{3,74 \cdot 22,27 + 3,36 \cdot (100 - 22,27)}{100} = 3,44(s) \end{aligned} \quad (6.17)$$

Vrednost kapaciteta kružnih raskrsnica za ulaznu traku i , za procentualno učešće nerezidentnih vozača od 22,27% i intenzitet konfliktnog toka od 260 (PA/h), računa se na osnovu jednačina (6.10), (6.11) i (6.12), uz korišćenje parametara t_c i t_f za posmatrano procentualno učešće nerezidentnih vozača, na sledeći način:

$$C_{i,pce;22,27\%nre} = Ae^{(-BV_c)} = \frac{3600}{3,44} e^{\left(-\frac{5,39-(3,44/2)}{3600} \cdot 260\right)} = 803(PA/h) \quad (6.18)$$

gde je:

$C_{i,pce;22,27\%nre}$ – kapacitet ulazne trake i , za saobraćajni tok sastavljen od 22,27% nerezidentnih vozača (22,27%nre), izražen u (PA/h).

Sa druge strane, izmerene vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja za posmatranu kružnu raskrsnicu, za uzorak rezidentnih vozača, prema *Tabelama 5.3 i 5.4*, iznose:

$$\begin{aligned} t_{c,re} &= 5,16 \text{ (s)} \text{ i} \\ t_{f,re} &= 3,36 \text{ (s)}. \end{aligned}$$

Izračunavanje kapaciteta ulazne trake i kružne raskrsnice, u saobraćajnom toku bez učešća nerezidentnih vozača, za intenzitet konfliktnog toka od 260 (PA/h), vrši se pomoću jednačina (6.10), (6.11) i (6.12):

$$C_{i,pce;100\%re} = Ae^{(-BV_c)} = \frac{3600}{3,36} e^{\left(-\frac{5,16-(3,36/2)}{3600} \cdot 260\right)} = 833(PA/h) \quad (6.19)$$

gde je:

$C_{i,pce;100\%re}$ – kapacitet ulazne trake i , za saobraćajni tok sastavljen isključivo od rezidentnih vozača (100%re), izražen u (PA/h).

Primenom jednačine 6.13, dobijena je vrednost faktora f_{nre} za procentualno učešće nerezidentnih vozača od 22,27% i intenzitet konfliktnog toka 260 (PA/h):

$$\begin{aligned} f_{22,27\%nre} &= 1,00 - 0,000997 \cdot P_{nre} - 0,000009 \cdot v_c - 0,000002 \cdot P_{nre} \cdot v_c = \\ &1,00 - 0,000997 \cdot 22,27 - 0,000009 \cdot 260 - 0,000002 \cdot 22,27 \cdot 260 = 0,964 \end{aligned} \quad (6.20)$$

gde je:

$f_{22,27\%nre}$ – faktor učešća nerezidentnih vozača za saobraćajni tok sastavljen od 22,27% nerezidentnih vozača (22,27%nre).

Proizvodom rezultata dobijenih relacijama (6.19) i (6.20) dolazimo do kapaciteta ulazne trake i posmatrane kružne raskrsnice za procentualno učešće nerezidentnih vozača od 22,27% i intenzitet konfliktnog toka 260 (PA/h):

$$C_{i,pce;22,27\%nre} = C_{i,pce;100\%re} \cdot f_{22,27\%nre} = 833 \cdot 0,964 = 803(PA/h) \quad (6.21)$$

gde je:

$C_{i,pce;22,27\%nre}$ – kapacitet ulazne trake i , za saobraćajni tok sastavljen od 22,27% nerezidentnih vozača (22,27%nre), izražen u (PA/h).

Kako su vrednosti kapaciteta ulazne trake i posmatrane kružne raskrsnice dobijene relacijama (6.18) i (6.21) identične, dolazimo do zaključka da je model uspešno testiran, te da njegovi rezultati imaju praktičnu primenu u realnom saobraćajnom toku.

S obzirom na statističke analize rezultata datog modela, kao i na osnovu sprovedenog testiranja modela, može se zaključiti da dati model veoma dobro opisuje empirijske podatke, odnosno zavisnost kapaciteta kružnih raskrsnica od procentualnog učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku.

7. Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja

U dosadašnjim istraživačkim studijama dokazano je da na vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja utiču različiti faktori, zbog čega se preporučuje vršenje lokalnih merenja. Međutim, uticaj karakteristika i ponašanja nerezidentnih vozača se prema modelima datim u do sada objavljenim izdanjima priručnika *HCM* ne uzimaju u analizi pri izračunavanju kapaciteta prioritetnih kružnih raskrsnica, čak i kada je njihovo prisustvo u saobraćajnom toku izuzetno visoko. Za razliku od modela za proračun kapaciteta kružnih raskrsnica, u postupcima za proračun kapaciteta puteva, prepoznat je uticaj karakteristika vozača, koji se valorizuje kroz *Driver Population Adjustment Factors*.

Sva izdanja *HCM*-a ukazuju da se kritični intervali sleđenja i vremena sleđenja dobijaju putem merenja na raskrsnicama, u uslovima realnog saobraćajnog toka. Do sada, u dostupnoj svetskoj literaturi nije naveden ili postavljen model koji bi povezao učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku sa kapacitetom prioritetnih kružnih raskrsnica. Kapacitet i nivo usluge prioritetnih kružnih raskrsnica, pored zahteva za protokom na ulaznom i kružnom toku, u velikoj meri zavise i od veličine usvojenog kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja. Vrednosti ovih parametara mogu značajno umanjiti ili uvećati veličinu kapaciteta, posebno u uslovima tokova velikih gustina.

U okviru disertacije prikazan je postupak na osnovu koga je moguće odrediti uticaj koji nerezidentni vozači imaju na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica, putem *Faktora učešća nerezidentnih vozača* (f_{nre}). Tokom istraživanja analiziran je uticaj rezidentnih i nerezidentnih vozača na vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, koji su neophodni za izračunavanje kapaciteta kružnih raskrsnica, nakon čega je upotrebom višestruke linearne regresije određen model za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica. Shodno provedenim istraživanjima, sa uzorkom od 31053 vozila, utvrđene su vrednosti kritičnih intervala sleđenja (t_c) i vremena sleđenja (t_f) za dve zasebne grupe vozača (rezidentni i nerezidentni). Na osnovu tako prikupljenih podataka formiran je model kojim bi se na osnovu procentualnog učešća nerezidentnih vozača, a u zavisnosti od intenziteta konfliktnog toka, mogao proračunati kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica. Rezultati su pokazali da su nerezidentni vozači oprezniji, obazriviji i manje odlučniji, što za posledicu ima prihvatanje većih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja pri uključenju iz ulaznog (sporednog) toka u kružni (prioritetni) saobraćajni tok. Model, koji je predložen u ovoj disertaciji, daje mogućnost da se na osnovu podataka o procentualnom učešću nerezidentnih vozača proračuna u kojoj meri će doći do smanjenja kapaciteta na posmatranim prioritetnim kružnim raskrsnicama. Naime, sa povećanjem stepena učešća nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku smanjuje se kapacitet kružnih raskrsnica, i obrnuto – sa smanjenjem učešća

nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku povećava se kapacitet kružnih raskrsnica.

U sprovedenim lokalnim merenjima, koja su realizovana u sklopu istraživanja za potrebe disertacije, nerezidentni vozači su oni vozači koji na raskrsnicama upravljaju vozilom sa inostranim registarskim tablicama, jer su oni ti koji po prvi put, povremeno ili veoma retko prolaze kroz posmatrane kružne raskrsnice. Takođe, treba istaći da postoje i određena odstupanja u lokalnim merenjima parametara t_c i t_f u odnosu na vrednosti koje su preporučene u HCM-u, što je slučaj i sa mnogim prethodnim istraživačkim studijama na ovu temu. Sprovedenim analizama potvrđene su polazne hipoteze da postoje razlike u vrednostima parametara t_c i t_f koje koriste rezidentni i nerezidentni vozači, te je dat model za utvrđivanje uticaja nerezidentnih vozača na kapacitet prioritetnih kružnih raskrsnica, a na osnovu utvrđenih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja.

Rezultati ovih istraživanja mogu biti od značaja za analize kapaciteta na mestima gde je veliko prisustvo nerezidentnih vozača, kao što su tranzitni pravci ili turističke regije. Primena predloženog modela obezbedila bi utvrđivanje kapaciteta i nivoa usluge kružnih raskrsnica u skladu sa stvarnim karakteristikama saobraćajnog toka, gde je značajno prisustvo nerezidentnih vozača.

Pravci daljih istraživanja treba da budu usmereni ka definisanju vrednosti *Faktora učešća nerezidentnih vozača* (f_{nre}) i na drugim tipovima nesignalisanih raskrsnica, kao i na semaforisanim raskrsnicama. Takođe, potrebno je istraživanja usmeriti i na osobenosti vozača koje mogu dovesti do različitog prihvatanja vrednosti kritičnog intervala sleđenja i vremena sleđenja, kao što su pol vozača, starosna dob i vozačko iskustvo. Objektivno se može pretpostaviti da ove osobenosti vozača utiču na njihovo različito ponašanje u smislu prihvatanja drugačijih vrednosti kritičnih intervala sleđenja i vremena sleđenja, ali je to potrebno ispitati merenjem i analizom reprezentativnog uzorka.

Literatura

- AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (6th ed.). Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ahmed, M. M., & Ghasemzadeh, A. (2018). The impacts of heavy rain on speed and headway behaviors: an investigation using the SHRP2 naturalistic driving study data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 91, 371-384.
- Akçelik, R. (2007). A Review of Gap-Acceptance Capacity Models. *Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR2007)* (str. 1-24). Adelaide: University of South Australia.
- Akçelik, R. (2003). A Roundabout Case Study Comparing Capacity Estimates from Alternative Analytical Models. *2nd Urban Street Symposium*. Anaheim, California, USA.
- Akçelik, R. (2011). An Assessment of the Highway Capacity Manual 2010 Roundabout Capacity Model. *International Roundabout Conference*. Carmel, Indiana, USA: Transportation Research Board.
- Akçelik, R. (2017). An Assessment of the Highway Capacity Manual Edition 6 Roundabout Capacity Model. Green Bay, Wisconsin, USA: Transportation Research Board.
- Akçelik, R. (1994). Gap acceptance modelling by traffic signal analogy. *Traffic Engineering and Control*, 35 (9), 498-506.
- Akçelik, R. (1997). Lane-by-lane modelling of unequal lane use and flares at roundabouts and signalised intersections: the SIDRA solution. *Traffic Engineering and Control*, 38 (7/8), 388-399.
- Akçelik, R. (2011b). Roundabouts-Comments on the SIDRA Intersection model and the UK TRL linear regression mode. *Akçelik and Associates Pty Ltd*.
- Akçelik, R. (2013). SIDRA Intersection 6.0. Greythorn, Victoria: Akçelik & Associates Pty Ltd.
- Akçelik, R. (2011c). Some common and differing aspects of alternative models for roundabout. *Paper presented at the 3rd International Conference on Roundabouts*. Carmel, Indiana, U.S.A.
- Akçelik, R., & Besley, M. (2004). Differences between the AUSTROADS Roundabout Guide and aaSIDRA Roundabout Analysis Method. *Paper presented at the 26th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR 2004)*. Clayton, Melbourne, Australia.
- Akçelik, R., Chung, E., & Besley, M. (1997). Analysis of Roundabout Performance by Modeling Approach-Flow Interactions. In M. Kyte (Ed.), *Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals* (str. 15-25). 21-23 July 1997, Portland, Oregon, U.S.A.: University of Idaho.
- Akçelik, R., Chung, E., & Besley, M. (1998). Roundabouts: Capacity and performance analysis Research Report ARR 321. *Vermont South, Australia: ARRB Transport Research*.
- Al-Masaeid, H. R., & Faddah, M. Z. (1997). Capacity of Roundabouts in Jordan. *Transportation Research Record*, 1572, 76-85.
- Alphand, F., Noelle, U., & Guichet, B. (1991). Evolution of Design Rules for Urban Roundabouts in France. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals II*:
-

- Proceedings of an International Workshop*, (str. 126-140). 18-19 July 1991. Bochum Germany: Springer-Verlag.
- An Assessment of the Highway Capacity Manual Edition 6 Roundabout Capacity Model (2017). *5th International Roundabout Conference* Green Bay, Wisconsin, USA Transportation Research Board.
- Armitage, D. J., & McDonald, M. (1974). Roundabout capacity. *Traffic Engineering and Control*, 15 (8) , 812-815.
- Ashwort, R. (1968). A note on the selection of gap acceptance criteria for traffic simulation studies. *Transportation Research 2* , 171-175.
- Ashworth, R., & Laurence, C. J. (1978). A new procedure for capacity calculations at conventional roundabouts. *Institution of Civil Engineers Proceedings Part 2*, 65 , 1-16.
- Austrroads. (2009). Guide to Road Design. Sydney, Australia: Austrroads.
- Bared, J. G., & Afshar, A. M. (2009). Using Simulation to Plan Capacity Models by Lane for Two- and Three-Lane Roundabouts. *Transportation Research Record*, 2096 , 8-15.
- Barnard, S. R., Hall, R. D., & McDonald, M. (1995). *Roundabout Capacity Studies: Conventional Roundabouts - Assessment of the Existing Capacity Formula* . Southampton: Transportation Research Group, University of Southampton. Unpublished report to the Transport Research Laboratory.
- Beanland, V., Lenné, M. G., Candappa, N., & Corben, B. (2013). Gap acceptance at stop-controlled T-intersections in a simulated rural environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 20 , 80-89.
- Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., & Krajzewicz, D. (2011). SUMO - Simulation of Urban MObility. *Berlin: German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems* .
- Bie, J., Lo, H. K., & Wong, S. (2010). Capacity evaluation of multi-lane traffic roundabout. *Journal of Advanced Transportation*, 44 , 245-255.
- Bogdanović, V. (2005). *Prilog proučavanju kapaciteta i nivoa usluge na trokrakim i kružnim prioritetnim raskrsnicama po novom konceptu*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Bogdanović, V., Papić, Z., Ruškić, N., & Jeftić, N. (2011). Karakteristike brzina na signalisanim raskrižjima. *Suvremeni promet*, 31 (3-4) , 196-200.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Basarić, V., & Tanackov, I. (2017). Capacity Analysis Procedure for Four-leg Non-standard Unsignalised Intersections. *Promet – Traffic&Transportation*, Vol. 29 (5) , 543-550.
- 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., & Stanimirović, D. (2019). Modeli za procenu kapaciteta kružnih raskrsnica. *Put i saobraćaj*, 65(3) , 35-47.
- 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. (1988). Recent Developments in Calculation Methods for Unsignalized Intersections in West Germany. *In W. Brilon (Ed.), Intersections without Traffic Signals: Proceedings of an International Workshop*, (str. 111-153). 16-18 March 1988, Bochum West Germany: Springer-Verlag.

- Brilon, W. (2005). Roundabouts: A State of the Art in Germany. *Paper presented at the National Roundabout Conference*. Vail, Colorado.
- Brilon, W. (2011). Studies on Roundabouts in Germany: Lessons Learned. *Paper presented at the 3rd International TRB Roundabout Conference*. Carmel, Indiana.
- Brilon, W., & Stuwe, B. (1993). Capacity and design of roundabouts in Germany. *Transportation Research Record*, 1398, 61-67.
- Brilon, W., Koenig, R., & Troutbeck, R. J. (1999). Useful estimation procedures for critical gaps. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33, 161-186.
- Brilon, W., Wu, N., & Bondzio, L. (1997). Unsignalized intersections in Germany-A state of the art 1997. In M. Kyte (Ed.), *Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals*, (str. 61-70). 21-23 July 1997, Portland Oregon: University of Idaho.
- Brown, M. (1995). *The design of roundabouts*. London: Transport Research Laboratory.
- Casas, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., Perarnau, J., & Torday, A. (2010). Traffic Simulation with Aimsun . In J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation*, (str. 173-232). New York: Springer.
- Certu. (2006). *Girabase Version 4.0*. Lyon: Certu.
- Chard, B. (1997). ARCADY Health Warning – Account for unequal lane usage or risk damaging public purse. *Traffic Engineering and Control*, 38(3), 122-132.
- 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.
- Chevallier, E., & Leclercq, L. (2009a). Do microscopic merging models reproduce the observed priority sharing ratio in congestion? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17 (3), 328-336.
- Chevallier, E., & Leclercq, L. (2009b). Microscopic Dual-Regime Model for Single-Lane Roundabouts. *Journal of Transportation Engineering*, 135(6), 386-394.
- Chin, H. C. (1985). SIMRO: a model to simulate traffic at roundabouts. *Traffic Engineering and Control*, 26(3), 109-113.
- Chung, E., Young, W., & Akçelik, R. (1992). Comparison of roundabout capacity and delay estimates from analytical and simulation models. *16th ARRB Conference*, Vol. 16, (str. 369-385). 9-13 November 1992.
- Cicu, F., Illotta, P. F., Bared, J., & Isebrands, H. (2011). VISSIM Calibration of Roundabouts Traffic Performance. *Paper presented at the Transportation Research Board 90th Annual Meeting*. Washington, D.C., U.S.A.
- Cowan, R. J. (1975). Useful headway models. *Transportation Research*, 9(6), 371-375.
- Daganzo, C. (1981). Estimation of gap acceptance parameters within and across the population from direct roadside observation. *Transportation research 15b*, 1-15.
- Dahl, J., & Lee, C. (2012). Empirical Estimation of Capacity for Roundabouts Using Adjusted Gap-Acceptance Parameters for Trucks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2312, 34-45.
- Department for Transport. (1981). *TA 23/81 Junctions and Accesses: Determination of Size of Roundabouts and Major/Minor Junctions*. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 6, Section 2.
- Department for Transport. (2007a). *TD 16/07 Geometric Design of Roundabouts Design*. Manual for Roads and Bridges, Volume 6, Section 2, Part 3.

- Department for Transport. (2007b). *TD 54/07 Design of Mini-Roundabouts*. Design Manual for Roads and Bridges, Volume 6, Section 2, Part 2.
- Department for Transport. (2012). *Transport Analysis Guidance - WebTAG*. Retrieved 8 March, 2013, from <http://www.dft.gov.uk/webtag/>.
- Džambas, T., Ahac, S., & Dragčević, V. (2017). Geometric design of turbo roundabouts. *Tehnički vjesnik - Technical gazette*, 309-318.
- Federal Highway Administration. (2000). *Roundabouts: An Informational Guide*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation.
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM . In J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation*, (str. 63-93). New York: Springer.
- Fortuijn, L. G. (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.
- Gagnon, C., Sadek, A. W., Touchette, A., & Smith, M. (2008). Calibration Potential of Common Analytical and Micro-simulation Roundabout Models: A New England Case Study. *Transportation Research Record, 2071*, 77-86.
- Gallelli, V., & Vaiana, R. (2008). Roundabout Intersections: Evaluation Of Geometric And Behavioural Features With Vissim. *Paper presented at the National Roundabout Conference*. Kansas City, Missouri, U.S.A.
- 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.
- Giuffrè, O., Grana, A., & Tumminello, M. L. (2016). Gap-acceptance parameters for roundabouts: a systematic review. *European Transport Research Review 8 (29)*, 1-20.
- Giuffrè, O., Guerrieri, M., & Granà, A. (2009). Turbo-Roundabout General Design Criteria and Functional Principles: Case Studies from Real World. *4th International Symposium on Highway Geometric Design 2009*. Valencia, Spain: Universidad Politècnica de Valencia.
- Glen, M. G., Sumner, S. L., & Kimber, R. M. (1978). SR436 The capacity of offside priority roundabout entries. *Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory*.
- Goodwin, L. C. (2002). *Weather Impacts on Arterial Traffic Flow*. Fairview Park: Mitretek systems inc.
- Greenshields, B. D., Thompson, J. T., Dickinson, H. C., & Swinton, R. S. (1934). The photographic method of studying traffic behavior. *Highway Research Board Proceedings*, 13 (1), pp. 382-399.
- Greenshields, B., Schapiro, D., & Ericksen, E. L. (1947). *Traffic Performance at Urban Intersections*. Bureau of Highway Traffic. New Haven, CT.: Yale University Press.
- Grossmann, M. (1988). KNOSIMO - A Practicable Simulation Model for Unsignalized Intersections. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals: Proceedings of an International Workshop*, (str. 263-273). 16-18 March 1988, Bochum West Germany: Springer-Verlag.
- Guichet, B. (1997). Roundabouts in France: Development, Safety, Design, and Capacity. In M. Kyte (Ed.), *Proceedings of the Third International Symposium on Intersections without Traffic Signals*, (str. 100-105). 21-23 July 1997, Portland, Oregon, U.S.A.: University of Idaho.

- Hagring, O. (1997). Capcal 2—A new version of the SNRA capacity, delay, and VOC software. 115-123. Portland, Oregon: National Institute for Advanced Transportation Technology.
- Hagring, O. (2001). Derivation of Capacity Equation for Roundabout Entry with Mixed Circulating and Exiting Flows. *Transportation Research Record*, 1776 , 91-99.
- Hagring, O. (2000). Estimation of critical gaps in two major streams. *Transportation Research Part B : Methodological*, Vol. 34 (4) , 293-313.
- Hagring, O. (1996). The use of the Cowan M3 distribution for modelling roundabout flow. *Traffic Engineering and Control*, 37 (5) , 328-332.
- Hagring, O., Roupail, N. M., & Sorensen, H. A. (2003). Comparison of Capacity Models for Two-Lane Roundabouts. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* , 114–123.
- Harders, J. (1968). *Die Leistungsfähigkeit nicht signalregelter städtischer Verkskrsknoten [Capacity of unsignalized urban intersections]*. Bonn: Bundesminister für Verkehr.
- Hawkes, A. G. (1966). Delay at traffic intersections. *Journal of the Statistics Society B* , 28, 202-212.
- Hebert, J. (1963). A Study of Four-Way Stop Intersection Capacities. *Highway Research Record*, 27, 130-147.
- Hewitt, R. (1985). A comparison between some methods of measuring critical gap. *Traffic Engineering and Control* , 13-22.
- Hewitt, R. (1993). Analysis of Critical Gaps by Probit Analysis. *Strassenverkehrstechnik* , 142-148.
- Hewitt, R. (1983). Measuring critical gap. *Transportation science* 17(1) , 87-109.
- 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 D.C: 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 Edition 6*. (2016). Washington D.C: Transportation Research Board, The National Research Council.
- Hossain, M. (1999). Capacity estimation of traffic circles under mixed traffic conditions using microsimulation technique. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(1) , 47-61.
- Johnson, M. T. (2013). Synthesis of Roundabout Geometric Capacity Measurement; Calibration and Validation to U.S. Field Measurements. *Paper presented at the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*. Washington, D.C., U.S.A.
- Karlaftis, M. G., & Vlahogianni, E. I. (2011). Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3) , 387-399.
- Kenjić, Z. (2009). Priručnik za planiranje i projektovanje kružnih raskrsnica - rotora. Sarajevo, Bosna i Hercegovina: IPSA Institut.

