

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

Милан И. Савићевић

**ЕФЕКТИВНОСТ ЗАМЕНЕ РАСКРСНИЦА
СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА
КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА СА
АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ
САОБРАЋАЈА**

докторска дисертација

Београд, 2018

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC ENGINEERING

Milan I. Savićević

**SAFETY EFFECTIVENESS OF
CONVERTING CONVENTIONAL
INTERSECTIONS TO ROUNDABOUTS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

МЕНТОР

Редовни професор у пензији др Милан ВУЈАНИЋ,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Ванредни професор др Борис АНТИЋ,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Редовни професор др Драган ЈОВАНОВИЋ,
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука

датум одбране: _____

ЕФЕКТИВНОСТ ЗАМЕНЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Резиме: Раскрснице представљају велики безбедносни проблем у саобраћају с обзиром да је на њима због конфликта токова који се укрштају повећан ризик од настанка саобраћајних незгода. Различите спроведене студије у свету указују на чињеницу да се на кружним раскрсницама бележи мањи број саобраћајних незгода у односу на раскрснице са директним укрштањем токова. Међутим, у свим овим студијама примећено је да приликом истраживања у обзир нису узимани ефекти других мера или околности које би такође могле имати утицај на безбедност саобраћаја. У овој докторској дисертацији су најпре размотрене све безбедносне карактеристике кружних раскрсница, да би након тога био представљен нови модел за рачунање ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне, којим се могу израчунати ефекти саме конверзије, не рачунајући споредне ефекте. Поред тога, применом новог модела израчунати су ефекти различитих група кружних раскрсница на основу којих је могуће утврдити код којих раскрсница се постиже најбоља ефективност у погледу смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица. Поред научног, ова докторска дисертација има и практичан значај јер резултати њеног истраживања могу помоћи доносиоцима одлука у саобраћају како да правилно усмере расположива средства за унапређење безбедности у саобраћају.

Кључне речи: Безбедност саобраћаја, кружне раскрснице, конверзија, ефективност, саобраћајне незгоде, емпиријски Бајесов метод

Научна област: Безбедност саобраћаја

Ужа научна област: Превентива и безбедност у саобраћају

УДК:

SAFETY EFFECTIVENESS OF CONVERTING CONVENTIONAL INTERSECTIONS TO ROUNDABOUTS

Abstract: Intersections present a big safety problem in traffic since there has been an increased risk of crashes because of conflicts in the flows intersecting. A great number of studies done in the world recorded that after the conversion to the roundabouts the number of crashes is decreasing. However, in all of these studies it was noticed that the effects of other measures or circumstances that could also have an impact on traffic safety were not taken into account during the research. In this doctoral dissertation, all the safety characteristics of the roundabouts were first considered, in order to present a new model for calculating the effects of converting conventional intersections into roundabouts, which can calculate the effects of the conversion itself without counting the side effects. In addition, by using the new model, the effects of different groups of roundabouts are calculated, based on which it is possible to determine an intersection which is the best for conversion in terms of reducing the number of traffic accidents and injured persons. In addition to the scientific, this doctoral dissertation has a practical significance because the results of its research can help decision makers in traffic to properly allocate the available resources for improving traffic safety.

Key words: : Traffic safety, roundabouts, conversion, effectiveness, traffic accidents, Empirical Bayes method

Scientific field: Traffic Safety

Field of Academic Expertise: Preventive and Traffic Safety

UDC:

ЛИСТА АКРОНИМА И КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА

ИП	Интервал поверења
FHWA	Federal Highway Administration
ITE	Institute of Transportation Engineers
АБС	Агенција за безбедност саобраћаја
СН	Саобраћајна незгода
ПГДС	Просечан годишњи дневни саобраћај
ЈП	Јавно предузеће
РЗС	Републички завод за статистику
MDOT	The Michigan Department of Transportation
ЈИС	Јединствени информациони систем
МУП	Министарство унутрашњих послова
SPF	Safety Performance Function
ЕБ	Емпиријски Бајесов метод