- Khan, M. N., Ghasemzadeh, A., & Ahmed, M. M. (2018). Investigating the Impact of Fog on Freeway Speed Selection using the SHRP2 Naturalistic Driving Study Data . *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board* , 1-12.
- Kim, T. Y., Park, M. K., & Park, B. H. (2012). A critical gap model for roundabouts in Korea. *Journal of Korean Society of Transportation, Korean Society of Transportation, Vol. 30, No. 2* , 93-100.
- Kimber, R. M. (1989). Gap-Acceptance and Empiricism in Capacity Prediction. *Transportation Science*, 23(2) , 100-111.
- Kimber, R. M., & Daly, P. N. (1986). Time-dependent queueing at road junctions: Observation and prediction. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(3) , 187-203.
- Kimber, R. M., & Semmens, M. C. (1977). SR334 A track experiment on the entry capacities of offside priority roundabouts. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Kimber, R. (1980). The Traffic Capacity of Roundabouts. *TRRL Laboratory Report LR 942*. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, United Kingdom.
- Kinzer, J. (1933). *Application of The Theory of Probability to Problems of Highway Traffic*. Brooklin: Polytechnic Institute of Brooklyn.
- Kittelson, W. K., & Vandehey, M. A. (1991). Delay effects on driver gap acceptance characteristics at two-way stop-controlled intersections. *Transportation Research Record*, 1320, 154-159.
- Krogscheepers, J. C., & Roebuck, C. S. (1999). Simulation of Traffic at Roundabouts. *Paper presented at the Transportation Frontiers for the Next Millennium: 69th Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers*. Las Vegas, Nevada.
- Krogscheepers, J. C., & Roebuck, C. S. (2000). Unbalanced Traffic Volumes at Roundabouts. *Paper presented at the Fourth International Symposium on Highway Capacity*. Maui, Hawaii.
- Leemann, N., & Santel, G. (2009). Two-lane roundabouts. *Paper presented at the 9th Swiss Transport Research Conference*. Monte Verità, Ascona.
- Lenters, M., & Rudy, C. (2010). HCM Roundabout Capacity Methods and Alternative Capacity Models. *ITE Journal*, 80(7) , 22-27.
- Lindenmann, H. P. (2006). Capacity of Small Roundabouts with Two-Lane Entries. *Transportation Research Record*, 1988 , 119-126.
- Louah, G. (1992). Panorama critique des modeles français de capacité des carrefours giratoires Actes du séminaire international "Giratoires 92"., (str. 213-228). 14-16 October 1992, Nantes, France: Centre d'Etudes des Transports Urbains.
- Louah, G. (1988). Recent French Studies on Capacity and Waiting Times at Rural Unsignalized Intersections. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals: Proceedings of an International Workshop*, (str. 248-262). 16-18 March 1988, Bochum West Germany: Springer-Verlag.
- Luttinen, R. T. (1999). Properties of Cowan's M3 Headway Distribution. *Transportation Research Record*, 1678 , 189-196.
- Macioszek, E., & Akçelik, R. (2017). A Comparison of Two Roundabout Capacity Models. *5th International Roundabout Conference*. Green Bay, Wisconsin, USA: Transportation Research Board.

- Mahmassani, H., & Sheffi, Y. (1981). Using gap sequences to estimate gap acceptance functions. *Transportation research 15b* , 143-148.
- Maletin, M. (2009). *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
- Mann, P. S. (2009). *Uvod u statistiku*. Beograd: Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta.
- Mauro, R. (2010). Calculation of Roundabouts: Capacity, Waiting Phenomena and Reliability. Berlin: Springer.
- Mauro, R., & Branco, F. (2010). Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turbo-Roundabouts. *Journal of Transportation Engineering*, 136(4) , 316-322.
- McDonald, M., & Armitage, D. J. (1978). The capacity of roundabouts. *Traffic Engineering and Control*, 19 , 447-450.
- McGowen, P., & Stanley, L. (2012). Alternative Methodology for Determining Gap Acceptance for Two-Way Stop-Controlled Intersection. *Journal of Transportation Engineering*, Vol.138 (5) , 495-501.
- Miller, A. (1972). Nine estimators for gap-acceptance parameters. *Proceedings of the International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation*. Berkeley, California: Elsevier Amsterdam.
- Miller, A., & Pretty, R. (1968). Overtaking on two-lane rural roads. *Proceedings of Australian Road Research Board*, (str. 582-591).
- Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture (2017). Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. Beograd, Republika Srbija: "Službeni glasnik Republike Srbije", broj 85/17.
- Montgomery, D. C., & Runge, G. C. (2010). *Applied statistics and probability for engineers*. John Wiley & Sons.
- Özuysal, M., Çalışkanelli, S. P., Tanyel, S., & Baran, T. (2009). Capacity prediction for traffic circles: applicability of ANN. *Transport*, 162 (TR4) , 195-206.
- P. Belz, N., Aultman-Hall, L., & Montague, J. (2016). Influence of priority taking and abstaining at single-lane roundabouts using cellular automata . *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 69 , 134-149.
- Paramics Microsimulation. (2011). S-Paramics (Parallel Microscopic Traffic Simulator). Edinburgh: SIAS Limited.
- Pilko, H., Mandžuka, S., & Barić, D. (2017). Urban single-lane roundabouts: A new analytical approach using multi-criteria and simultaneous multi-objective optimization of geometry design, efficiency and safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 80 , 257-271.
- Pollatschek, M. A., Polus, A., & Livneh, M. (2002). A decision model for gap acceptance and capacity at intersections . *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 36 (7) , 649-663.
- Polus, A., & Shmueli, S. (1997). Analysis and evaluation of the capacity of roundabouts. *Transportation Research Record*, 1572 , 99-104.
- Polus, A., Lazar, S. S., & Livneh, M. (2003). Critical Gap as a Function of Waiting Time in Determining Roundabout Capacity. *Journal of Transportation Engineering*, 129(5) , 504-509.
- Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji. (2012). Beograd, Republika Srbija: Javno preduzeće Putevi Srbije.
- PTV Group. (2011). Vissim (Verkehr In Städten - Simulationsmodell). Karlsruhe: PTV.

- Qu, X., Ren, L., Wang, S., & Oh, E. (2014). Estimation of Entry Capacity for Single-Lane Modern Roundabouts: Case Study in Queensland. *Journal of Transportation Engineering*, 140 (7), 05014002.
- Raff, M., & Hart, J. (1950). *A volume warrant for urban stop signs*. Saugatuck, Connecticut: Eno foundation for highway traffic control.
- Retzko, H. (1961). Vergleichende Bewertung verschiedener Arten der Verkehrsregelung an staedtischen Straüenverkehrsknotenpunkten (Comparative Evaluation of Different Kinds of Traffic Control at Urban Intersections). *Series Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*.
- Rodegerdts, I. A., Malinge, A., Marnell, P. S., Beard, S. G., Kittelson, M., & Mareszczak, Y. S. (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*. Federal Highway Administration, Washington, D.C., Sept. 2015.
- 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.
- Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., i drugi. (2007). *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 572: Roundabouts in the United States*. Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.
- Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., i drugi. (2006). *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Web-Only Document 94: Appendixes to NCHRP Report 572: Roundabouts in the United States*. Washington D.C.: Transportation Research Board of the National Academies.
- Rodel Software Ltd. (2012). *RODEL*. Stoke-on-Trent: Rodel Software Ltd.
- Rossi, R., Meneguzzer, C., & Gastaldi, M. (2013). Transportation Research Part C: Emerging Technologies. *Transfer and updating of Logit models of gap-acceptance and their operational implications*, Vol. 28, 142-154.
- RRL. (1965). *"Research on Road Traffic"*, London, 1965. London: Department of Scientific and Industrial Research.
- Ruškić, N. (2013). *Doktorska disertacija: Model proračuna kapaciteta nestandardnih nesignalisanih raskrsnica*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Ryder, P. (2001). Interim Advice Note (IAN 36/01). The Use and Application of Microsimulation Traffic Models. London: Highways Agency.
- Savićević, M. I. (2017). Efektivnost zamene raskrsnica sa direktnim ukrštanjem tokova kružnim raskrsnicama sa aspekta bezbednosti. Beograd, Republika Srbija: Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- Savoy Computing Services Ltd. (2010). *AutoTrack Junctions*. Cranbrook, Kent: Savoy Computing Services Ltd.
- Semmens, M. C. (1988). RR142 The capacity of entries to very large roundabouts. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Semmens, M. C. (1982). SR721 The capacity of some grade-separated roundabout entries. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory.
- Sharma, S. C. (1987). Driver Population Factor in the New Highway Capacity Manual. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, Vol. 113 (5), 575-579.

- 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.
- Solberg, P., & Oppenlander, J. C. (1964). *Lag and gap acceptances at stop-controlled intersections (No. 26, Project: C-36-17BB)*. Purdue university Lafayette Indiana: Joint Highway Research Project.
- Solberg, P., & Oppenlander, J. (1966). Lag and Headway Acceptances at Stop-Controlled Intersections. *Highway Research Record 118*, 48-67.
- Stanek, D. (2012). Comparing Roundabout Capacity Analysis Methods, or How the Selection of Analysis Method Can Affect the Design. Paper presented at the Transportation Research Board 91st Annual Meeting, Washington, D.C., U.S.A.
- Stanimirović, D., Bogdanović, V., Davidović, S., Zavadskas, E. K., & Stević, Ž. (2019). The influence of the participation of non-resident drivers on roundabout capacity. *Sustainability*, 210-245.
- Stuwe, B. (1991). Capacity and Safety of Roundabouts – German results. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals II: Proceedings of an International Workshop (str. 1-12)*. 16-18 March 1991, Bochum Germany: Springer-Verlag.
- Sykes, P. (2010). Traffic Simulation with Paramics. In J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation (str. 131-171)*. New York: Springer.
- Tan, J. (1991). A Microscopic Simulation Model of Roundabout Entry Operations. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals II: Proceedings of an International Workshop (str. 159-176)*. 18-19 July 1991, Bochum Germany: Springer-Verlag.
- Tanackov, I., Deretić, N., Bogdanović, V., Ruškić, N., & Jović, S. (2018). Safety time in critical gap of left turn manoeuvre from priority approach at TWSC unsignalized intersections. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Article in Press.
- Tanackov, I., Dragić, D., Sremac, S., Bogdanović, V., & Matić, B. M. (2019). New Analytic Solutions of Queueing System for Shared–Short Lanes at Unsignalized Intersections, Vol 11 (1), 55. *Symmetry*.
- Tanner, J. (1962). A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection. *Biometrika*, 163-170.
- Tanyel, S., & Yayla, N. (2003). A discussion on the parameters of Cowan M3 distribution for Turkey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(2), 129-143.
- Tenekeci, G., Montgomery, F., & Wainaina, S. (2010). Roundabout capacity in adverse weather and light conditions. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 163 (1)*, 29-39.
- Teply, S., Abou-Henaidy, M. I., & Hunt, J. D. (1997). Gap acceptance behavior: aggregate and logit perspectives. *Traffic Engineering and Control*, 38(9), 474-482.
- Tian, Z., Troutbeck, R., Kyte, M., & Brilon, W. (2000). A further investigation on critical gap and follow-up time. 397-408. Maui, Hawaii: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Tian, Z., Vandehey, M., Robinson, B. W., Kittelson, W., Kyte, M., Troutbeck, R., i drugi. (1999). Implementing the maximum likelihood methodology to measure a driver's critical gap. *Transportation Research Part A*, 187-197.

- Tolazzi, T. (2004). The Contribution to the Procedure of Capacity Determination at Unsignalized Priority-controlled Intersections. *Promet – Traffic – Traffico*, Vol. 16 (1) , 31-36.
- Transoft Solutions Inc. (2012). TORUS Roundabouts 4.0. Richmond, BC: Transoft Solutions Inc.
- TRL Software. (2012). Junctions 8 (Version 8.0.1.305). Wokingham: TRL Software.
- Troutbeck, R. (1992). *Estimating the critical acceptance gap from traffic movements*. Physical infrastructure centre,. Brisbane: Queensland University of Technology, Research Report 92-5.
- Troutbeck, R. J. (1998). Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts. *Transportation Research Record*, 1646 , 54-62.
- Troutbeck, R. J. (1991). Recent Australian Unsignalised Intersection Research. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals II: Proceedings of an International Workshop (str. 238-257)*. 18-19 July 1991, Bochum Germany: Springer-Verlag.
- Troutbeck, R. J. (1989). SR45 Evaluating the Performance of a Roundabout. Vermont South: Australian Road Research Board.
- Troutbeck, R. J. (1990). Traffic Interactions at Roundabouts. *Paper presented at the 15th ARRB Conference, Darwin, Australia*.
- Troutbeck, R. J., & Kako, S. (1999). Limited priority merge at unsignalized intersections. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(3-4) , 291-304.
- TSS-Transport Simulation Systems. (2011). *Aimsun (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks)*. Barcelona: Transport Simulation Systems.
- Tudge, R. T. (1988). INSECT - The Calibration and Validation of an Intersection Simulation Model. In W. Brilon (Ed.), *Intersections without Traffic Signals: Proceedings of an International Workshop (str. 214-235)*. 16-18 March 1988, Bochum West Germany: Springer-Verlag.
- Tupper, S. M., Knodler, M. A., Fitzpatrick, C., & Hurwitz, D. S. (2013). Estimating Critical Gap - A Comparison of Methodologies Using a Robust, Real-world Data Set. *Paper presented at the Transportation Research Board 92nd Annual Meeting, Washington, D.C., U.S.A.*
- Valdez, M., Cheu, R. L., & Duran, C. (2011). Operations of Modern Roundabout with Unbalanced Approach Volumes. *Transportation Research Record*, 2265 , 234-243.
- 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.
- Vasconcelos, L., Seco, A., Silva, A. B., Abreu, T., & Silva, J. (2012). A comparison of roundabout capacity model. In *The 23rd IASTED International Conference on Modelling and Simulation (MS 2012)*, (str. 165-170). Banff, Canada.
- Wei, T., Grenard, J. L., & Shah, H. R. (2011). Developing Capacity Models for Local Roundabouts: Streamlined Process. *Transportation Research Record*, 2257 , 1-9.
- 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.

- Wu, N. (2006). A new model for estimating critical gap and its distribution at unsignalized intersections based on the equilibrium of probabilities. *Proceeding of the 5th International Symposium on Highway Capacity and Quality*. Yokohama, Japan.
- Wu, N. (2001). A universal procedure for capacity determination at unsignalized (priority-controlled) intersections. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(6), 593-623.
- Wu, N. (2012). Equilibrium of Probabilities for Estimating Distribution Function of Critical Gaps at Unsignalized Intersections. *Transportation Research Record* (2286), 49-55.
- XLSTAT. (2014). *XLSTAT-software, version 2014.5*. Paris, France: Adinsoft, S. A. R. L.
- Xu, F., & Tian, Z. (2008). Driver behavior and gap-acceptance characteristics at roundabouts in California. *Transportation Research Record*, 2071, 117-124.
- Yap, Y. H., Gibson, H. M., & Waterson, B. J. (2013). An International Review of Roundabout Capacity Modelling. *Transport Reviews* 33 (5), 593-616.
- Yeo, G., & Weesakul, B. (1964). Delays to road traffic at an intersection. *Journal of Applied Probability*, 1, 297-310.
- 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.
- Zakon o sigurnosti prometa na cestama. (2008). Zagreb, Hrvatska: "Narodne novine", br. 67/08, 48/10 - Odluka Ustavnog suda Republike Hrvatske, 74/11, 80/13, 158/13 - Odluka i Rješenje Ustavnog suda Republike Hrvatske, 89/14 - Odluka Ustavnog suda Republike Hrvatske, 92/14, 64/15.
- Zheng, Y., & Elefteriadou, L. (2017). A model of pedestrian delay at unsignalized intersections in urban networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 100, 138-155.
- Zhou, H., Ivan, J. N., Gårder, P. E., & Ravishanker, N. (2017). Gap acceptance for left turns from major road at unsignalized intersections. *Transport*, 32:3, 252-261.
- 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.

Prilozi

Spisak priloga

Prilog 1. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni vozači.....	137
Prilog 2. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni vozači.....	137
Prilog 3. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak nerezidentni vozači.....	138
Prilog 4. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak nerezidentni vozači.....	138
Prilog 5. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni+ nerezidentni vozači	139
Prilog 6. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	139
Prilog 7. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni vozači.....	140
Prilog 8. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni vozači	140
Prilog 9. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak nerezidentni vozači.....	141
Prilog 10. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak nerezidentni vozači	141
Prilog 11. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	142
Prilog 12. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	142
Prilog 13. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Brčkom, uzorak rezidentni vozači.....	143
Prilog 14. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni vozači.....	143
Prilog 15. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Brčkom, uzorak nerezidentni vozači.....	144
Prilog 16. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak nerezidentni vozači.....	144
Prilog 17. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Brčkom, uzorak rezidentni+ nerezidentni vozači	145
Prilog 18. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	145
Prilog 19. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Brčkom, uzorak rezidentni vozači.....	146
Prilog 20. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni vozači ...	146

Prilog 21. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak nerezidentni vozači.....	147
Prilog 22. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak nerezidentni vozači	147
Prilog 23. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	148
Prilog 24. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	148
Prilog 25. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni vozači	149
Prilog 26. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni vozači	149
Prilog 27. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak nerezidentni vozači	150
Prilog 28. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak nerezidentni vozači.....	150
Prilog 29. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači.....	151
Prilog 30. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	151
Prilog 31. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni vozači	152
Prilog 32. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni vozači	152
Prilog 33. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak nerezidentni vozači	153
Prilog 34. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak nerezidentni vozači	153
Prilog 35. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	154
Prilog 36. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	154
Prilog 37. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači	155
Prilog 38. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači	155
Prilog 39. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači .	156
Prilog 40. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači	156
Prilog 41. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	157

Prilog 42. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	157
Prilog 43. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači ..	158
Prilog 44. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači	158
Prilog 45. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači	159
Prilog 46. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači	159
Prilog 47. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	160
Prilog 48. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači.....	160
Prilog 49. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači	161
Prilog 50. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači.....	161
Prilog 51. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači	162
Prilog 52. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači.....	162
Prilog 53. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	163
Prilog 54. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači	163
Prilog 55. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači.....	164
Prilog 56. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači.....	164
Prilog 57. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači.....	165
Prilog 58. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači.....	165
Prilog 59. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni+ nerezidentni vozači	166

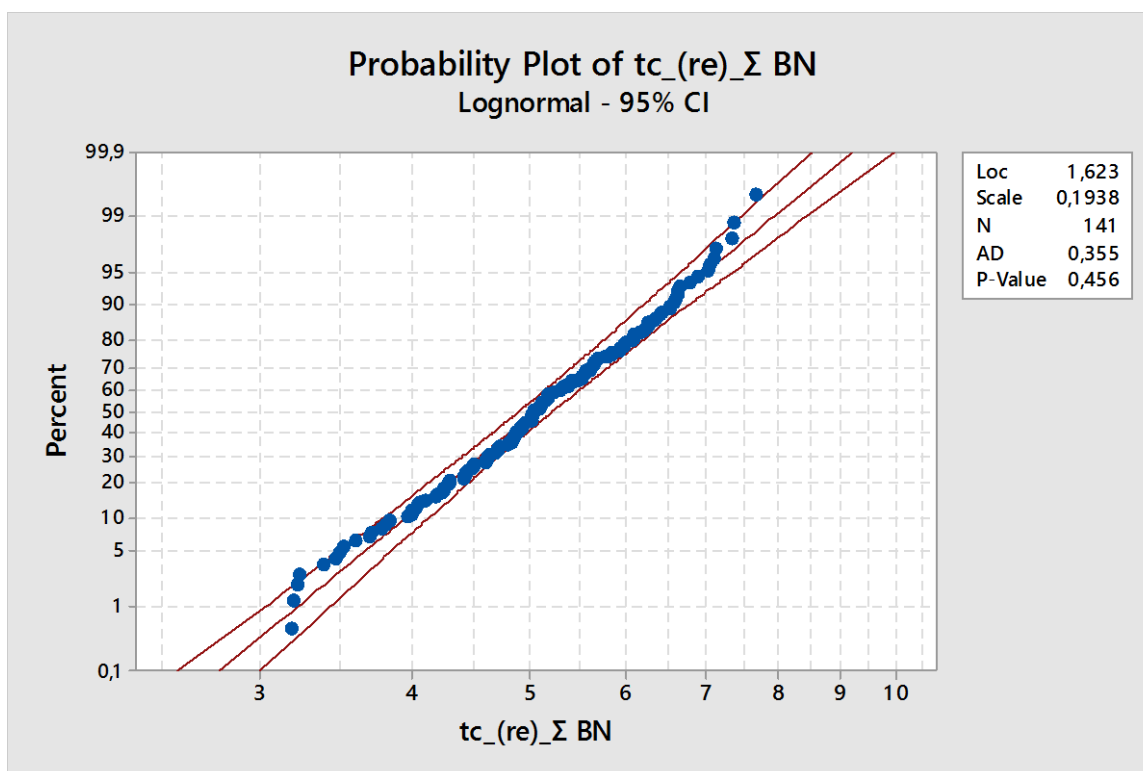
Prilog 60. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uзорak rezidentni + nerezidentni vozači	166
Prilog 61. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrnicu u Bijeljini	167
Prilog 62. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Bijeljini, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku	167
Prilog 63. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrnicu u Bijeljini	168
Prilog 64. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrnicu u Brčkom	168
Prilog 65. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Brčkom, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku	169
Prilog 66. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrnicu u Brčkom	169
Prilog 67. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrnicu u Tuzli.....	170
Prilog 68. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Tuzli, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku	170
Prilog 69. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrnicu u Tuzli	171
Prilog 70. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za levu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci	171
Prilog 71. Kapacitet leve ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku	172
Prilog 72. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za levu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci	172
Prilog 73. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za desnu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci.....	173
Prilog 74. Kapacitet desne ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku	173
Prilog 75. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za desnu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci	174

Prilog 1. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Bijeljini, uзорak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BN-1	16	4,590	0,235	0,940	2,210	3,618	4,664	5,082	6,160	0,060
BN-2	18	5,237	0,238	1,010	3,720	4,240	5,157	6,315	6,640	0,205
BN-3	20	5,335	0,218	0,977	3,812	4,458	5,436	5,897	7,085	0,399
BN-4	11	5,266	0,169	0,561	4,708	4,838	5,054	5,533	6,540	0,176
BN-5	13	4,973	0,262	0,944	3,470	4,341	4,865	5,657	7,044	0,886
BN-6	14	5,109	0,253	0,948	3,607	4,419	4,963	6,123	6,661	0,493
BN-7	15	5,338	0,312	1,208	3,496	4,450	5,419	6,102	7,367	0,707
BN-8	17	5,252	0,220	0,906	3,779	4,610	5,120	5,668	7,679	0,683
BN-9	17	5,286	0,270	1,114	3,191	4,570	5,161	6,347	7,120	0,404
BN_1-5	78	5,090	0,107	0,944	3,210	4,400	5,033	5,784	7,085	0,504
BN_6-9	63	5,250	0,130	1,028	3,191	4,500	5,120	6,078	7,679	0,838
Σ BN	141	5,161	0,083	0,982	3,191	4,490	5,054	5,828	7,679	0,456

*Broj pored oznake raskrsnice odnosi se na čas istraživanja (1-prvi čas, 2-drugi čas, 1-5 od prvog do petog časa, itd.)

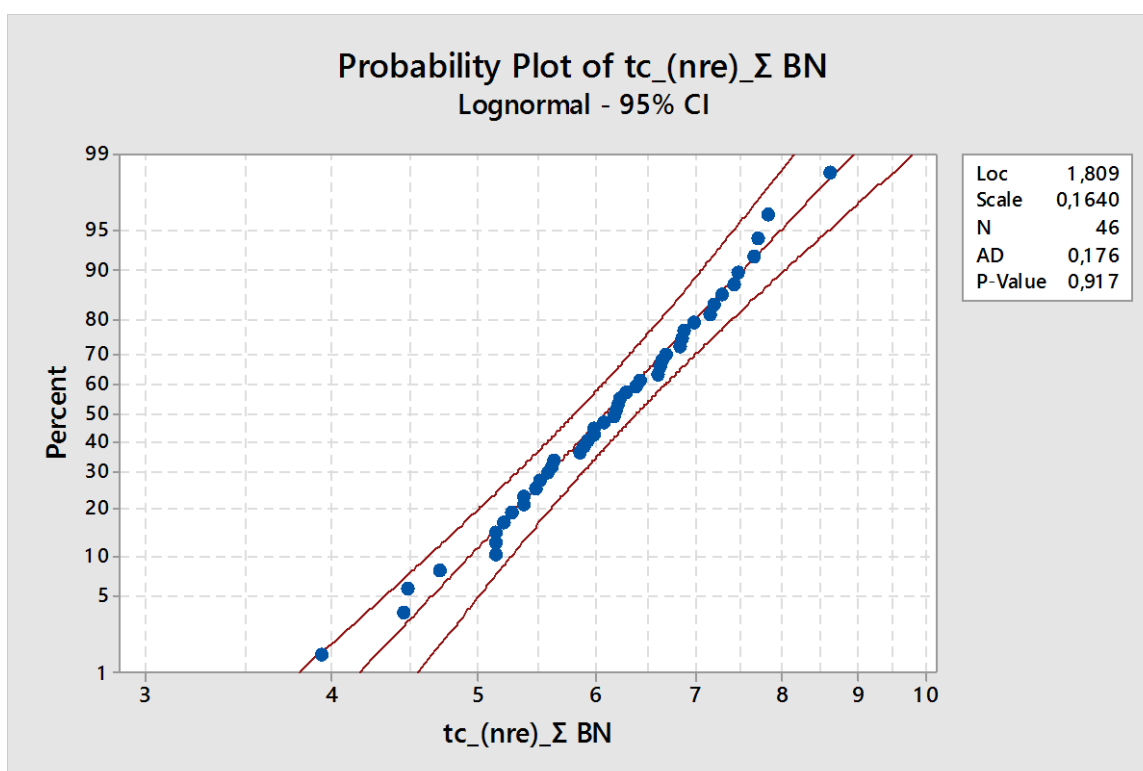
Prilog 2. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Bijeljini (Σ BN), uзорak rezidentni vozači



Prilog 3. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Bijeljini, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BN_1-5	26	5,955	0,188	0,960	3,940	5,348	5,878	6,625	7,834	0,888
BN_6-9	20	6,477	0,218	0,977	4,500	5,949	6,540	7,099	8,624	0,714
Σ BN	46	6,182	0,146	0,991	3,940	5,455	6,187	6,870	8,624	0,917

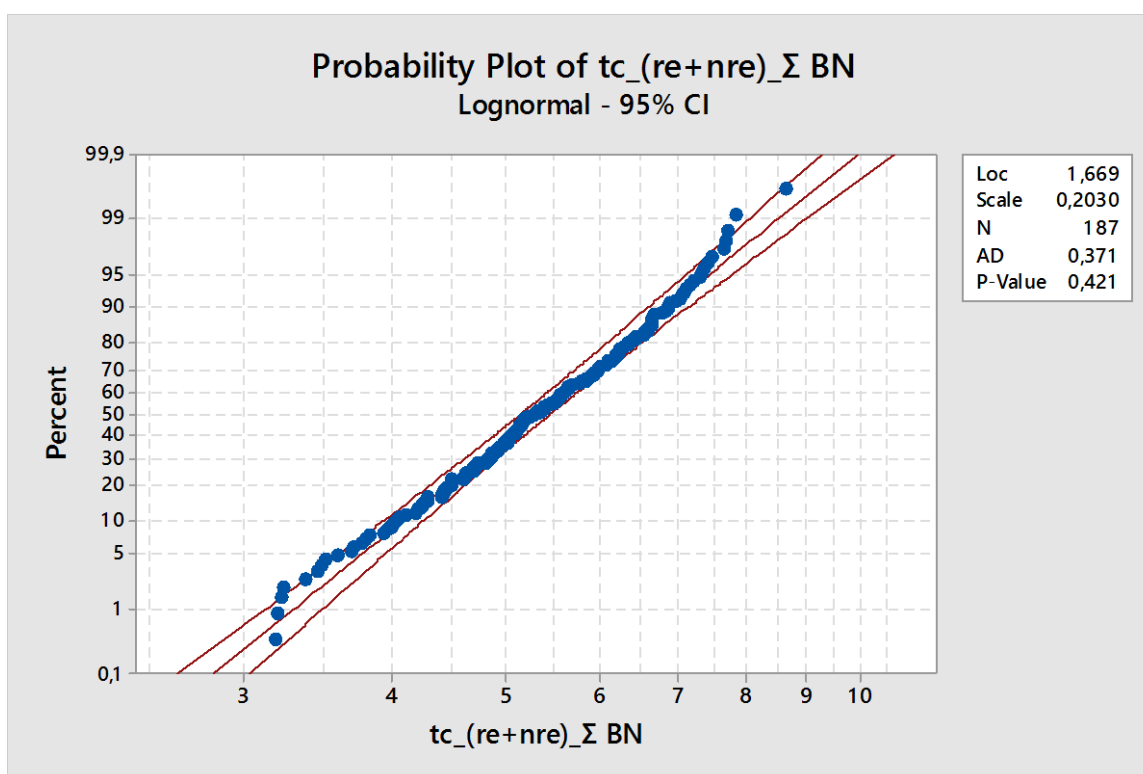
Prilog 4. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 5. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BN-1	23	5,002	0,228	1,093	3,210	4,432	4,874	5,852	7,208	0,123
BN-2	24	5,529	0,227	1,112	3,720	4,433	5,412	6,478	7,834	0,387
BN-3	25	5,543	0,205	1,027	3,812	4,927	5,567	6,196	7,713	0,316
BN-4	16	5,455	0,164	0,657	4,708	4,903	5,297	5,857	6,981	0,259
BN-5	16	4,887	0,223	0,892	3,470	4,265	4,800	5,287	7,044	0,886
BN-6	20	5,441	0,236	1,055	3,607	4,612	5,154	6,214	7,480	0,876
BN-7	19	5,627	0,320	1,393	3,496	4,500	5,640	6,840	8,624	0,904
BN-8	21	5,545	0,227	1,039	3,779	4,817	5,611	6,210	7,679	0,977
BN-9	23	5,570	0,237	1,138	3,191	4,981	5,180	6,439	7,659	0,261
BN_1-5	104	5,306	0,100	1,016	3,210	4,648	5,249	5,983	7,834	0,593
BN_6-9	83	5,545	0,125	1,140	3,191	4,700	5,419	6,354	8,624	0,542
Σ BN	187	5,412	0,079	1,076	3,191	4,696	5,308	6,200	8,624	0,421

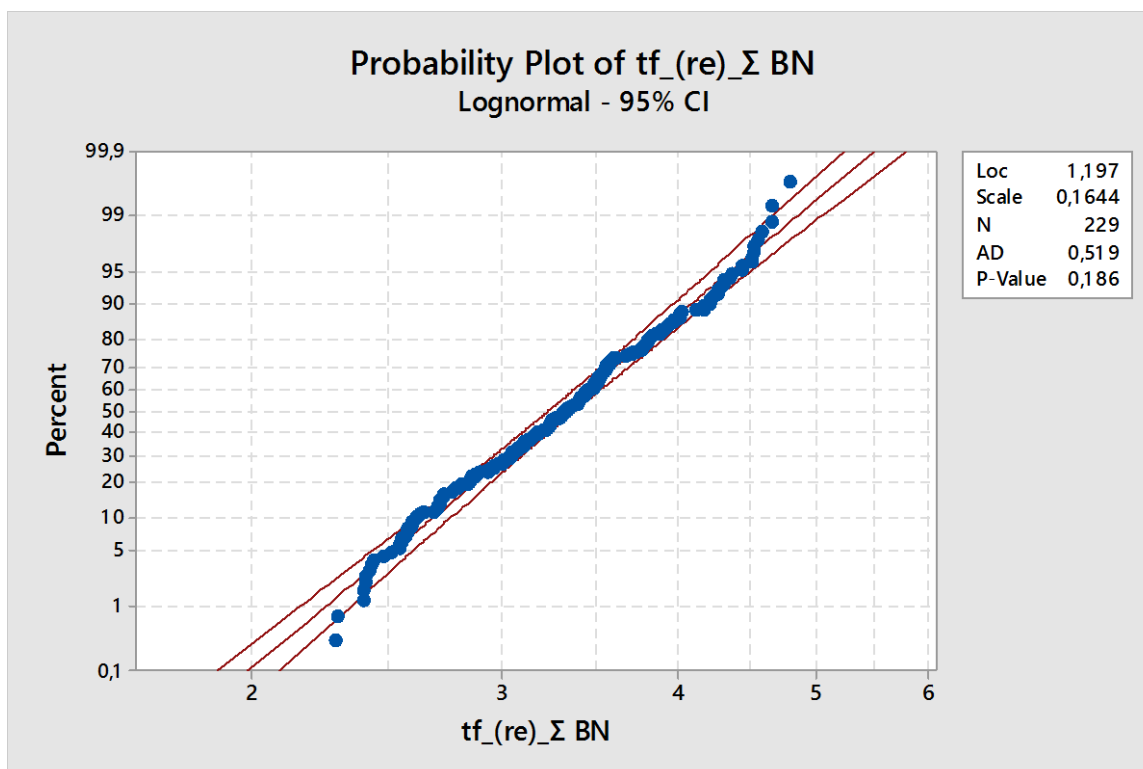
Prilog 6. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 7. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BN-1	25	3,174	0,111	0,554	2,399	2,793	3,078	3,517	4,663	0,803
BN-2	31	3,446	0,103	0,575	2,296	3,054	3,413	3,881	4,665	0,656
BN-3	43	3,233	0,078	0,509	2,431	2,798	3,154	3,516	4,435	0,431
BN-4	32	3,407	0,082	0,462	2,413	3,149	3,337	3,584	4,517	0,122
BN-5	23	3,289	0,130	0,626	2,401	2,768	3,314	3,566	4,796	0,507
BN-6	24	3,273	0,099	0,485	2,439	2,793	3,298	3,645	4,272	0,529
BN-7	17	3,534	0,147	0,604	2,303	3,151	3,507	4,095	4,263	0,117
BN-8	18	3,482	0,125	0,530	2,691	2,989	3,511	3,811	4,560	0,781
BN-9	16	3,584	0,164	0,655	2,579	3,144	3,450	4,317	4,576	0,510
BN_1-5	154	3,311	0,044	0,542	2,296	2,942	3,294	3,563	4,796	0,441
BN_6-9	75	3,449	0,065	0,565	2,303	3,031	3,437	3,824	4,576	0,330
Σ BN	229	3,356	0,036	0,552	2,296	2,959	3,332	3,705	4,796	0,186

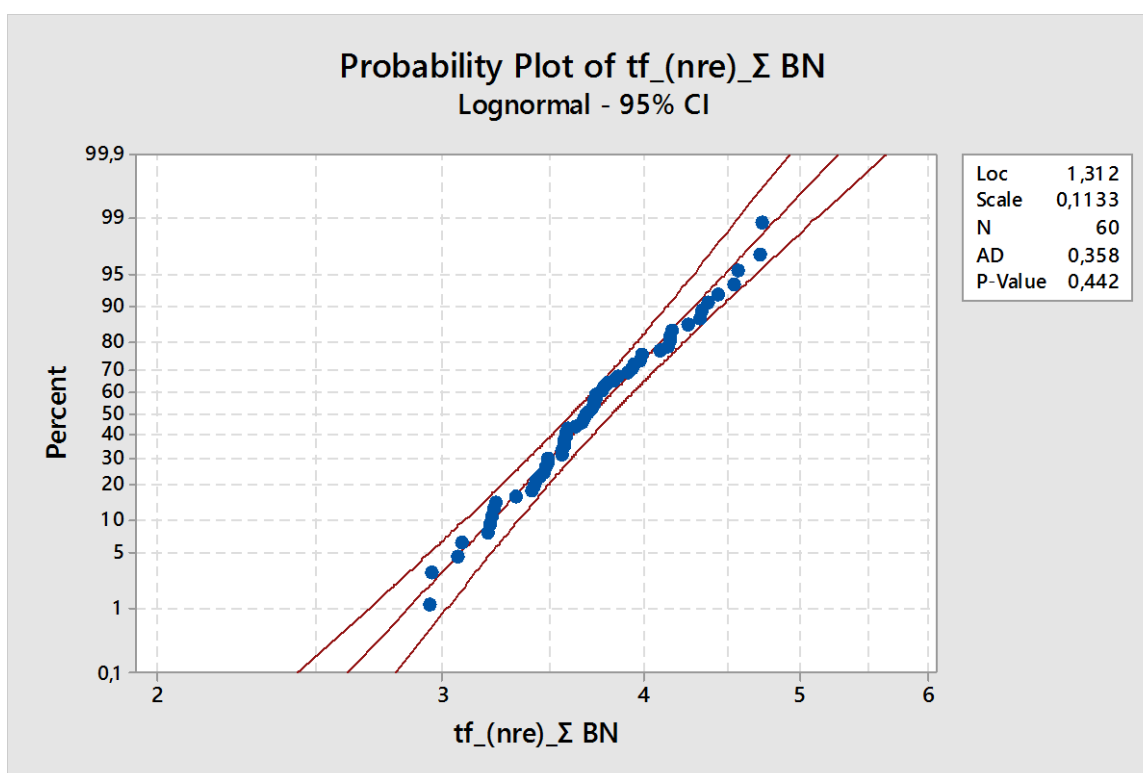
Prilog 8. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni vozači



Prilog 9. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Bijeljini, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BN_1-5	33	3,696	0,071	0,409	2,946	3,424	3,674	3,958	4,568	0,880
BN_6-9	27	3,790	0,087	0,452	2,954	3,553	3,692	4,152	4,731	0,477
Σ BN	60	3,739	0,055	0,428	2,946	3,467	3,687	3,985	4,731	0,442

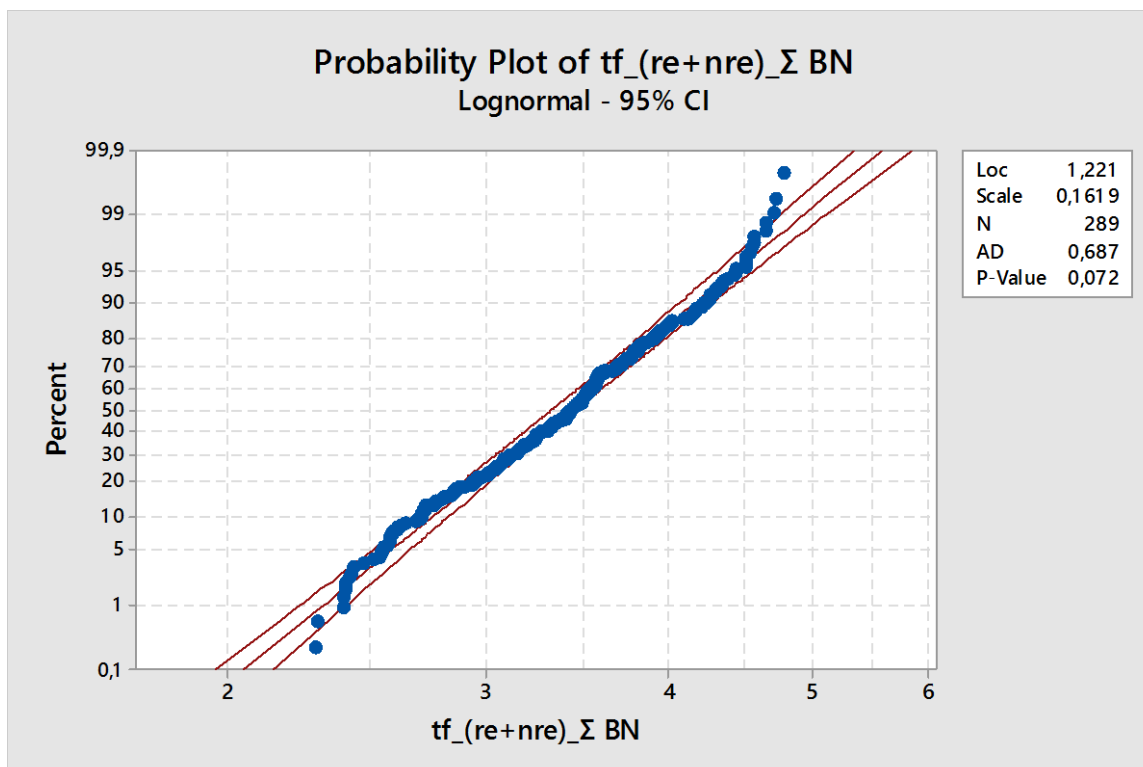
Prilog 10. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 11. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Bijeljini, uzorak rezidentni + nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BN-1	30	3,243	0,097	0,534	2,399	2,871	3,214	3,530	4,663	0,841
BN-2	36	3,522	0,097	0,582	2,296	3,137	3,487	3,932	4,665	0,519
BN-3	50	3,303	0,075	0,530	2,431	2,861	3,239	3,595	4,542	0,542
BN-4	41	3,485	0,074	0,475	2,413	3,171	3,430	3,725	4,517	0,506
BN-5	30	3,327	0,104	0,567	2,401	3,002	3,370	3,600	4,796	0,486
BN-6	29	3,346	0,091	0,491	2,439	2,920	3,362	3,668	4,348	0,307
BN-7	24	3,649	0,123	0,604	2,303	3,235	3,755	4,169	4,731	0,121
BN-8	24	3,592	0,110	0,540	2,691	3,231	3,580	3,875	4,711	0,737
BN-9	25	3,606	0,115	0,574	2,579	3,234	3,578	4,016	4,576	0,691
BN_1-5	187	3,379	0,039	0,541	2,296	3,011	3,367	3,725	4,796	0,394
BN_6-9	102	3,539	0,055	0,556	2,303	3,181	3,548	3,862	4,731	0,154
Σ BN	289	3,435	0,032	0,551	2,296	3,055	3,434	3,786	4,796	0,072

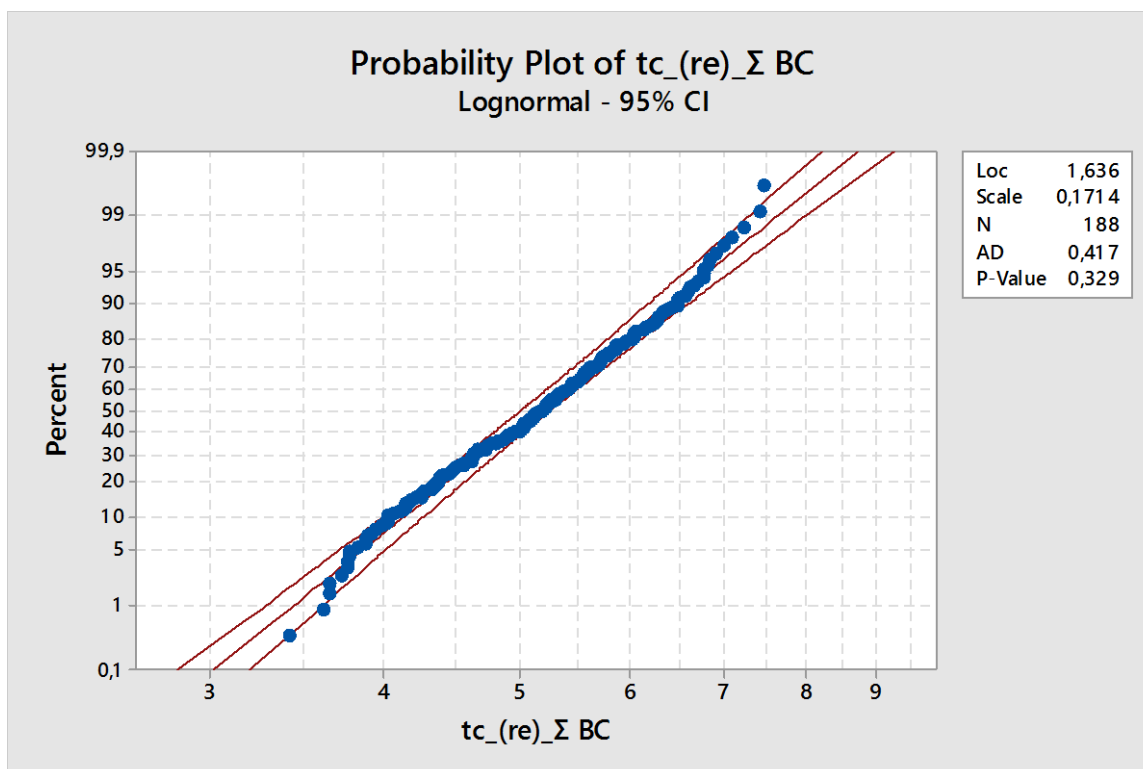
Prilog 12. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Bijeljini (Σ BN), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 13. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BC-1	9	5,204	0,328	0,983	3,424	4,330	5,515	5,807	6,584	0,137
BC-2	13	4,846	0,143	0,516	4,018	4,433	4,870	5,140	5,860	0,991
BC-3	23	5,234	0,184	0,881	3,659	4,733	5,122	5,880	6,775	0,641
BC-4	30	5,096	0,185	1,015	3,615	4,133	5,053	6,024	7,094	0,205
BC-5	27	4,831	0,175	0,910	3,658	4,146	4,781	5,340	7,232	0,608
BC-6	23	5,216	0,172	0,825	3,940	4,560	5,220	5,779	6,901	0,933
BC-7	24	5,528	0,174	0,854	3,879	4,849	5,540	6,152	7,419	0,495
BC-8	20	5,432	0,172	0,771	4,360	4,659	5,360	5,936	7,001	0,554
BC-9	19	5,496	0,203	0,884	3,881	5,040	5,279	6,201	7,485	0,661
BC_1-5	102	5,034	0,089	0,903	3,424	4,269	5,009	5,689	7,232	0,407
BC_6-9	86	5,415	0,089	0,829	3,879	4,705	5,371	5,980	7,485	0,576
Σ BC	188	5,209	0,065	0,888	3,424	4,513	5,193	5,780	7,485	0,329