САДРЖАЈ

ЛИСТА АКРОНИМА И КОРИШЋЕНИХ СКРАЋЕНИЦА	6
1. УВОД	1
1.1. ПРЕДМЕТ И НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА.....	3
1.2. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ	4
1.3. МЕТОДИ ИСТРАЖИВАЊА	5
1.4. ОГРАНИЧЕЊА ИСТРАЖИВАЊА.....	5
1.5. ПРИКАЗ САДРЖАЈА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ	6
2. КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ	9
2.1. ИСТОРИЈАТ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	10
2.2. ЕЛЕМЕНТИ И ГЕОМЕТРИЈСКИ ДИЗАЈН КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА.....	14
2.3. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	20
2.3.1. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА ЛОКАЦИЈИ И ВЕЛИЧИНИ .	20
2.3.2. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА ВЕЛИЧИНИ И БРОЈУ ТРАКА 22	
2.3.3. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА НАМЕНИ	27
2.3.4. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА НАЧИНУ ВОЂЕЊА ПОЈЕДИНАЧНИХ ПРАВАЦА	27
2.3.5. ОСТАЛИ ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	29
2.4. КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА.....	31
2.4.1. ОПЕРАЦИОНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА.....	31
2.4.2. КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА СА АСПЕКТА УЧЕСНИКА У САОБРАЋАЈУ	32
2.5. ТРОШКОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	38
2.6. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА.....	40
3. ЕЛЕМЕНТИ БЕЗБЕДНОСТИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	43
3.1. КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ	45
3.1.1. КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ НА ЈЕДНОТРАЧНИМ КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА.....	45

3.1.2.	КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ НА ВИШЕТРАЧНИМ КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА.....	47
3.2.	ГЕОМЕТРИЈА КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА.....	52
3.2.1.	ЦЕНТРАЛНО ОСТРВО.....	52
3.2.2.	ДЕФЛЕКСИЈА.....	54
3.2.3.	СПОЉНИ ПРЕЧНИК И КРУЖНИ КОЛОВОЗ.....	57
3.2.4.	ПРИЛАЗИ КРУЖНОЈ РАСКРСНИЦИ.....	60
3.2.5.	ЕЛЕМЕНТИ УЛИВА И ИЗЛИВА.....	63
3.3.	ОБЕЛЕЖАВАЊЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА.....	66
3.3.1.	ВЕРТИКАЛНА САОБРАЋАЈНА СИГНАЛИЗАЦИЈА.....	66
3.3.2.	ХОРИЗОНТАЛНА САОБРАЋАЈНА СИГНАЛИЗАЦИЈА.....	69
3.4.	РАЗДЕЛНА ОСТРВА.....	71
3.5.	УЗДУЖНИ НАГИБ.....	74
3.6.	ПРЕГЛЕДНОСТ.....	74
3.7.	БРЗИНЕ.....	80
3.7.1.	МОДЕЛИ ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ БРЗИНА НА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА.....	81
3.7.2.	ИСТРАЖИВАЊА О БРЗИНАМА НА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА.....	87
4.	МЕТОДИ ЗА ПРОЦЕНУ ЕФЕКТА КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ.....	94
4.1.	ЕМПИРИЈСКИ БАЈЕСОВ МЕТОД.....	97
4.2.	ОПСЕРВАЦИОНИ МЕТОД ПРЕ И ПОСЛЕ.....	100
4.3.	МЕТА-АНАЛИЗА.....	104
5.	ОСТВАРЕНИ ЕФЕКТИ КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ У СВЕТУ.....	108
5.1.	ЕФЕКТИ ПРОЦЕЂЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА КОЈА СУ КОРИСТИЛА ЕМПИРИЈСКИ БАЈЕСОВ МЕТОД.....	108
5.2.	ЕФЕКТИ ПРОЦЕЂЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА КОЈА СУ КОРИСТИЛА ДРУГЕ МЕТОДЕ.....	114
5.3.	ЕФЕКТИ ПРОЦЕЂЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА У ВЕЗИ РАЊИВИХ УЧЕСНИКА У САОБРАЋАЈУ.....	119
6.	АНАЛИЗА ЕФЕКТА КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	123