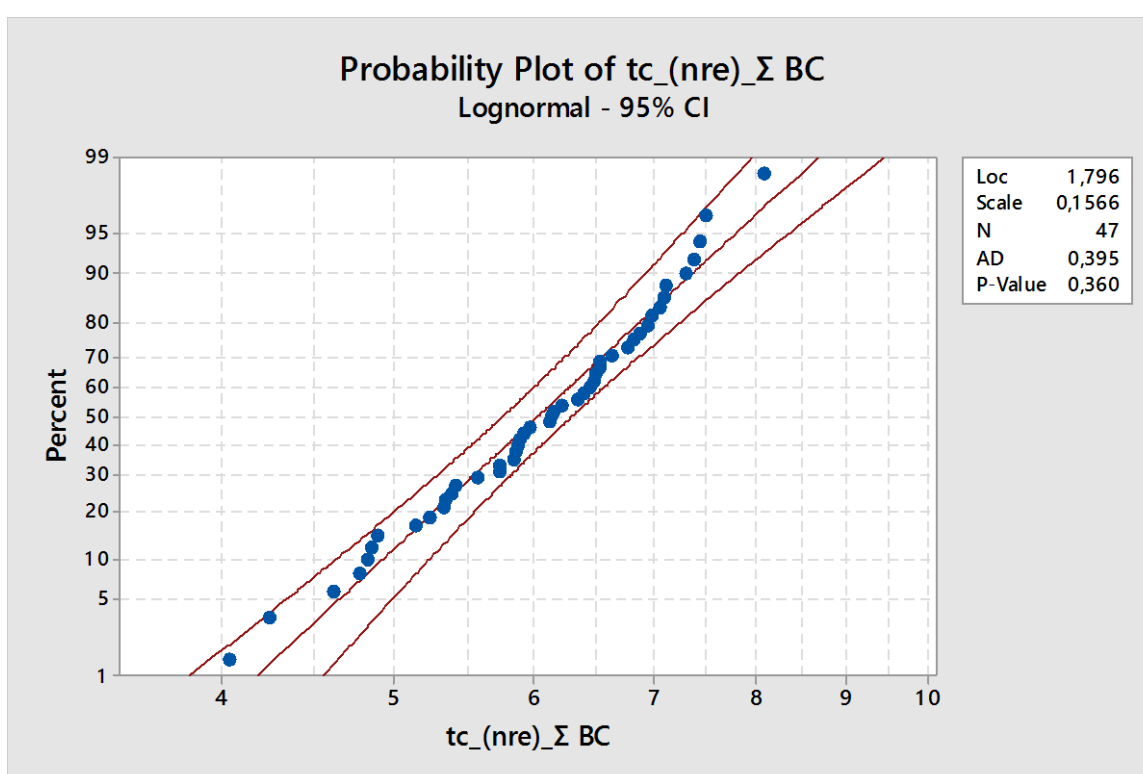
Prilog 14. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni vozači



Prilog 15. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BC_1-5	23	5,912	0,203	0,976	4,039	5,355	5,922	6,479	8,087	0,566
BC_6-9	24	6,274	0,173	0,845	4,839	5,507	6,441	6,987	7,440	0,058
Σ BC	47	6,096	0,134	0,920	4,039	5,389	6,144	6,835	8,087	0,360

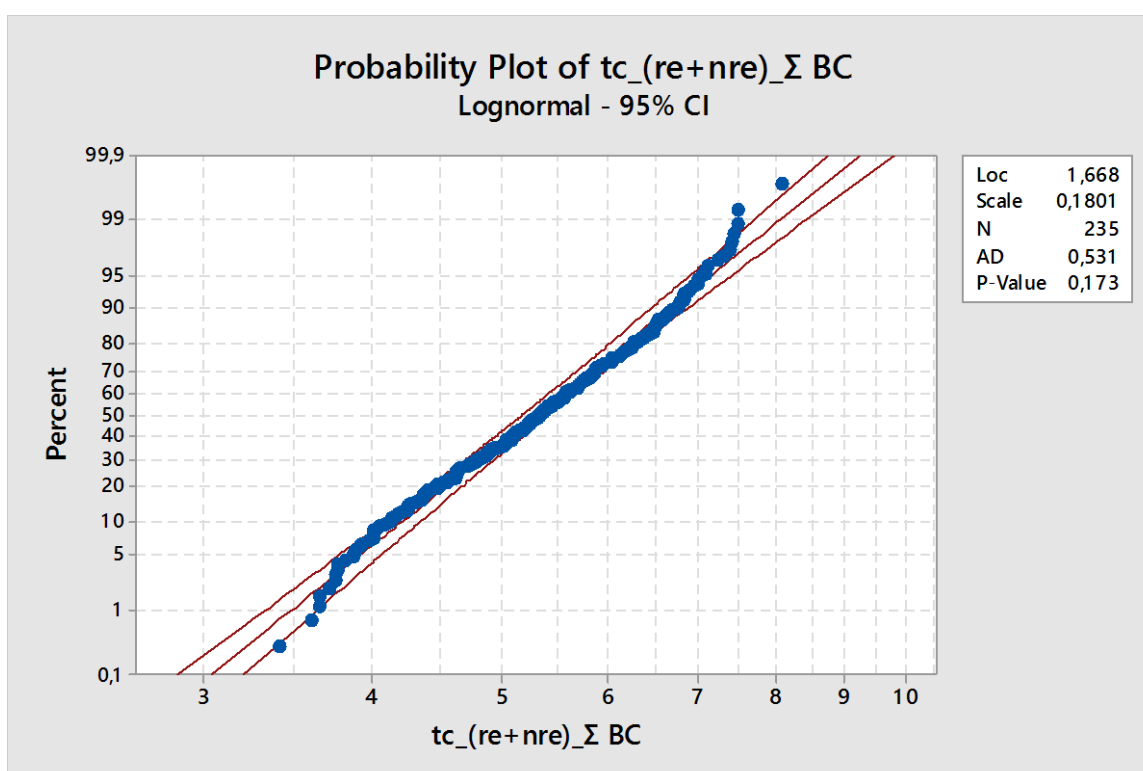
Prilog 16. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 17. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BC-1	12	5,487	0,297	1,029	3,424	4,665	5,581	6,115	7,128	0,111
BC-2	17	5,111	0,232	0,956	4,018	4,433	4,940	5,559	8,087	0,245
BC-3	28	5,320	0,162	0,855	3,659	4,790	5,167	6,090	6,775	0,507
BC-4	36	5,178	0,172	1,032	3,615	4,151	5,101	6,054	7,094	0,077
BC-5	32	5,044	0,180	1,016	3,658	4,214	4,952	5,735	7,497	0,708
BC-6	29	5,401	0,176	0,948	3,940	4,672	5,310	6,099	7,380	0,922
BC-7	30	5,624	0,166	0,908	3,879	4,884	5,540	6,376	7,419	0,846
BC-8	27	5,760	0,174	0,903	4,360	5,079	5,699	6,532	7,440	0,360
BC-9	24	5,642	0,173	0,849	3,881	5,116	5,532	6,284	7,485	0,932
BC_1-5	125	5,196	0,087	0,974	3,424	4,385	5,120	5,856	8,087	0,291
BC_6-9	110	5,602	0,086	0,902	3,879	4,888	5,514	6,288	7,485	0,424
Σ BC	235	5,386	0,063	0,961	3,424	4,639	5,340	6,040	8,087	0,173

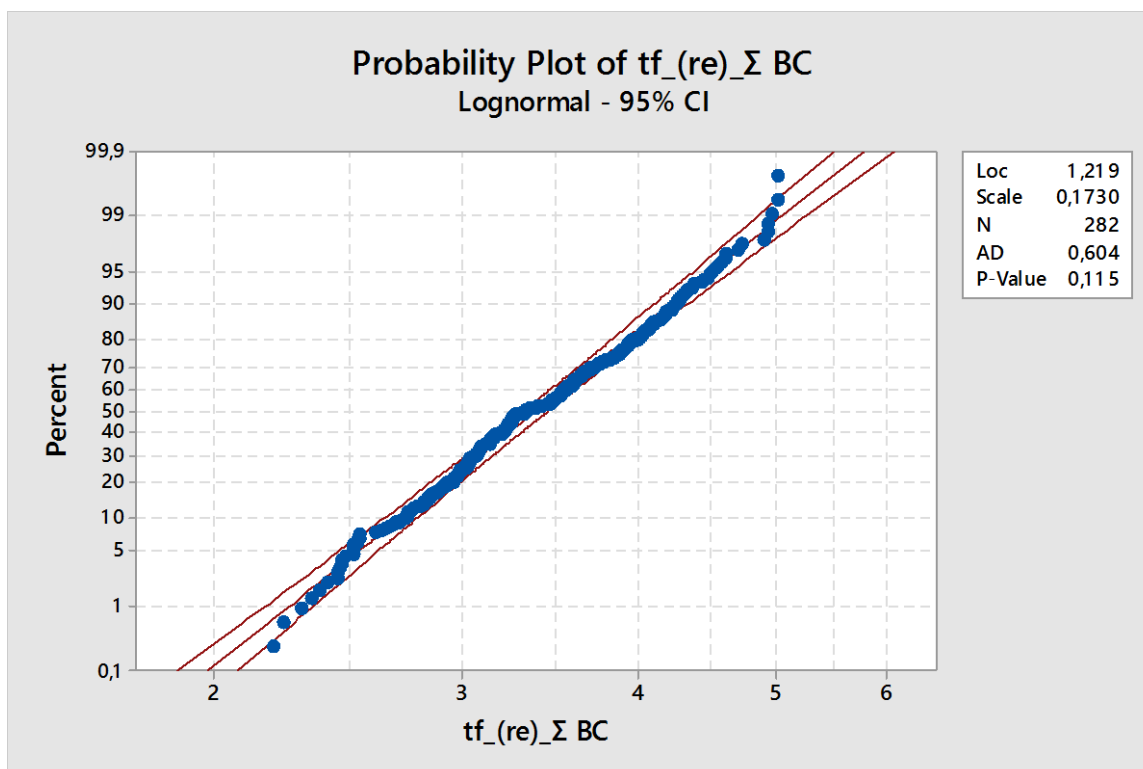
Prilog 18. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 19. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BC-1	36	3,306	0,082	0,492	2,451	3,024	3,250	3,605	4,260	0,647
BC-2	34	3,352	0,088	0,514	2,312	2,961	3,290	3,638	4,504	0,512
BC-3	49	3,324	0,092	0,644	2,203	2,836	3,231	3,824	4,950	0,628
BC-4	38	3,470	0,103	0,634	2,406	2,991	3,282	3,930	4,940	0,226
BC-5	29	3,523	0,116	0,624	2,463	3,078	3,397	3,918	5,024	0,982
BC-6	23	3,442	0,110	0,525	2,536	2,981	3,517	3,770	4,481	0,378
BC-7	20	3,526	0,135	0,605	2,511	3,014	3,448	4,007	4,979	0,574
BC-8	24	3,507	0,141	0,688	2,532	2,842	3,406	4,090	4,904	0,452
BC-9	29	3,615	0,114	0,612	2,448	3,149	3,588	4,017	5,030	0,454
BC_1-5	186	3,386	0,043	0,589	2,203	2,984	3,263	3,791	5,024	0,226
BC_6-9	96	3,528	0,062	0,605	2,448	3,049	3,518	3,992	5,030	0,537
Σ BC	282	3,435	0,036	0,597	2,203	3,015	3,329	3,875	5,030	0,115

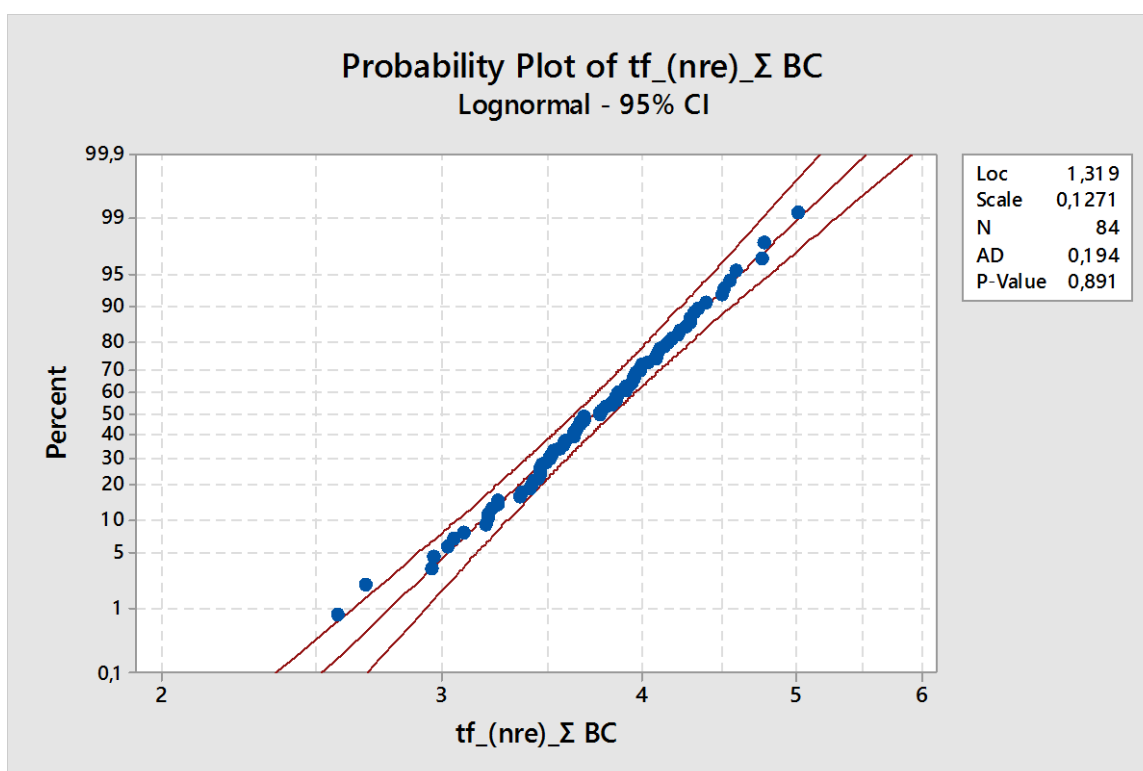
Prilog 20. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni vozači



Prilog 21. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BC_1-5	50	3,708	0,062	0,437	2,579	3,460	3,639	4,012	4,784	0,585
BC_6-9	34	3,857	0,088	0,513	2,687	3,455	3,924	4,139	5,014	0,572
Σ BC	84	3,768	0,051	0,472	2,579	3,459	3,768	4,090	5,014	0,891

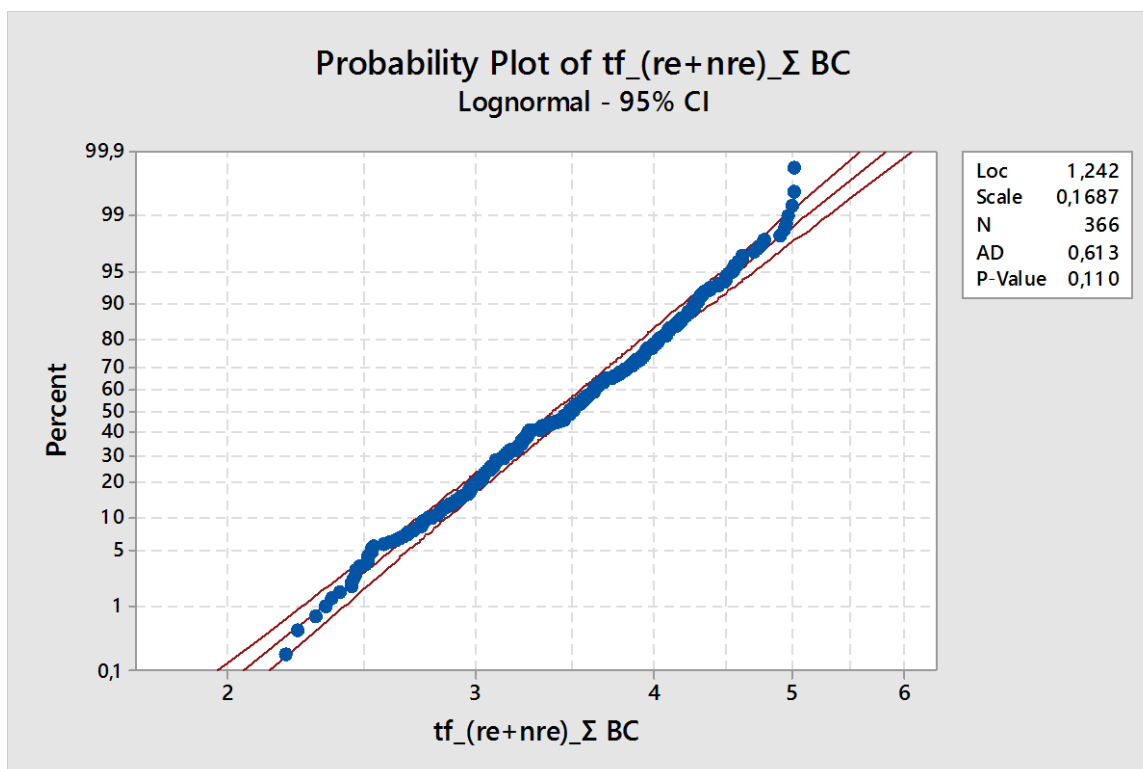
Prilog 22. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 23. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Brčkom, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
BC-1	40	3,342	0,078	0,493	2,451	3,032	3,263	3,711	4,260	0,642
BC-2	43	3,393	0,077	0,504	2,312	3,993	3,368	3,658	4,504	0,937
BC-3	64	3,405	0,076	0,607	2,203	2,983	3,467	3,860	4,950	0,247
BC-4	52	3,562	0,087	0,627	2,406	3,034	3,502	4,079	4,940	0,260
BC-5	37	3,581	0,095	0,580	2,463	3,116	3,623	3,936	5,024	0,956
BC-6	29	3,532	0,097	0,524	2,536	3,140	3,594	3,983	4,481	0,188
BC-7	27	3,640	0,110	0,570	2,511	3,227	3,606	4,032	4,979	0,930
BC-8	34	3,637	0,121	0,706	2,532	3,030	3,554	4,181	5,014	0,537
BC-9	40	3,636	0,093	0,586	2,448	3,169	3,615	4,023	5,030	0,538
BC_1-5	236	3,455	0,037	0,574	2,203	3,039	3,454	3,861	5,024	0,465
BC_6-9	130	3,614	0,052	0,599	2,448	3,178	3,581	4,035	5,030	0,259
Σ BC	366	3,511	0,031	0,587	2,203	3,073	3,495	3,934	5,030	0,110

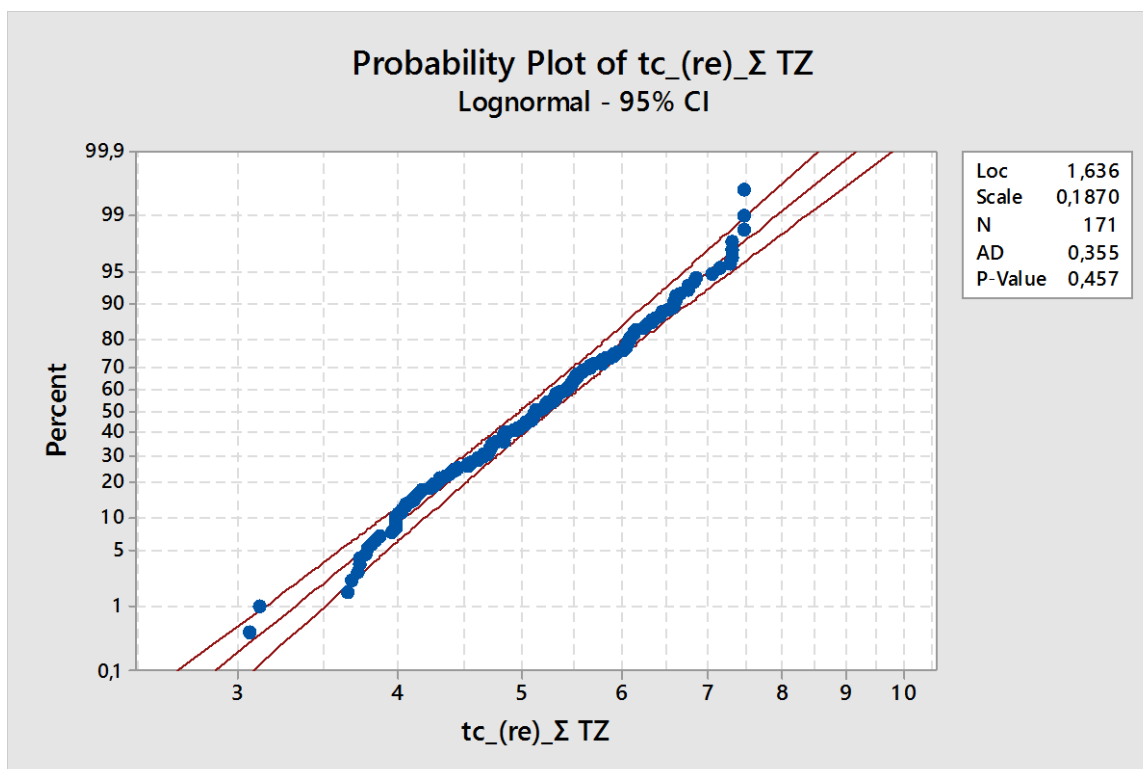
Prilog 24. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Brčkom (Σ BC), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 25. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
TZ-1	31	4,967	0,173	0,961	3,060	4,140	4,936	5,781	7,320	0,681
TZ-2	30	5,072	0,161	0,880	3,738	4,544	5,005	5,617	7,067	0,635
TZ-3	29	5,173	0,176	0,946	3,120	4,425	5,255	6,026	7,160	0,459
TZ-4	32	5,377	0,151	0,856	4,060	4,797	5,315	5,832	7,320	0,373
TZ-5	31	5,417	0,191	1,061	3,728	4,561	5,359	6,080	7,480	0,545
TZ-6	18	5,378	0,277	1,175	3,652	4,267	5,358	6,600	7,482	0,548
TZ_1-3	90	5,068	0,097	0,923	3,060	4,321	5,088	5,783	7,320	0,548
TZ_4-6	81	5,393	0,111	1,000	3,652	4,649	5,320	6,072	7,482	0,518
Σ TZ	171	5,222	0,074	0,971	3,060	4,459	5,139	5,920	7,482	0,457

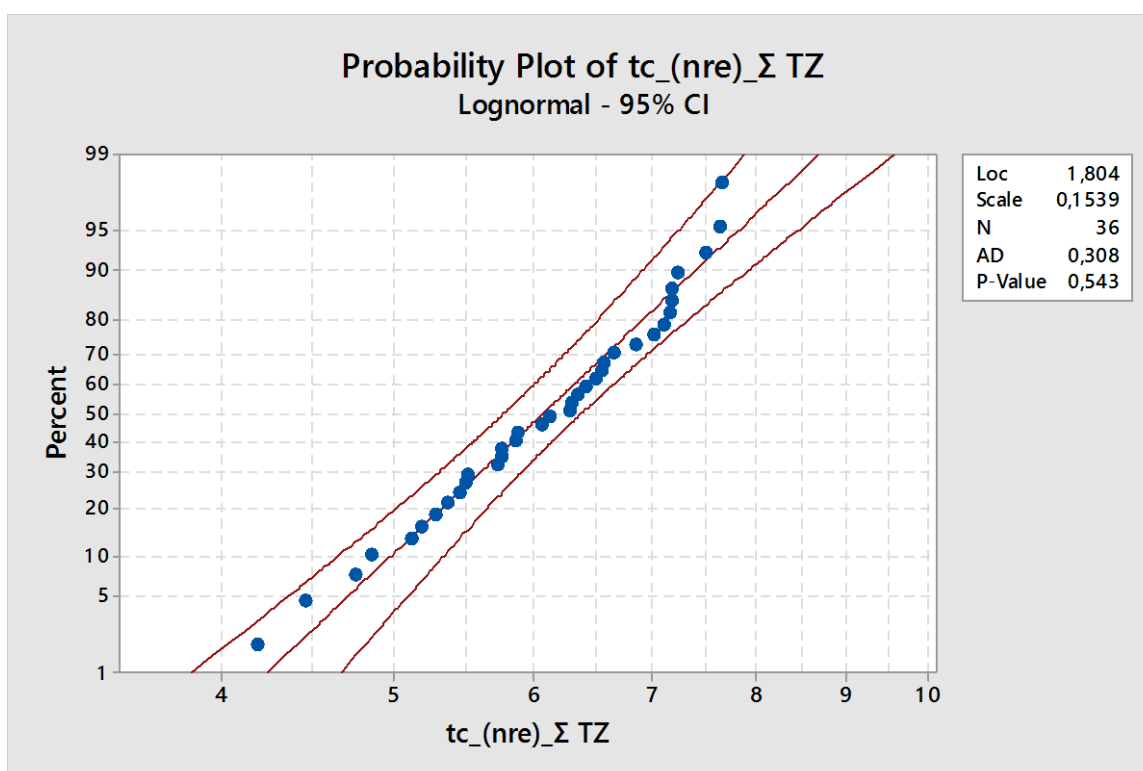
Prilog 26. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni vozači



Prilog 27. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
TZ_1-3	18	5,972	0,228	0,967	4,202	5,444	5,867	6,600	7,662	0,530
TZ_4-6	18	6,315	0,200	0,850	4,860	5,438	6,464	7,117	7,508	0,051
Σ TZ	36	6,144	0,152	0,914	4,202	5,469	6,215	6,979	7,662	0,543

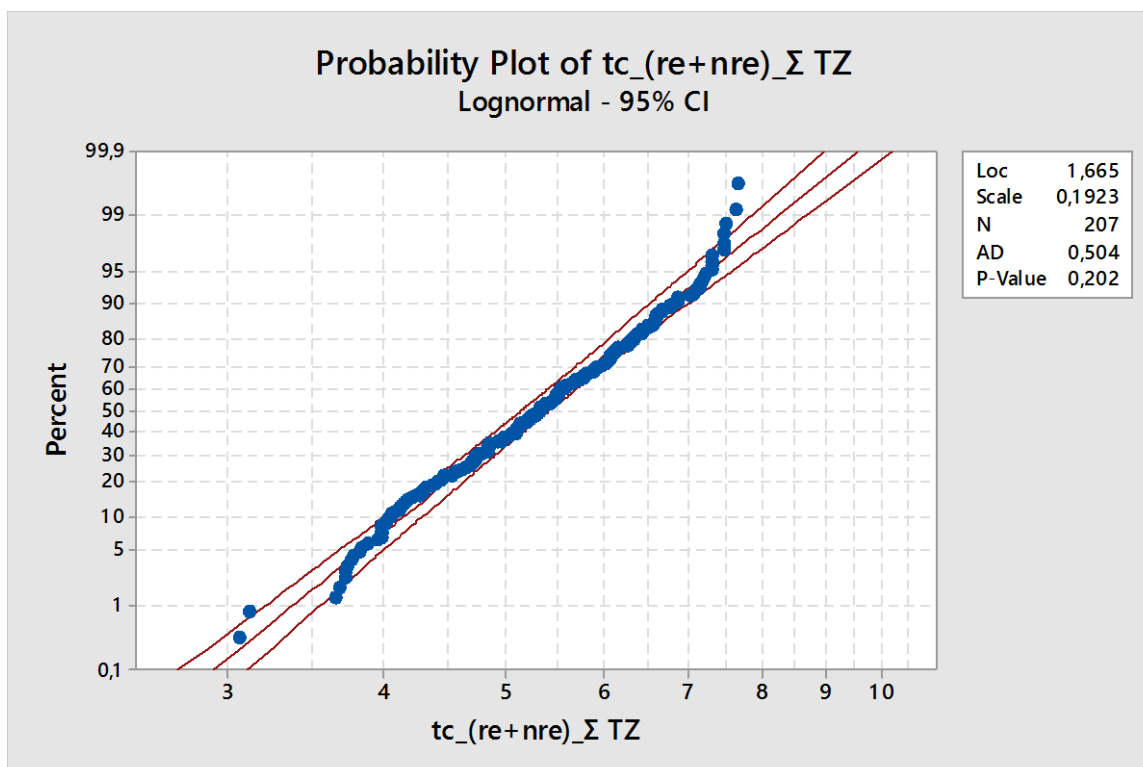
Prilog 28. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 29. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
TZ-1	36	5,043	0,170	1,021	3,060	4,182	4,973	5,777	7,649	0,666
TZ-2	37	5,228	0,150	0,911	3,738	4,673	5,099	5,918	7,189	0,732
TZ-3	35	5,391	0,173	1,022	3,120	4,581	5,444	6,116	7,662	0,317
TZ-4	37	5,439	0,143	0,873	4,060	4,851	5,320	5,987	7,320	0,190
TZ-5	37	5,616	0,182	1,108	3,728	4,649	5,641	6,463	7,508	0,322
TZ-6	25	5,658	0,232	1,159	3,652	4,633	5,537	6,678	7,482	0,234
TZ_1-3	108	5,219	0,095	0,986	3,060	4,173	5,159	5,939	7,662	0,471
TZ_4-6	99	5,560	0,104	1,034	3,652	4,782	5,460	6,422	7,508	0,128
Σ TZ	207	5,390	0,071	1,021	3,060	4,643	5,320	6,080	7,662	0,202

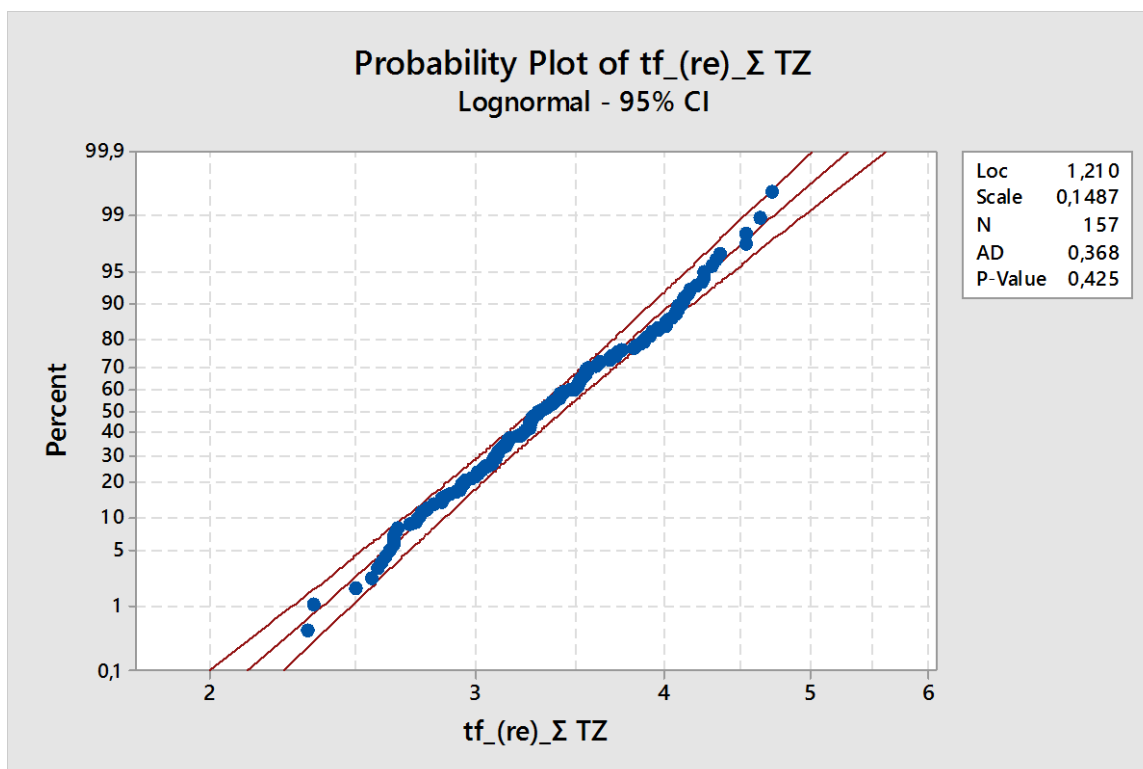
Prilog 30. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 31. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
TZ-1	30	3,380	0,061	0,336	2,769	3,153	3,304	3,621	4,261	0,865
TZ-2	23	3,253	0,083	0,399	2,347	3,032	3,219	3,543	4,207	0,470
TZ-3	25	3,355	0,115	0,573	2,648	2,922	3,234	3,845	4,732	0,143
TZ-4	26	3,607	0,104	0,531	2,661	3,240	3,479	4,090	4,641	0,811
TZ-5	28	3,379	0,107	0,564	2,503	2,952	3,310	3,995	4,344	0,289
TZ-6	25	3,360	0,115	0,577	2,321	2,899	3,284	3,798	4,541	0,920
TZ_1-3	78	3,335	0,050	0,440	2,347	3,049	3,268	3,554	4,732	0,595
TZ_4-6	79	3,448	0,063	0,562	2,321	3,041	3,402	3,928	4,641	0,268
Σ TZ	157	3,392	0,040	0,506	2,321	3,048	3,327	3,722	4,732	0,425

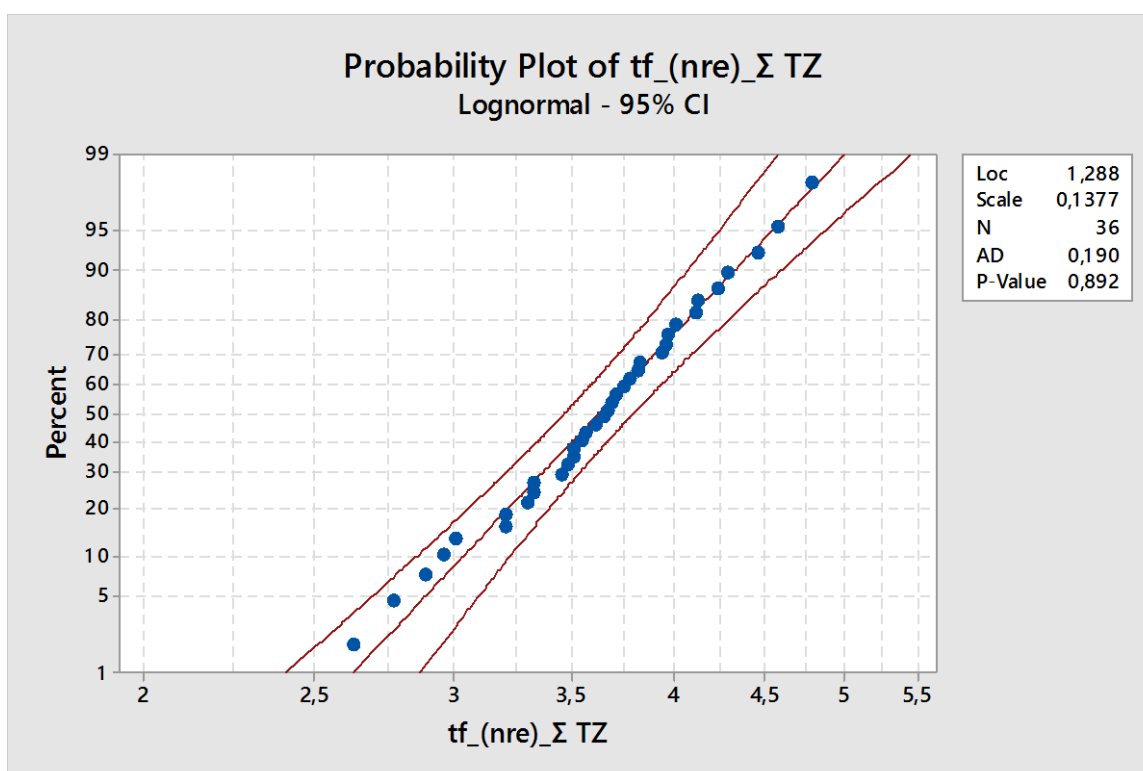
Prilog 32. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni vozači



Prilog 33. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
TZ_1-5	21	3,567	0,103	0,470	2,632	3,317	3,564	3,954	4,297	0,201
TZ_6-9	15	3,787	0,134	0,520	3,011	3,334	3,746	4,012	4,791	0,689
Σ TZ	36	3,659	0,083	0,497	2,632	3,332	3,661	3,964	4,791	0,892

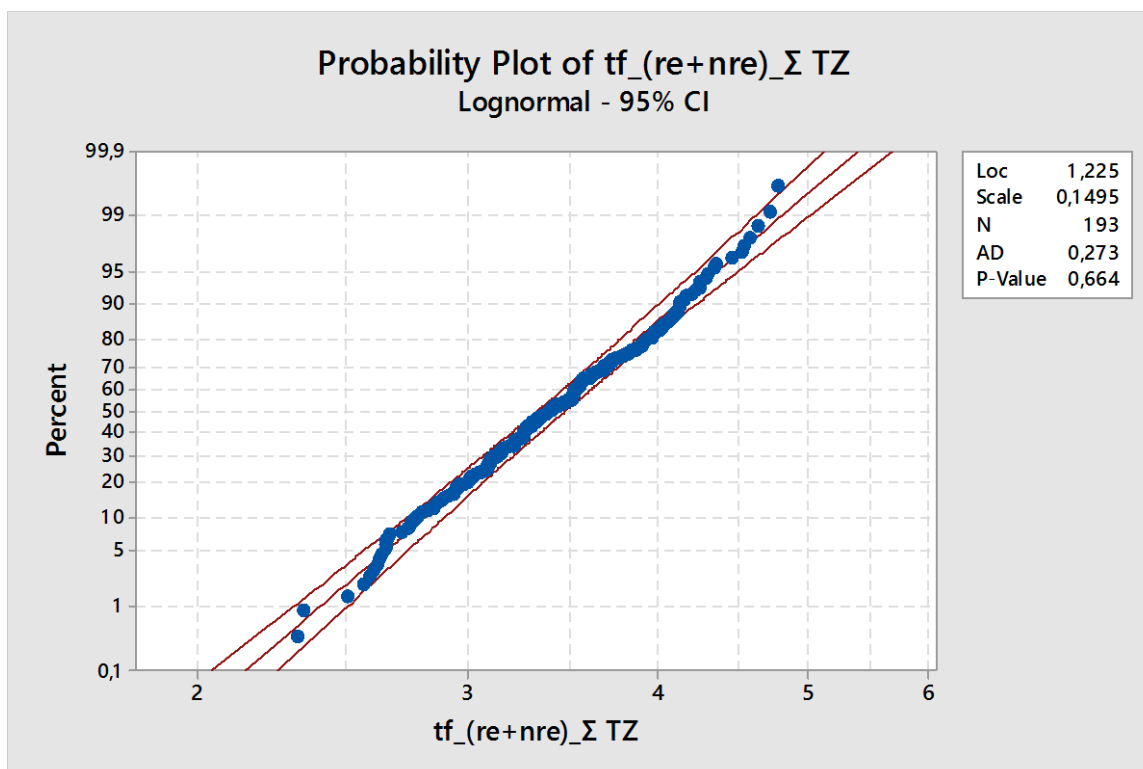
Prilog 34. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak nerezidentni vozači



Prilog 35. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Tuzli, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za ln
TZ-1	38	3,450	0,066	0,405	2,769	3,153	3,401	3,691	4,297	0,728
TZ-2	29	3,303	0,076	0,408	2,347	3,056	3,272	3,554	4,207	0,812
TZ-3	32	3,379	0,096	0,542	2,632	2,933	3,337	3,695	4,732	0,445
TZ-4	32	3,599	0,091	0,515	2,661	3,232	3,443	4,045	4,641	0,613
TZ-5	32	3,412	0,097	0,551	2,503	2,990	3,365	3,991	4,344	0,246
TZ-6	30	3,495	0,116	0,635	2,321	3,010	3,539	3,965	4,791	0,792
TZ_1-3	99	3,384	0,046	0,454	2,347	3,080	3,327	3,637	4,732	0,807
TZ_4-6	94	3,502	0,058	0,567	2,321	3,103	3,443	3,965	4,791	0,431
Σ TZ	193	3,442	0,037	0,514	2,321	3,086	3,391	3,818	4,791	0,664

Prilog 36. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Tuzli (Σ TZ), uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



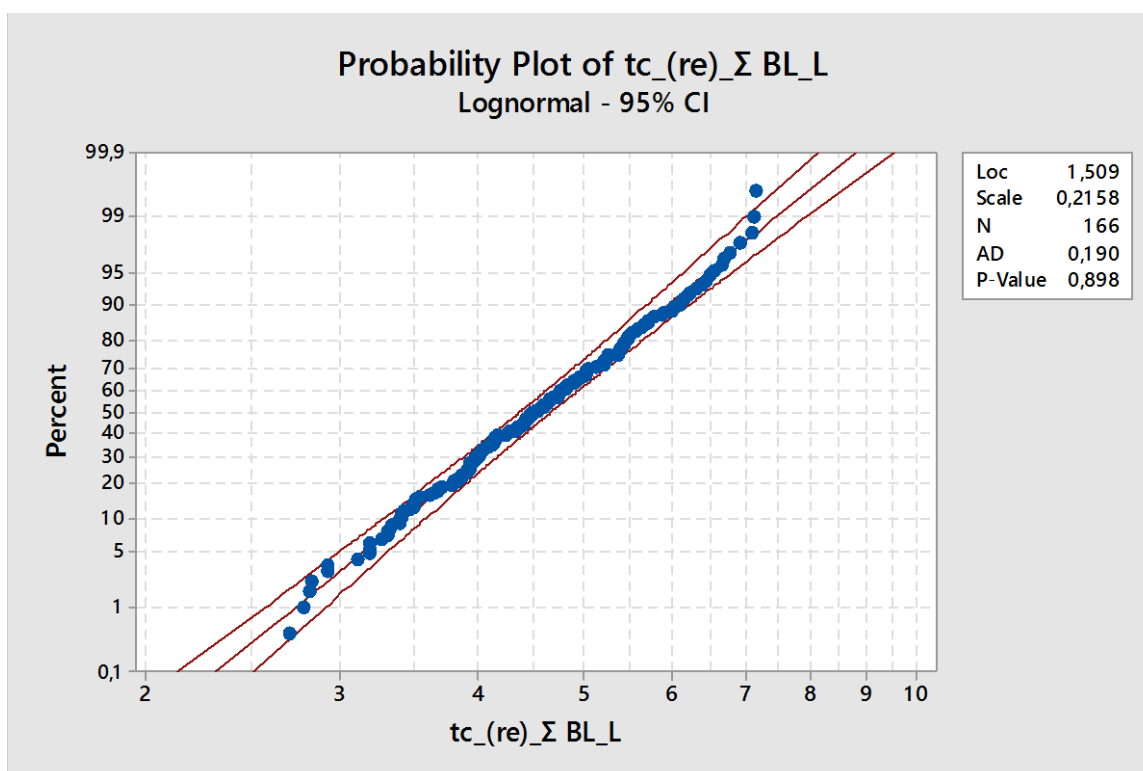
Prilog 37. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_L-1	34	4,565	0,169	0,983	2,820	3,906	4,420	5,385	7,120	0,922
BL_L-2	31	4,787	0,149	0,827	3,339	4,037	4,894	5,401	6,242	0,438
BL_L-3	34	4,763	0,195	1,138	2,839	4,018	4,667	5,620	7,108	0,616
BL_L-4	33	4,596	0,182	1,044	3,120	3,882	4,400	5,380	6,917	0,506
BL_L-5	34	4,445	0,169	0,984	2,702	3,829	4,377	5,147	7,156	0,940
Σ BL_L	166	4,629	0,078	0,999	2,702	3,932	4,511	5,286	7,156	0,898

*Slovo pored oznake raskrsnice odnosi se na ulaznu saobraćajnu traku (L-leva)

*Broj pored oznake raskrsnice odnosi se na čas istraživanja (1-prvi čas, 2-drugi čas, itd.)