6.1.	МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	126
6.2.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	132
6.2.1.	РАЗЛИКЕ У РЕЗУЛТАТИМА ДОБИЈЕНИХ ПРИМЕНОМ ДВА МОДЕЛА.	133
6.2.2.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА КОД ЈЕДНОТРАЧНИХ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	135
6.2.3.	РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА КОД ДВОТРАЧНИХ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА	136
6.2.4.	КОМБИНОВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	138
6.3.	ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА.....	141
7.	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	149
	ЛИТЕРАТУРА.....	157
	ПРИЛОЗИ.....	171

ЛИСТА ТАБЕЛА

Табела 2.1 Компаративни приказ карактеристика кружних раскрсница и раскрсница са кружним током саобраћаја (<i>Virginia Department of Transportation, 2016</i>)	9
Табела 2.2 Типови кружних раскрсница у односу на локацију и величину (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	21
Табела 2.3 Сумарни преглед предности и недостатака кружних раскрсница у односу на раскрснице са директним укрштањем токова.....	41
Табела 3.1 Врсте саобраћајних незгода на кружним раскрсницама (Montella, 2011)..	43
Табела 3.2 Елементи кружне раскрснице за меродавно возило тегљач са полуприколицом (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	58
Табела 3.3 Утицај броја саобраћајних знакова и њихове удаљености од линије заустављања на безбедност саобраћаја у кружним раскрсницама (Jensen, 2014).....	67
Табела 3.4 Вредности чеоних прегледности на прилазу кружној раскрсници за различите рачунске брзине (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	75
Табела 3.5 Вредности израчунатих прегледности на уливу у кружну раскрсницу за различите рачунске брзине (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	78
Табела 3.6 Процењене брзине на различитим кружним раскрсницама (CROW, 2008)	93
Табела 4.1 Измерене брзине на путу у Хамилтону, Канада пре и после конверзије у истраживању Ritchie and Lenters (2005)	95
Табела 4.2 Функција безбедносних перформанси за предвиђање очекиваног укупног броја саобраћајних незгода по броју трака и прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2007).....	108
Табела 4.3 Функција безбедносних перформанси за предвиђање очекиваног броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима по броју трака и прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2007).....	109

Табела 4.4 Процена ефеката конверзије на примеру 55 раскрсница у САД (Rodegerdts et al., 2007).....	109
Табела 4.5 Процењени ефекти конверзије у различитим државама (Rodegerdts et al., 2007).....	110
Табела 4.6 Процена ефеката конверзије на примеру 19 раскрсница (Bonneson and McCoу, 1993).....	110
Табела 4.7 Израчунати SPF параметри у истраживању Persaud et al. (2000).....	111
Табела 4.8 Процена ефеката конверзије у истраживању Persaud et al. (2000).....	111
Табела 4.9 Израчунати SPF параметри у истраживању MDOT (2011)	112
Табела 4.10 Процена ефеката конверзије у истраживању MDOT (2011).....	113
Табела 4.11 Израчунати SPF параметри у истраживању Vuјanić et al. (2016).....	114
Табела 4.12 Резултати истраживања Vuјanić et al. (2016).....	114
Табела 4.13 Приказ броја раскрсница и саобраћајних незгода са настрадалим лицима пре конверзије истих у истраживању De Brabander and Vereeck (2007)	115
Табела 4.14 Приказ резултата добијених у истраживању De Brabander and Vereeck (2007)	115
Табела 4.15 Приказ резултата добијених у истраживању De Brabander et. al (2005). 116	
Табела 4.16 Приказ укупних резултата добијених у истраживању Jensen (2012).....	116
Табела 4.17 Приказ процењених ефеката конверзије по годинама и типу незгода, добијених у истраживању Jensen (2012).....	117
Табела 4.18 Приказ резултата добијених у истраживању Jensen (2013).....	118
Табела 4.19 Приказ ефеката конверзије на рањиве учеснике у саобраћају, добијених у истраживању Jensen (2012).....	122
Табела 5.1 Раскрснице са директним укрштањем токова које су конвертоване у кружне раскрснице коришћене у истраживању	123
Табела 5.2 Број становника у предметним градовима према попису из 2011. године	128
Табела 5.3 Подаци о просечном годишњем броју саобраћајних незгода и настрадалих лица на 10.000 становника у предметним градовима у периоду истраживања	129