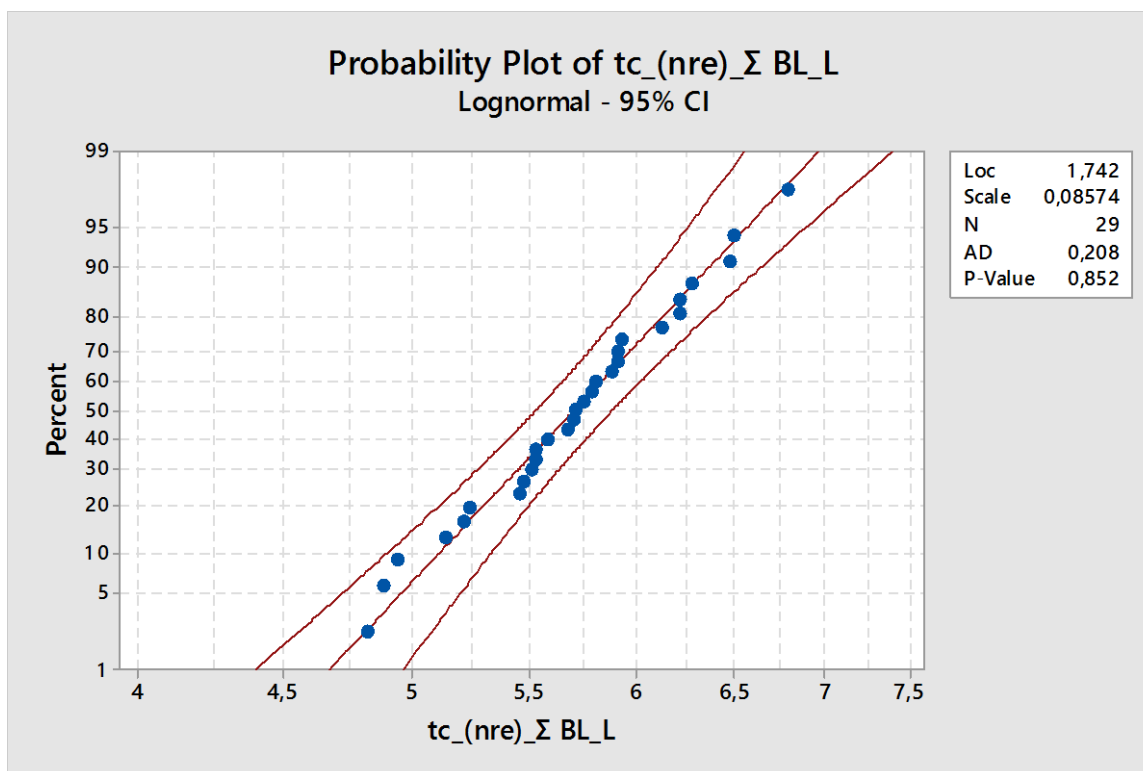
Prilog 38. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači



Prilog 39. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
Σ BL_L	29	5,729	0,091	0,489	4,825	5,473	5,720	6,033	6,803	0,852

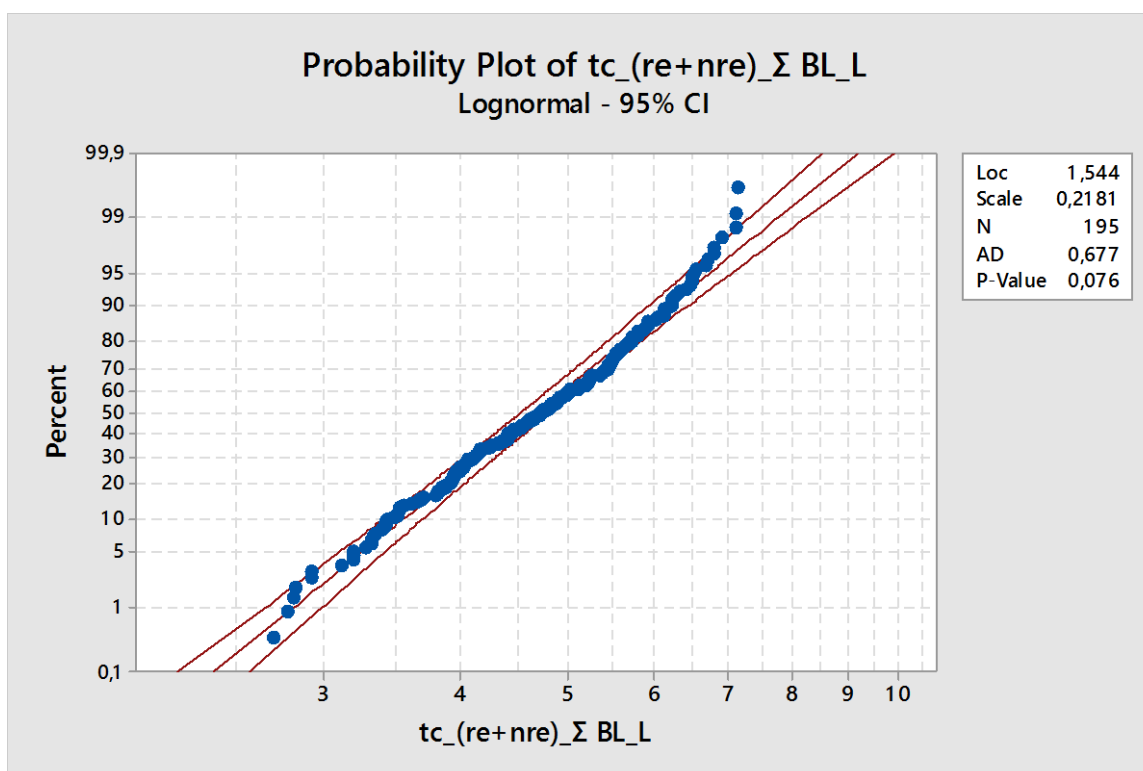
Prilog 40. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači



Prilog 41. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_L-1	38	4,722	0,172	1,058	2,820	3,955	4,543	5,465	7,120	0,908
BL_L-2	37	4,909	0,137	0,832	3,399	4,165	4,960	5,601	6,284	0,197
BL_L-3	40	4,926	0,178	1,125	2,839	4,145	4,781	5,758	7,108	0,380
BL_L-4	40	4,783	0,166	1,048	3,120	3,931	4,740	5,508	6,917	0,260
BL_L-5	40	4,626	0,161	1,017	2,702	3,893	4,466	5,430	7,156	0,942
Σ BL_L	195	4,792	0,073	1,019	2,702	3,989	4,752	5,530	7,156	0,076

Prilog 42. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



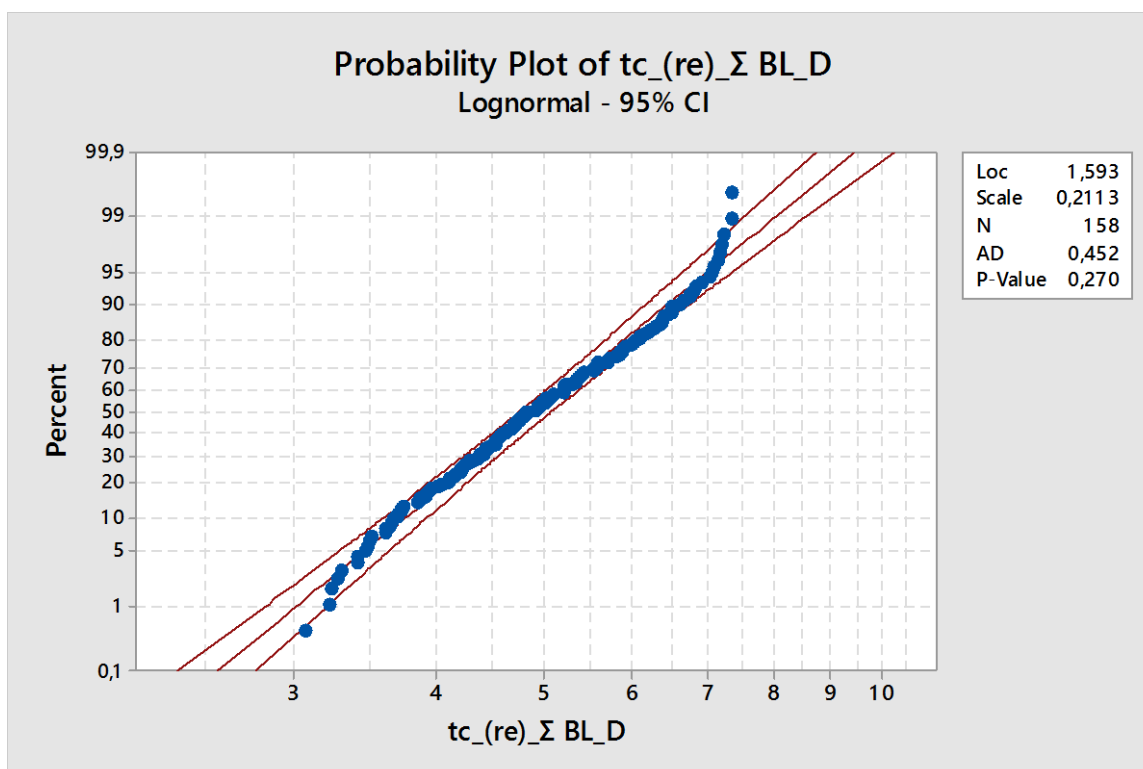
Prilog 43. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_D-1	34	4,866	0,181	1,055	3,302	3,961	4,773	5,770	7,059	0,473
BL_D-2	31	4,941	0,183	1,017	3,219	4,161	4,981	5,579	7,180	0,664
BL_D-3	34	5,187	0,189	1,101	3,490	4,257	5,010	6,060	7,358	0,624
BL_D-4	29	4,749	0,181	0,972	3,065	4,194	4,573	5,469	7,041	0,511
BL_D-5	30	5,403	0,199	1,091	3,708	4,502	5,306	6,376	7,346	0,346
Σ BL_D	158	5,030	0,084	1,062	3,065	4,230	4,873	5,841	7,358	0,270

*Slovo pored oznake raskrsnice odnosi se na ulaznu saobraćajnu traku (D-desna)

*Broj pored oznake raskrsnice odnosi se na čas istraživanja (1-prvi čas, 2-drugi čas, itd.)

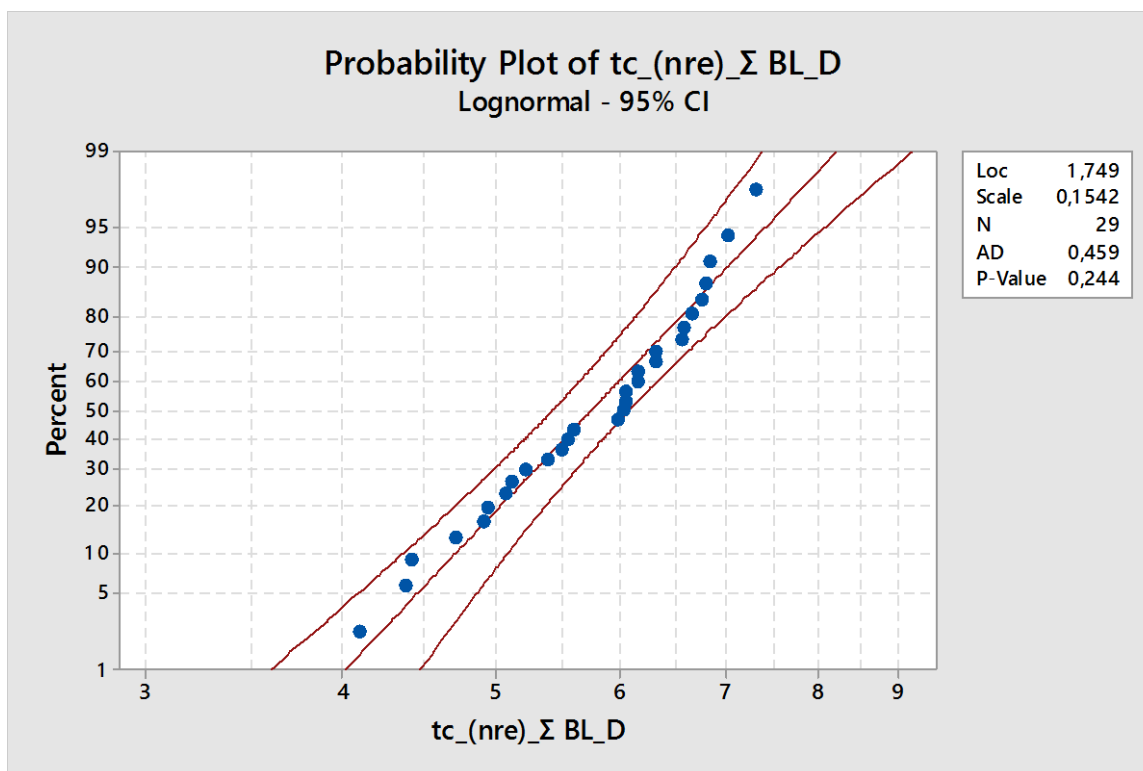
Prilog 44. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači



Prilog 45. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
Σ BL_D	29	5,814	0,160	0,863	4,100	5,097	6,039	6,578	7,321	0,244

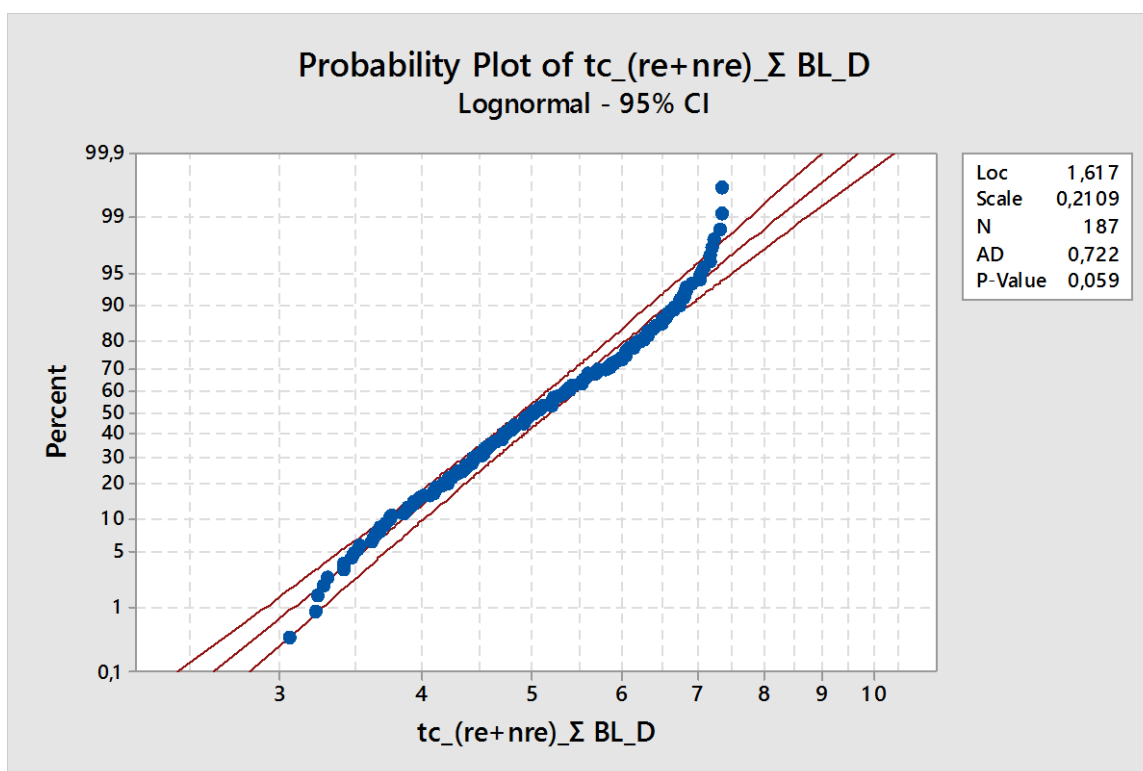
Prilog 46. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači



Prilog 47. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_D-1	40	5,128	0,184	1,164	3,302	4,029	4,980	6,216	7,059	0,071
BL_D-2	36	5,021	0,175	1,048	3,219	4,196	4,981	5,742	7,321	0,771
BL_D-3	39	5,246	0,170	1,062	3,490	4,419	5,099	6,050	7,358	0,834
BL_D-4	36	4,963	0,171	1,024	3,065	4,365	4,745	5,605	7,041	0,634
BL_D-5	36	5,395	0,173	1,039	3,708	4,448	5,405	6,301	7,356	0,280
Σ BL_D	187	5,152	0,078	1,070	3,065	4,360	5,021	6,039	7,358	0,059

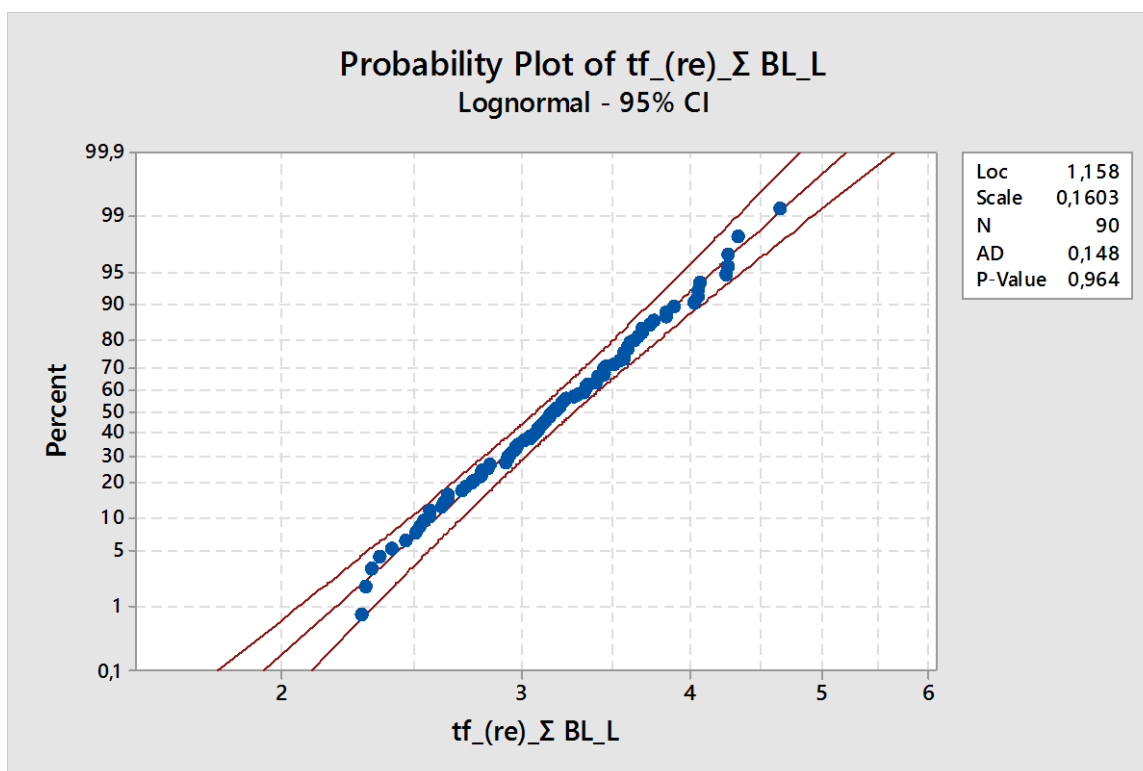
Prilog 48. Slaganje vrednosti parametra t_c (kritični interval sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 49. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_L-1	16	3,047	0,099	0,397	2,331	2,838	2,979	3,353	3,888	0,152
BL_L-2	16	3,245	0,136	0,543	2,291	2,934	3,264	3,605	4,260	0,555
BL_L-3	18	3,171	0,098	0,418	2,469	2,840	3,126	3,456	4,062	0,968
BL_L-4	21	3,215	0,115	0,528	2,361	2,636	3,306	3,596	4,250	0,168
BL_L-5	19	3,413	0,147	0,639	2,410	2,798	3,337	3,836	4,655	0,939
Σ BL_L	90	3,223	0,055	0,518	2,291	2,829	3,172	3,578	4,655	0,964

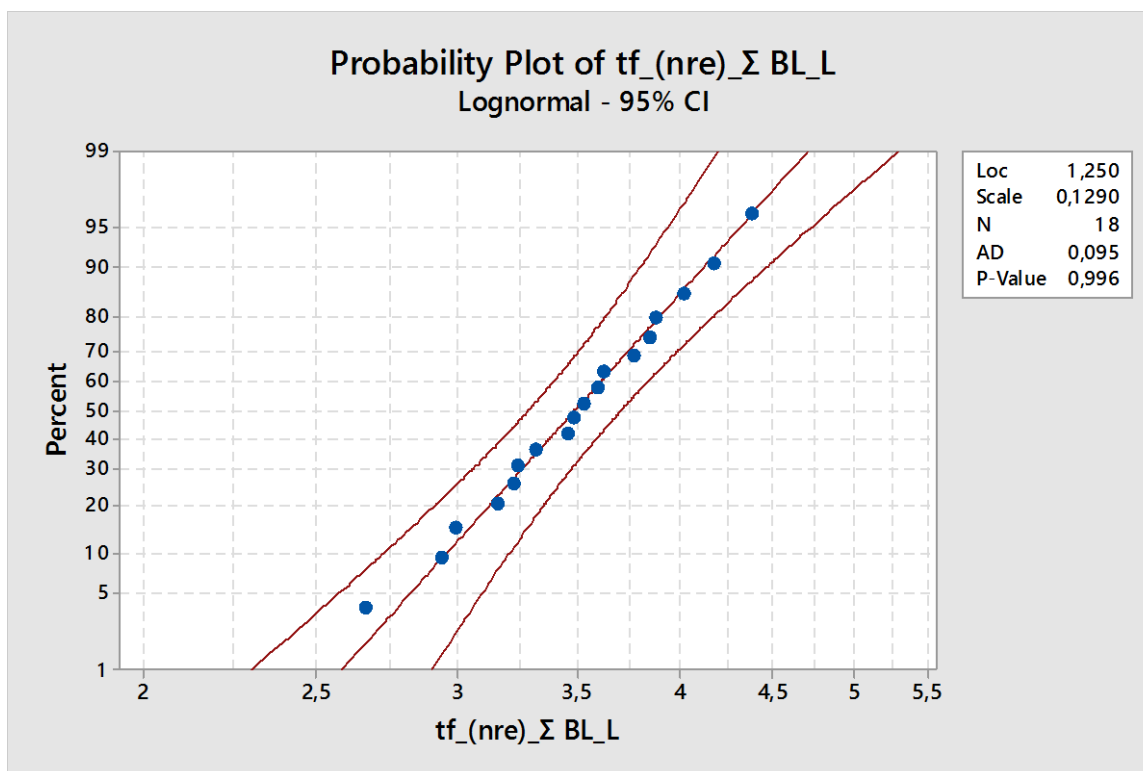
Prilog 50. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni vozači