Табела 5.4 Израчунати SPF параметри за модел који узима у обзир просек саобраћајних незгода и настрадалих лица	131
Табела 5.5 Израчунати SPF параметри за модел који узима у обзир само ПГДС	131
Табела 5.6 Укупни резултати добијени у истраживању	133
Табела 5.7 Резултати добијени применом модела који узима у обзир само ПГДС ...	134
Табела 5.8 Разлике у резултатима приликом примене модела који узима у обзир и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица и модела који узима у обзир само ПГДС.....	134
Табела 5.9 Комбиновани резултати истраживања	139
Табела 5.10 Приказ броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у саобраћајним незгодама у Републици Србији у периоду 2003-2015 година (АБС, 2014б ; 2016) ...	143

ЛИСТА СЛИКА

Слика 2.1 Раскрсница <i>Columbus circle</i> у Њујорку (Wikipedia, 2017).....	10
Слика 2.2 Кружна раскрсница у оквиру комплекса <i>Circus</i> у граду Бату у Енглеској (Visit Bath, 2017)	11
Слика 2.3 Саобраћајни план Париза Еугена Енара (Alchetron, 2017)	12
Слика 2.4 Пројекат реконструкције трга <i>Place de l'Opéra</i> у Паризу Еугена Енара (Wikipedia, 2017).....	13
Слика 2.5 Основни елементи стандардне кружне раскрснице (Brewer et al., 2014)	15
Слика 2.6 Просечна ефективна дужина проширења (ЈП „Путеви Србије“, 2012).....	18
Слика 2.7 Уливни угао на кружним раскрсницама са већом дужином кружног сегмента (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	19
Слика 2.8 Уливни угао на кружним раскрсницама са мањом дужином кружног сегмента (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	19
Слика 2.9 Шематски приказ мини кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).....	23
Слика 2.10 Пример мини кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).....	23
Слика 2.11 Шематски приказ једнотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)	24
Слика 2.12 Примери једнотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).....	25
Слика 2.13 Шематски приказ двотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).....	25
Слика 2.14 Шематски приказ тротрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).....	26
Слика 2.15 Пример вишетрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)	26
Слика 2.16 Пример вођења трака поред кружне раскрснице (Google Maps, 2016)	28
Слика 2.17 Пример велике денивелисане кружне раскрснице (Axiom Images, 2016).....	28
Слика 2.18 Пример две мале денивелисане кружне раскрснице (Google Maps, 2016).....	29
Слика 2.19 Пример турбо кружне раскрснице (Reddit, 2016)	30

Слика 2.20 Најчешћи облици четворокраке турбо кружне раскрснице (Bastos Silva et al., 2014a)	30
Слика 2.21 Најчешћа намена трака у двотрачној кружној раскрсници (WSDT, 2016)	33
Слика 2.22 Упоредни приказ просторних потреба код кружних и раскрсница са директним укрштањем токова (MDOT, 2011)	38
Слика 3.1 Врсте саобраћајних незгода на кружним раскрсницама (Montella, 2011)...	43
Слика 3.2 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на класичној једнотрачној трокракој „Т“ раскрсници и једнотрачној трокракој кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010).....	46
Слика 3.3 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на класичној једнотрачној четворокракој раскрсници и једнотрачној четворокракој кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010).....	47
Слика 3.4 Зависност броја саобраћајних незгода у кружним раскрсницама у односу на број саобраћајних трака и ПГДС (Rodegerdts et al., 2010).....	48
Слика 3.5 Конфликти услед неправилног понашања возила „В“ и „D“ (Bastos Silva et al., 2014a)	49
Слика 3.6 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на двотрачној кружној раскрсници: А – правилно понашање; Б – неправилно понашање (Bastos Silva et al., 2014a)	50
Слика 3.7 Приказ модела за контролу уласка у двотрачну кружну раскрсницу: А – пре примене модела; Б – након примене модела (Чабаркапа и Вукановић, 2015)	51
Слика 3.8 Приказ конфликтних тачака на турбо кружној раскрсници (Bastos Silva et al., 2014a)	51
Слика 3.9 Попречни пресек кружне раскрснице (SETRA, 2002).....	54
Слика 3.10 Дефлексија линије кретања возила кроз кружну раскрсницу (SETRA, 2002).....	55
Слика 3.11 Девијациони угао ω (Ambros et al., 2016)	56
Слика 3.12 Двотрачна кружна раскрсница са недовољном дефлексијом (Ritchie and Lenters, 2005).....	56

Слика 3.13 Одређивање елемената кружне раскрснице према меродавном возилу (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	57
Слика 3.14 Типови положаја оса прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)	60
Слика 3.15 Увођење кракова у кружну раскрсницу (ЈП „Путеви Србије“, 2012)	61
Слика 3.16 Исправљање кракова на прилазима кружној раскрсници (SETRA, 2002)	62
Слика 3.17 „Y“ и „Померено T“ типови трокраких кружних раскрсница (SETRA, 2002)	63
Слика 3.18 Утицај уливног радијуса на природну путању возила (Rodegerdts et al., 2010)	64
Слика 3.19 Саобраћајни знакови за обележавање кружне раскрснице (Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014)	68
Слика 3.20 Елементи хоризонталне саобраћајне сигнализације за обележавање кружне раскрснице (Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014)	70
Слика 3.21 Минималне величине разделног острва (Rodegerdts et al., 2010)	72
Слика 3.22 Пример кружне раскрснице у Сан Дијегу на којој ниско растиње на разделном острву омета прегледност (Rodegerdts et al., 2010)	73
Слика 3.23 Чеона прегледност на прилазу кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)	76
Слика 3.24 Прегледност на први квадрант кружне раскрснице са њеног улива (SETRA, 2002)	76
Слика 3.25 Троугао прегледности на уливу у кружну раскрсницу (Rodegerdts et al., 2010)	77
Слика 3.26 Прегледности на кружном коловозу (Rodegerdts et al., 2010)	78
Слика 3.27 Прегледности са улива до пешачког прелаза на наредном изливу (Rodegerdts et al., 2010)	79
Слика 3.28 Пример кружне раскрснице са мали углом прегледности на уливу – А и раскрснице са коригованим углом – Б (Rodegerdts et al., 2010)	80
Слика 3.29 Радијуси путање кретања возила кроз кружну раскрсницу на уливу, у кружном току и на изливу (Gallelli et al., 2014)	83