Prilog 51. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
Σ BL_L	18	3,517	0,106	0,448	2,664	3,208	3,511	3,852	4,382	0,996

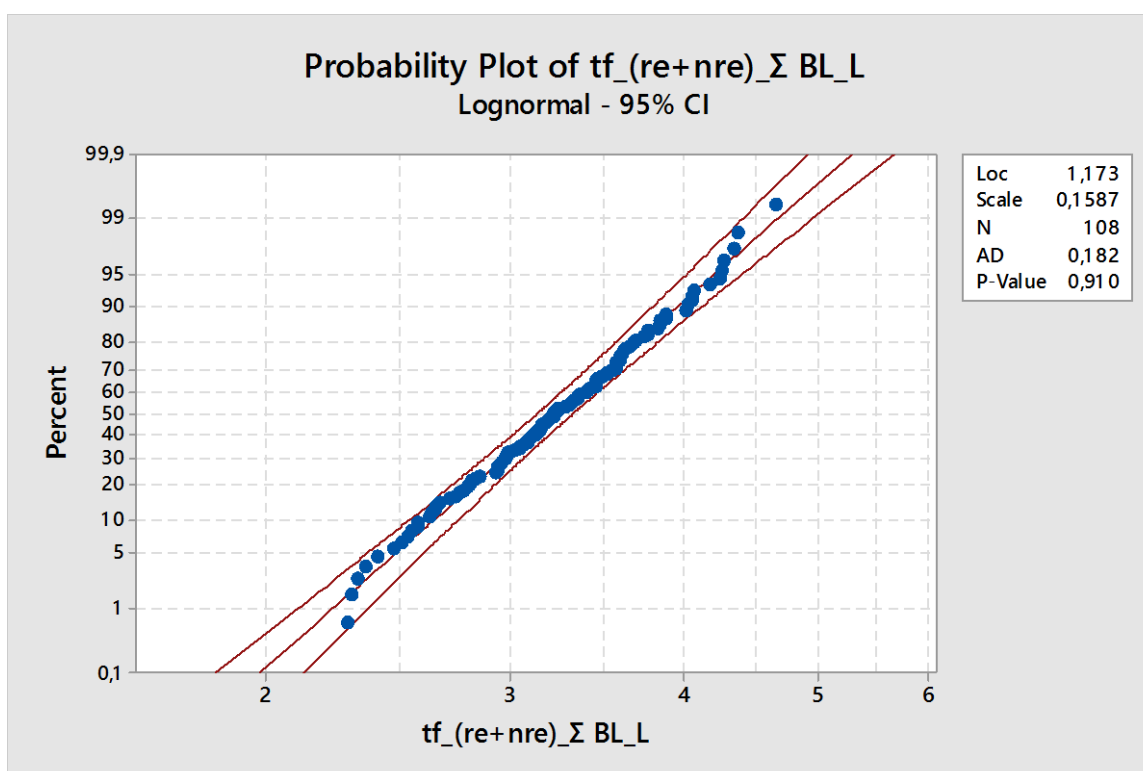
Prilog 52. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači



Prilog 53. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrnicu u Banja Luci, leva ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_L-1	20	3,081	0,084	0,378	2,331	2,930	2,986	3,455	3,888	0,056
BL_L-2	21	3,306	0,118	0,540	2,291	2,934	3,321	3,672	4,260	0,618
BL_L-3	21	3,237	0,092	0,421	2,469	2,912	3,155	3,587	4,062	0,928
BL_L-4	25	3,278	0,106	0,532	2,361	2,742	3,306	3,649	4,250	0,232
BL_L-5	21	3,450	0,141	0,644	2,410	2,954	3,337	3,942	4,655	0,866
Σ BL_L	108	3,272	0,05	0,517	2,291	2,934	3,224	3,597	4,655	0,910

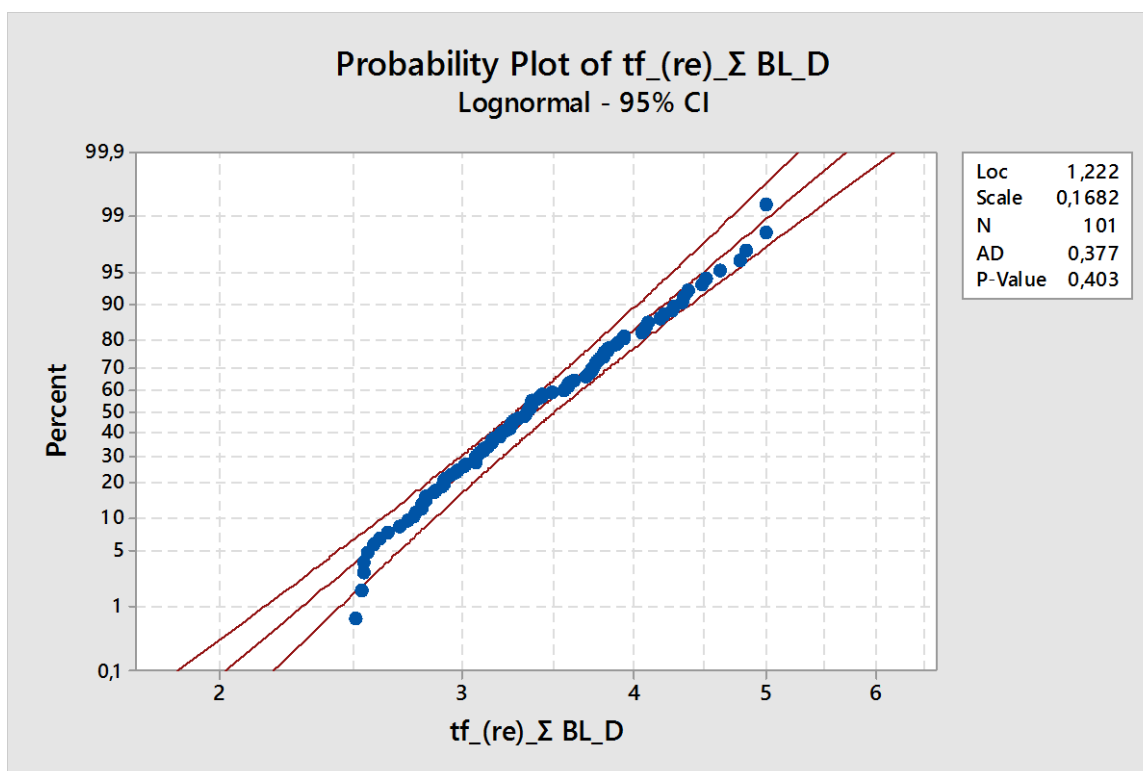
Prilog 54. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrnicu u Banja Luci (Σ BL_L), leva ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 55. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_D-1	19	3,437	0,148	0,644	2,547	3,074	3,265	3,724	4,985	0,515
BL_D-2	22	3,507	0,136	0,637	2,536	3,004	3,401	3,963	4,987	0,902
BL_D-3	21	3,416	0,153	0,701	2,507	2,799	3,345	3,950	4,827	0,511
BL_D-4	19	3,436	0,115	0,501	2,645	3,129	3,341	3,828	4,483	0,925
BL_D-5	20	3,419	0,112	0,500	2,545	2,997	3,292	3,797	4,331	0,450
Σ BL_D	101	3,444	0,059	0,593	2,507	2,990	3,345	3,804	4,987	0,403

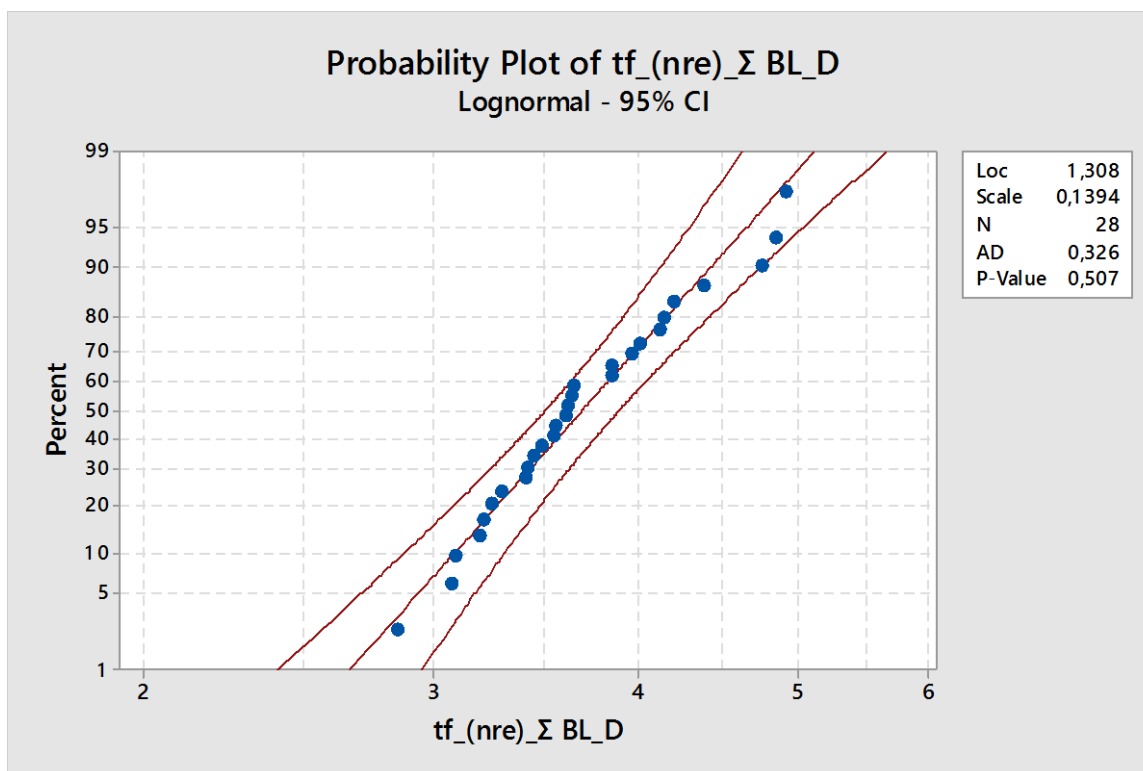
Prilog 56. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni vozači



Prilog 57. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
Σ BL_D	28	3,732	0,101	0,536	2,853	3,335	3,620	4,098	4,912	0,507

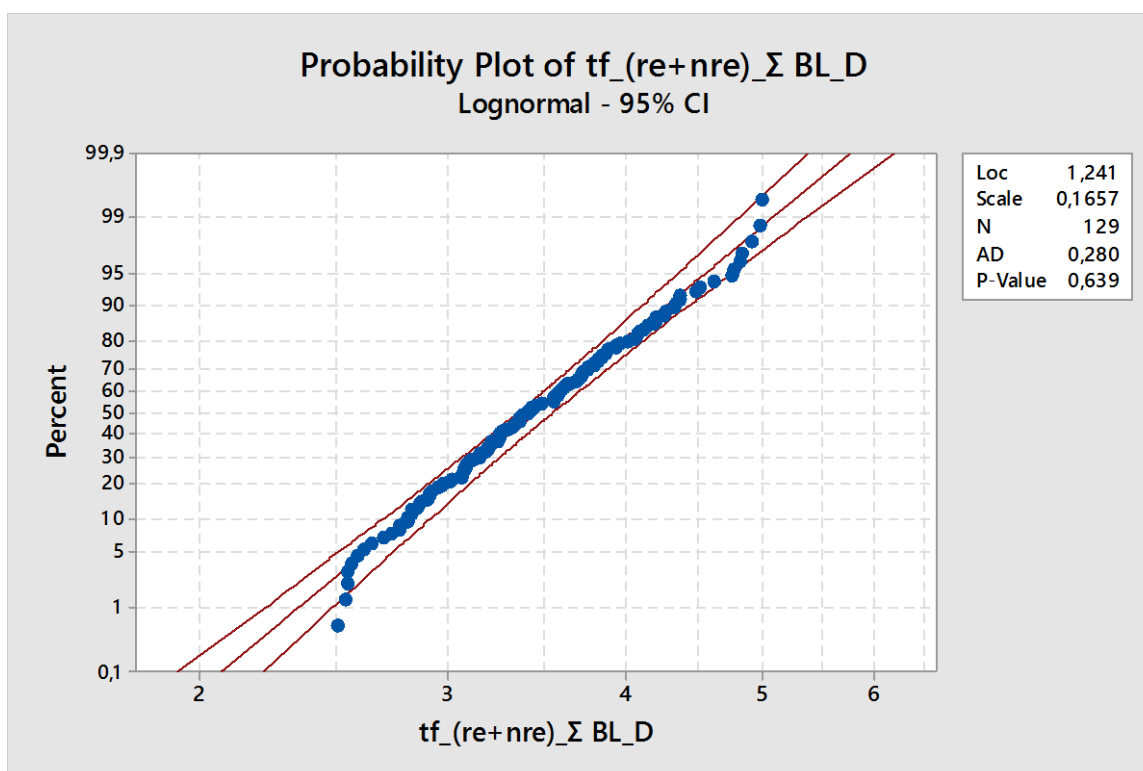
Prilog 58. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak nerezidentni vozači



Prilog 59. Deskriptivne mere vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) za kružnu raskrsnicu u Banja Luci, desna ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači

Raskrsnica	Count	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q ₁	Median	Q ₃	Max	p za In
BL_D-1	25	3,546	0,141	0,706	2,547	3,080	3,377	3,917	4,985	0,273
BL_D-2	26	3,555	0,128	0,653	2,536	3,067	3,500	3,963	4,987	0,837
BL_D-3	28	3,462	0,118	0,625	2,507	2,870	3,428	3,839	4,827	0,875
BL_D-4	24	3,526	0,103	0,504	2,645	3,172	3,453	3,924	4,483	0,934
BL_D-5	26	3,450	0,092	0,471	2,545	3,067	3,318	3,808	4,331	0,518
Σ BL_D	129	3,507	0,052	0,591	2,507	3,079	3,418	3,849	4,987	0,639

Prilog 60. Slaganje vrednosti parametra t_f (vreme sleđenja) sa lognormalnom raspodelom za kružnu raskrsnicu u Banja Luci (Σ BL_D), desna ulazna traka, uzorak rezidentni+nerezidentni vozači



Prilog 61. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrnicu u Bijeljini

Regression Analysis: fnre (BN) versus Pnre; Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	3,34454	1,11485	18812,66	0,000
Pnre	1	0,09120	0,09120	1539,03	0,000
Vc	1	0,00297	0,00297	50,10	0,000
Pnre*Vc	1	0,28351	0,28351	4784,06	0,000
Error	249	0,01476	0,00006		
Total	252	3,35930			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0076981	99,56%	99,56%	99,54%

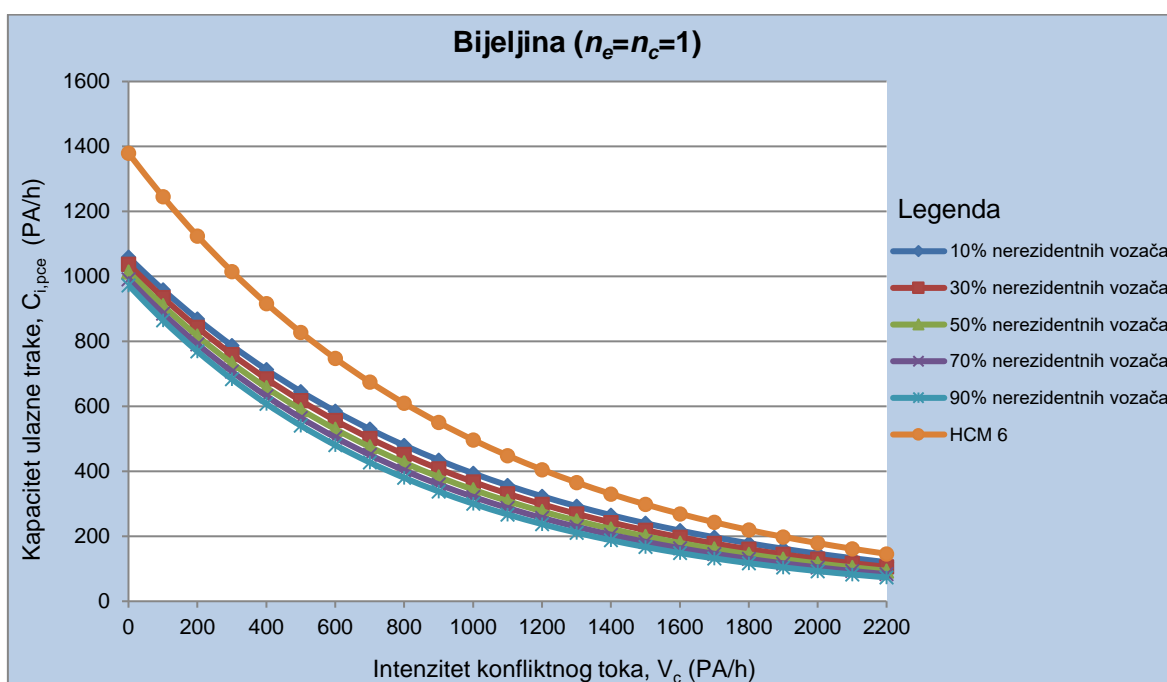
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00062	0,00176	566,99	0,000	
Pnre	-0,001173	0,000030	-39,23	0,000	3,75
Vc	-0,000010	0,000001	-7,08	0,000	3,55
Pnre*Vc	-0,000002	0,000000	-69,17	0,000	6,30

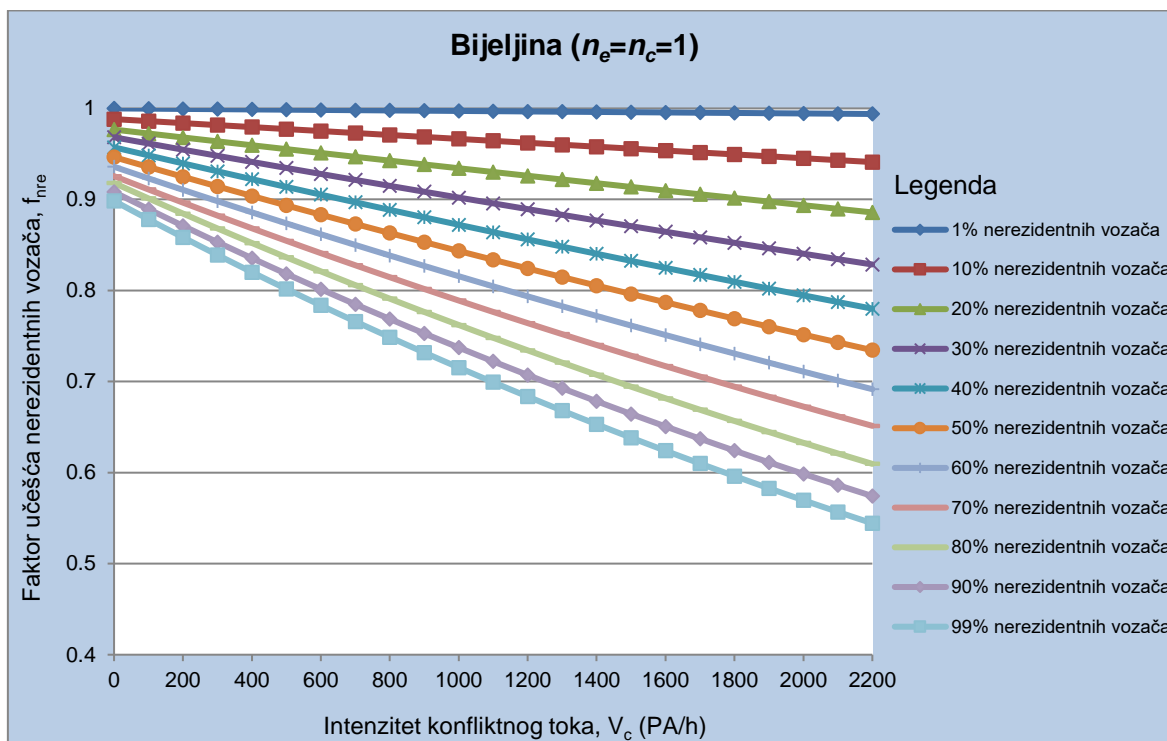
Regression Equation

$$\text{fnre (BN)} = 1,00 - 0,001173 \text{ Pnre} - 0,000010 \text{ Vc} - 0,000002 \text{ Pnre*Vc}$$

Prilog 62. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Bijeljini, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku



Prilog 63. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrsnicu u Bijeljini



Prilog 64. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrsnicu u Brčkom

Regression Analysis: f_{nre} (BC) versus P_{nre} ; V_c

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	2,66068	0,886892	25014,27	0,000
P_{nre}	1	0,07024	0,070243	1981,15	0,000
V_c	1	0,00215	0,002149	60,62	0,000
$P_{nre} * V_c$	1	0,22900	0,229002	6458,87	0,000
Error	249	0,00883	0,000035		
Total	252	2,66950			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0059544	99,67%	99,67%	99,65%