Слика 3.30 Приказ измерених и предвиђених брзина употребом италијанског модела за предвиђање саобраћајних брзина (Bassani and Sacchi, 2011).....	83
Слика 3.31 Елементи за рачунање криве кретања кроз кружну раскрсницу (Hels and Ogozova, 2007)	85
Слика 3.32 Приказ измерених и предвиђених брзина (просечних и 85. перцентил) употребом јорданског модела (Al-Omari et al., 2014)	86
Слика 3.33 Приказ измерених и предвиђених брзина (85. перцентил) употребом модела из САД (лево) и Италије (десно) на примеру јорданских кружних раскрснице (Al-Omari et al., 2014)	86
Слика 3.34 Профили брзине при кретању возила кроз кружне раскрснице (Gallelli et al., 2014).....	87
Слика 3.35 Кружне раскрснице у истраживању Bastos Silva et al. (2014b).....	89
Слика 3.36 Карактеристике кружних раскрсница у истраживању Bastos Silva et al. (2014b)	89
Слика 3.37 Одређивање дужине утицаја кружне раскрснице (Bastos Silva et al., 2014b)	90
Слика 3.38 Дужина утицаја кружних раскрсница и статистички показатељи брзина на прилазима (Bastos Silva et al., 2014b).....	90
Слика 3.39 Измерене брзине на кружним раскрсницама у истраживању Bastos Silva et al. (2014b).....	91
Слика 3.40 Обележена раскрсница коришћена у истраживању Liu et al. (2013)	92
Слика 3.41 Измерене просечне брзине кретања возила у кружној раскрсници у истраживању Liu et al. (2013)	92
Слика 3.42 Расподела брзина у кружној раскрсници (одсек m-n лево и одсек b-c десно) у истраживању Liu et al. (2013)	93
Слика 4.1 Раскрсница у Хамилтону, Канада пре и после конверзије у кружну у истраживању Ritchie and Lenters (2005)	95
Слика 4.2 Места мерења брзине на путу у Хамилтону, Канада испред и иза раскрснице у истраживању Ritchie and Lenters (2005).....	95

Слика 4.3 Број саобраћајних незгода на пет раскрсница на Новом Зеланду пре и након конверзије (Campbell et al., 2012).....	96
Слика 4.4 Пример временских периода за опсервациони метод пре и после	101
Слика 5.1 Процент разлике просечног броја регистрованих возила у предметним градовима у односу на просечан број регистрованих возила у граду Нишу према подацима АБС (2017)	130
Слика 5.2 Приказ броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у саобраћајним незгодама у Републици Србији у периоду 2003-2015 година (АБС, 2014б ; 2016) ...	143

1. УВОД

Раскрснице свуда у свету, представљају велики безбедносни проблем у саобраћају јер се на њима токови возила, као и пешака укрштају, што доводи до бројних конфликта (Gross et al., 2013). Иако представљају мали део саобраћајне мреже, на раскрсницама се догађа значајан број саобраћајних незгода (Neuman et al., 2003). У Републици Србији се на пример, само у 2013. години у насељима догодило 7.334 саобраћајних незгода на раскрсницама, у којима је 38 особа погинуло, а 4.020 лакше или теже повређено (АБС, 2014а).

Постоји опште становиште да су кружне раскрснице безбедније од раскрсница са директним укрштањем токова с обзиром да, уколико су правилно изведене, нужно смањују брзине кретања возила на прилазу раскрсници, као и при кретању и напуштању исте, а поред тога имају и мањи број конфликтних тачака (Pratelli, 2006 ; FHWA, 2010 ; Rodegerdts et al., 2010 ; Bassani and Sacchi, 2011 ; Bastos Silva et al., 2014а).

Иако се у почетку наилазило на негативан став јавности о кружним раскрсницама, временом се тај став променио (Veneziano et al., 2013) тако да данас у многим земљама и регионима постоји пракса изградње нових кружних раскрсница и конверзије постојећих раскрсница са директним укрштањем токова у кружне, а у регионима у којима у прошлости нису грађене, кружне раскрснице све више добијају на популарности (Thai Van and Balmeffrezol, 2000 ; Rodegerdts et al., 2007 ; Pellecuer and St-Jacques, 2008).

У свету је рађено више студија које су се бавиле испитивањем ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице по безбедност саобраћаја и у највећем броју њих су утврђени позитивни ефекти које конверзија носи, односно утврђено је смањење броја саобраћајних незгода након конверзије (Bonneson and McCoy, 1993 ; Persaud et al., 2000 ; De Brabander and

Vereeck, 2007 ; Rodegerdts et al., 2007 ; MDOT, 2011 ; Jensen, 2012 ; Qin et al., 2013 ; Elvik, 2017).

Међутим, у свим студијама које су до сада рађене, а које су се бавиле испитивањем ефикасности конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице по безбедност саобраћаја, примећено је да приликом истраживања у обзир нису узимани ефекти других мера или околности које би такође могле имати утицај на безбедност саобраћаја. Наиме, у зависности од примењене методологије истраживања, студије које су се бавиле испитивањем ефикасности конверзије, или нису узимале у обзир ни један контролни параметар већ су истраживање базирале само на броју саобраћајних незгода (и настрадалих лица) или су узимале у обзир само разлике у ПГДС-у у периоду пре и након конверзије.

Узимање у обзир ПГДС-а при оваквим анализама јесте неопходно како би била уквалитетна корелација између броја саобраћајних незгода и обима саобраћаја (Brüde and Larsson, 2000). Међутим, примена само ПГДС-а као контролног фактора није увек довољна како би се утврдили стварни ефекти конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице. С обзиром да на неком подручју у периоду истраживања могу бити забележене различите околности које могу директно утицати на смањење или повећање броја саобраћајних незгода и настрадалих лица (усвајање нових прописа, строжије или блаже санкционисање саобраћајних прекршаја, побољшање или погоршање стања саобраћајне инфраструктуре, спровођење различитих кампања и друго), неопходно је дефинисати, а затим и моделирати, одговарајући индикатор, којим би се изоловали сви споредни ефекти на безбедност саобраћаја на предметном подручју и креирати модел којим би се могли израчунати стварни ефекти конверзије.

Управо је непостојање модела којим би се могли израчунати ефекти саме конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице (без споредних ефеката), односно потреба његовог креирања, био полазни мотив и основна идеја за израду ове докторске дисертације.

С обзиром да је у Републици Србији у протеклој деценији забележен значајан пораст броја конвертованих раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице, идеја је била да се постојеће конвертоване раскрснице искористе како би се на основу њих креирао модел, а затим и спровело истраживање којим би се утврдили стварни ефекти саме конверзије раскрсница у Републици Србији.

У већини локалних самоуправа средства за изградњу, развој и одржавање саобраћајне инфраструктуре и унапређење безбедности саобраћаја су ограничена, а конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице изискује одређена средства, која се пре свега огледају у грађевинским трошковима и додатном простору (MDOT, 2011), што може довести до недоумице код доносиоца одлука коју раскрсницу изабрати за конверзију. На основу добијених резултата истраживања у оквиру ове докторске дисертације у виду израчунатих ефеката конверзије различитих група раскрсница било би омогућено идентификовање раскрсница чијом би будућом конверзијом били остварени најбољи ефекти. У овој чињеници се огледа и практичан допринос ове докторске дисертације, с обзиром да би резултати истраживања у оквиру исте могли да буду од практичне користи доносиоцима одлука на локалном нивоу с обзиром да би им била омогућена правилна алокација расположивих средстава како би се постигли најбољи ефекти по безбедност саобраћаја, а уједно и били смањени трошкови који произилазе из саобраћајних незгода.

1.1. ПРЕДМЕТ И НАУЧНИ ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесу урбане раскрснице које су из раскрсница са директним укрштањем токова конвертоване у кружне раскрснице, а које су притом изведене у складу са међународним стандардима и правилима дефинисаним у Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији, у одељку 5.3. (ЈП „Путеви Србије“, 2012). Основни циљ истраживања јесте дефинисање индикатора којима се може утврдити стварна ефективност саме

конверзије раскрсница са директним укрштањем токова кружним раскрсницама са аспекта безбедности саобраћаја, а затим и рачунање ефеката на основу чега би се дефинисао модел за утврђивање ефективности будућих конверзија.