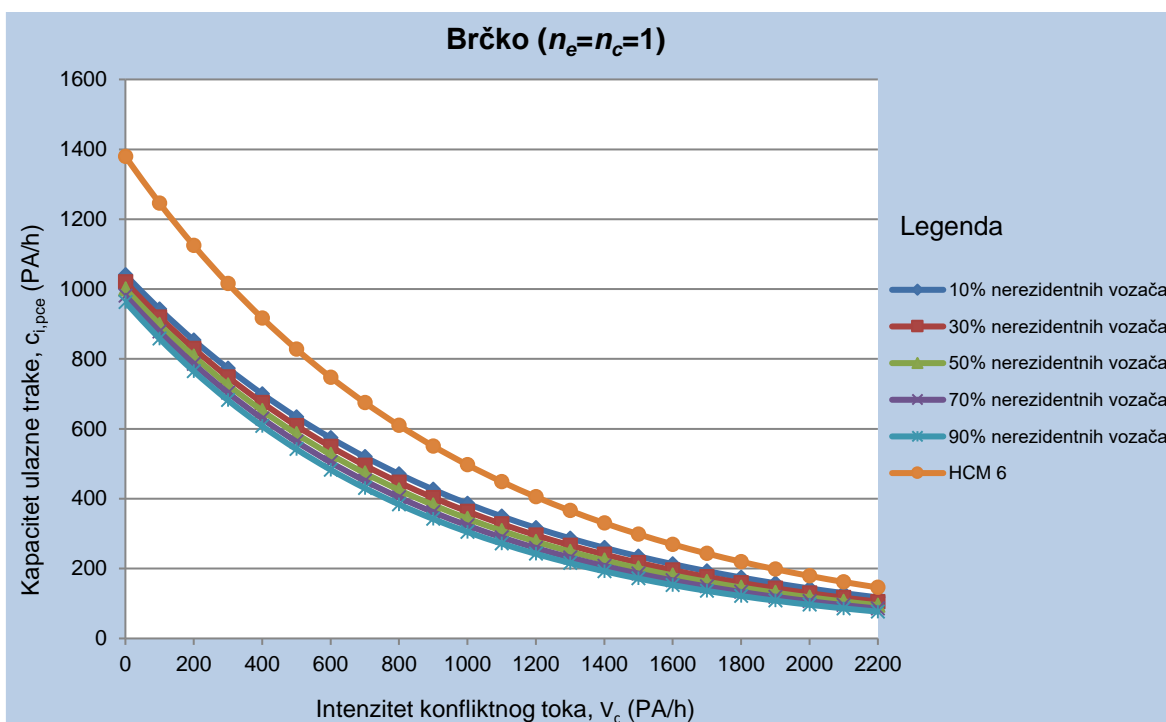
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00074	0,00137	733,11	0,000	
P_{nre}	-0,001030	0,000023	-44,51	0,000	3,75
V_c	-0,000008	0,000001	-7,79	0,000	3,55
$P_{nre} * V_c$	-0,000001	0,000000	-80,37	0,000	6,30

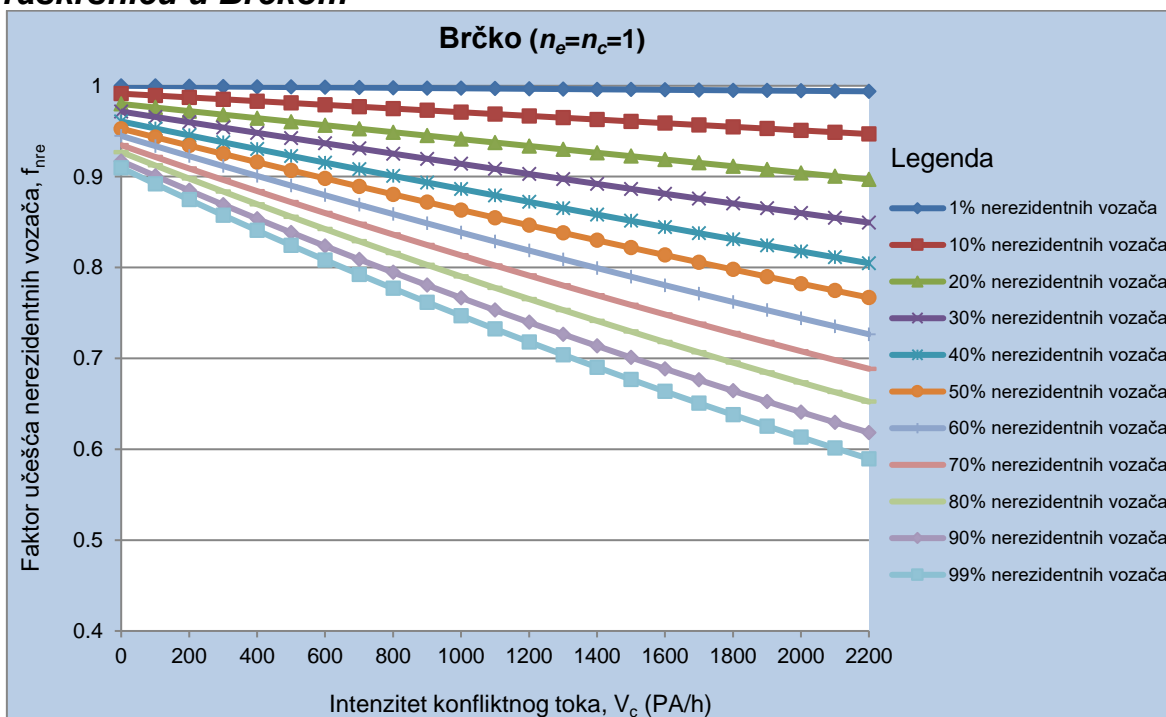
Regression Equation

$$f_{nre} \text{ (BC)} = 1,00 - 0,001030 P_{nre} - 0,000008 V_c - 0,000001 P_{nre} * V_c$$

Prilog 65. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Brčkom, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku



Prilog 66. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrsnicu u Brčkom



Prilog 67. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za posmatranu kružnu raskrslu u Tuzli

Regression Analysis: fnre (TZ) versus Pnre; Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	2,83404	0,944681	18465,49	0,000
Pnre	1	0,04816	0,048165	941,47	0,000
Vc	1	0,00218	0,002176	42,54	0,000
Pnre*Vc	1	0,27857	0,278568	5445,11	0,000
Error	249	0,01274	0,000051		
Total	252	2,84678			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0,0071526	99,55%	99,55%	99,53%

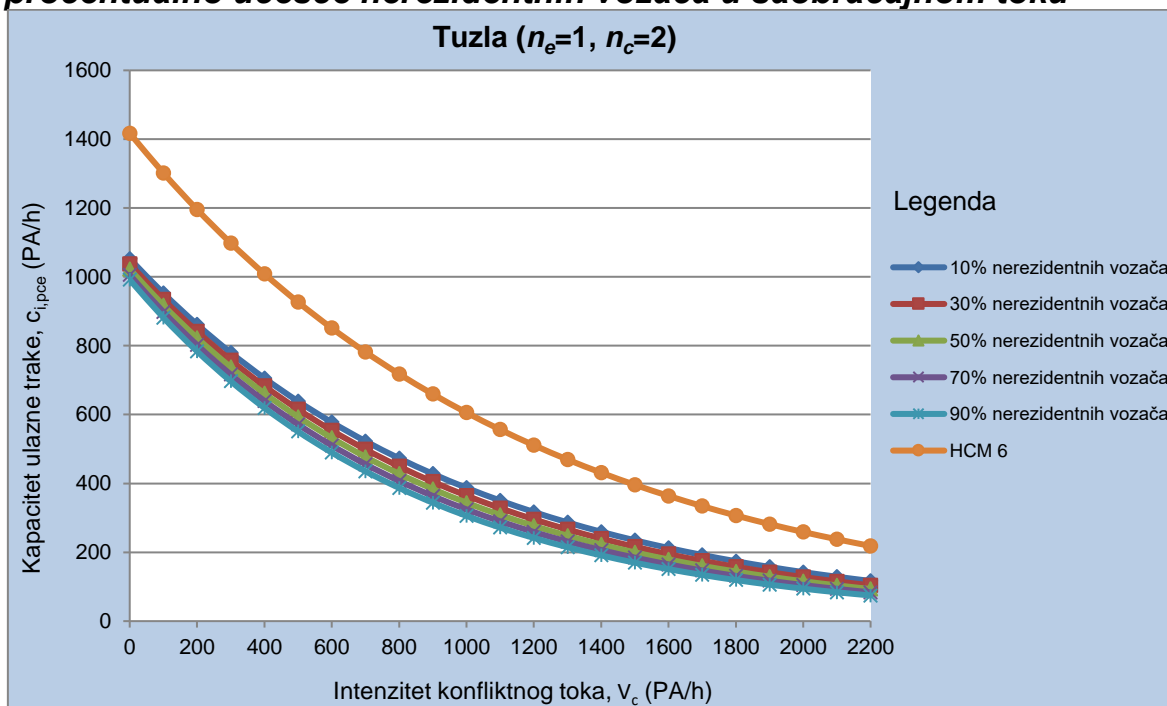
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00053	0,00164	610,18	0,000	
Pnre	-0,000853	0,000028	-30,68	0,000	3,75
Vc	-0,000008	0,000001	-6,52	0,000	3,55
Pnre*Vc	-0,000002	0,000000	-73,79	0,000	6,30

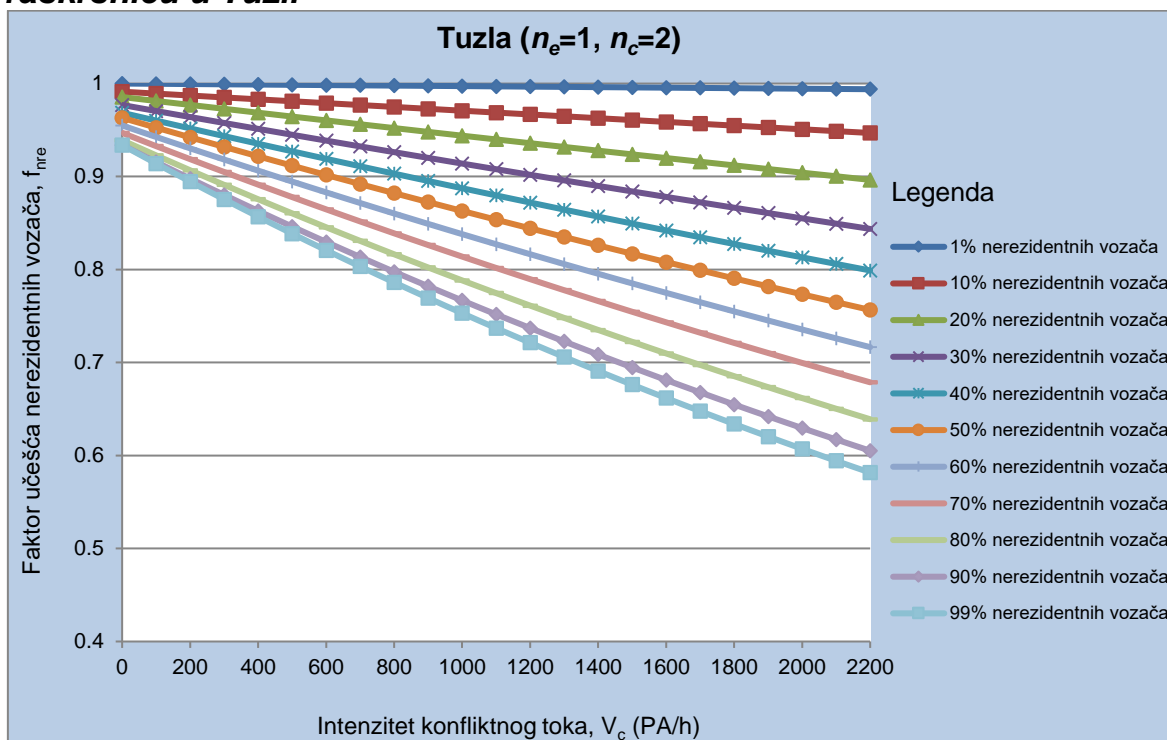
Regression Equation

$$\text{fnre (TZ)} = 1,00 - 0,000853 \text{ Pnre} - 0,000008 \text{ Vc} - 0,000002 \text{ Pnre*Vc}$$

Prilog 68. Kapacitet ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrslu u Tuzli, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku



Prilog 69. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za posmatranu kružnu raskrsnicu u Tuzli



Prilog 70. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za levu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci

Regression Analysis: fnre (BL_L) versus Pnre; Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	3,82662	1,27554	16289,15	0,000
Pnre	1	0,07427	0,07427	948,42	0,000
Vc	1	0,00435	0,00435	55,54	0,000
Pnre*Vc	1	0,35731	0,35731	4563,02	0,000
Error	249	0,01950	0,00008		
Total	252	3,84612			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0088491	99,49%	99,49%	99,47%

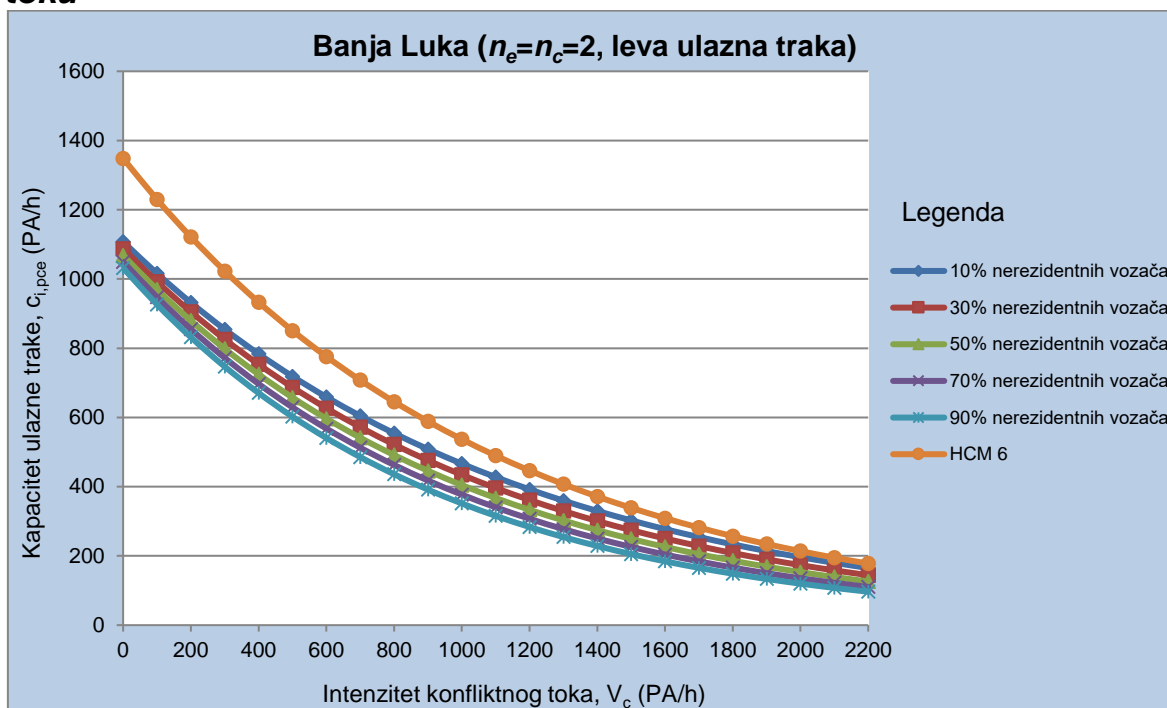
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00191	0,00203	493,88	0,000	
Pnre	-0,001059	0,000034	-30,80	0,000	3,75
Vc	-0,000012	0,000002	-7,45	0,000	3,55
Pnre*Vc	-0,000002	0,000000	-67,55	0,000	6,30

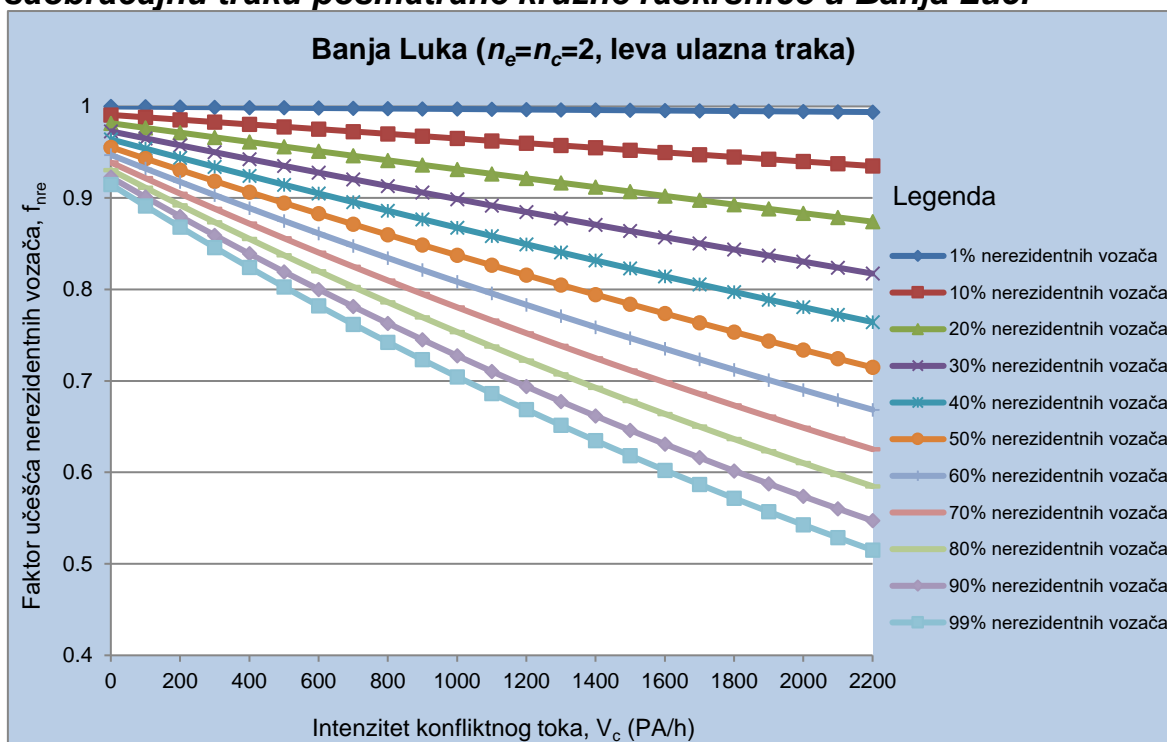
Regression Equation

$$fnre (BL_L) = 1,00 - 0,001059 Pnre - 0,000012 Vc - 0,000002 Pnre*Vc$$

Prilog 71. Kapacitet leve ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku



Prilog 72. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za levu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci



Prilog 73. Regresiona analiza faktora učešća nerezidentnih vozača za desnu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci

Regression Analysis: fnre (BL_D) versus Pnre; Vc

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	2,14725	0,715749	32222,25	0,000
Pnre	1	0,05015	0,050150	2257,72	0,000
Vc	1	0,00135	0,001347	60,64	0,000
Pnre*Vc	1	0,19429	0,194291	8746,75	0,000
Error	249	0,00553	0,000022		
Total	252	2,15278			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0047131	99,74%	99,74%	99,73%

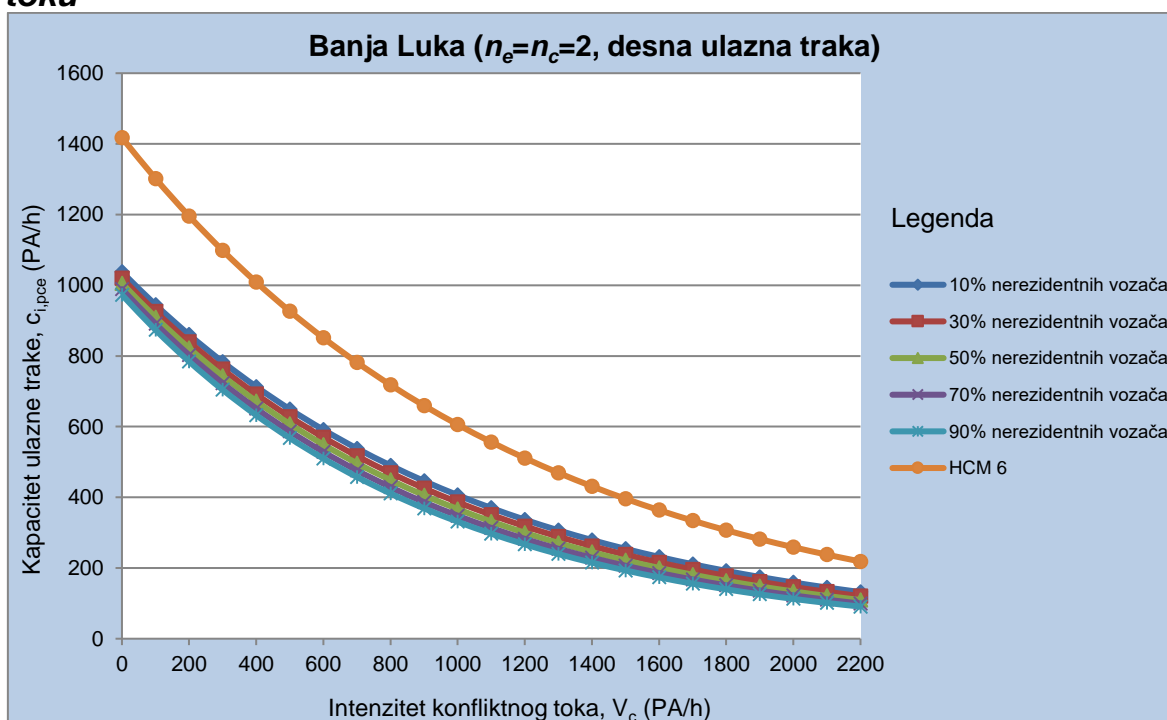
Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1,00033	0,00108	925,82	0,000	
Pnre	-0,000870	0,000018	-47,52	0,000	3,75
Vc	-0,000007	0,000001	-7,79	0,000	3,55
Pnre*Vc	-0,000001	0,000000	-93,52	0,000	6,30

Regression Equation

$$\text{fnre (BL_D)} = 1,00 - 0,000870 \text{ Pnre} - 0,000007 \text{ Vc} - 0,000001 \text{ Pnre*Vc}$$

Prilog 74. Kapacitet desne ulazne saobraćajne trake posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci, u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku



Prilog 75. Grafički prikaz faktora učešća nerezidentnih vozača u funkciji intenziteta konfliktnog toka za različito procentualno učešće nerezidentnih vozača u saobraćajnom toku, za desnu ulaznu saobraćajnu traku posmatrane kružne raskrsnice u Banja Luci