1.2. ПОЛАЗНЕ ХИПОТЕЗЕ

Имајући у виду спроведену анализу расположиве литературе у предметној области, и истраживања која су претходила истраживању у оквиру ове докторске дисертације, постављена је следећа полазна хипотеза:

- Избором и моделовањем одговарајућих индикатора може се оценити ниво ефективности конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

Поред основне, очекује се да из спроведеног истраживања у докторској дисертацији буду потврђене следеће додатне хипотезе:

- Конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице има позитивни ефекат у погледу смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица;
- Ефективност конверзије у кружне раскрснице трокраких раскрсница је мања него код четворокраких раскрсница;
- Конверзија раскрсница регулисаних светлосним сигнаlima показује слабије ефекте него конверзија раскрсница регулисаних вертикалном сигнализацијом;
- У градским срединама конверзијом у кружне раскрснице постижу се бољи ефекти у безбедности саобраћаја него код раскрсница у приградским срединама.

1.3. МЕТОДИ ИСТРАЖИВАЊА

Као основни метод за испитивање ефективности замене класичних раскрсница са директним укрштањем токова раскрсницама са кружним током саобраћаја са аспекта безбедности саобраћаја употребљен је емпиријски Бајесов метод (ЕБ) за опсервационе студије пре и после.

Поред основног метода, при изради докторске дисертације коришћени су и додатни методи попут:

- Метода системске анализе;
- Метода компарације;
- Статистичких метода обраде података.

1.4. ОГРАНИЧЕЊА ИСТРАЖИВАЊА

Основно ограничење које је постојало у истраживању у оквиру ове докторске дисертације јесте недостатак података о ПГДС-у у градовима у Републици Србији. Проблем непостојања података о ПГДС-у представља генерални проблем и у другим државама, и у готово свакој студији овог типа рађеној у свету ПГДС је најчешће процењиван, што је учињено и у овом истраживању. Коришћење процењеног, а не стварног ПГДС-а може учинити добије резултате мање прецизним.

У истраживањима овог типа генерални проблем може бити и непрецизан податак о саобраћајним незгодама. За податке о саобраћајним незгодама и настрадалим лицима, коришћеним у овом истраживању, (локација – раскрсница, датум, број настрадалих лица) може се рећи да су тачни с обзиром да су добијени из званичне базе ЈИС (Јединствени информациони систем) Управе саобраћајне полиције. Међутим, постоји могућност да одређени број саобраћајних незгода није

пријављиван саобраћајној полицији, поготову незгода у којима је учествовало само једно возило (на пример, прелетање преко централног острва кружне раскрснице и слично). На тај начин овакве саобраћајне незгоде нису евидентиране у ЈИС-у, што опет представља својеврсно ограничење овог истраживања.

У самом истраживању као ограничење појавио се и недостатак или недовољан број раскрсница из појединих група кружних раскрсница чија би ефективност била посебно испитана. Тако на пример, на простору Републике Србије у периоду овог истраживања није било могуће наћи ни једну трокраку раскрсницу која је из раскрснице са директним укрштањем токова конвертована у једнотрачну кружну раскрсницу. Осим тога, из групе једнотрачних четворокраких кружних раскрсница, није било могуће пронаћи ни једну приградску раскрсницу на којој се пре конверзије саобраћајем управљало уз помоћ семафора.

Такође, у групи двотрачних, трокраких, пре конверзије семафорисаних кружних раскрсница, било је могуће пронаћи само по једну градску и једну приградску кружну раскрсницу, што свакако није довољан број на основу којег би се добијени резултати могли сматрати поузданим.

1.5. ПРИКАЗ САДРЖАЈА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

У складу са темом, предметом и научним циљем, ова докторска дисертација је подељена у седам поглавља.

У првом поглављу (*Увод*) описан је проблем којим се ова докторска дисертација бави, као и главна идеја и мотив за израду ове докторске дисертације. Такође, у овом поглављу представљен је предмет, циљ, методи и ограничења истраживања у оквиру докторске дисертације.

У другом поглављу (*Кружне раскрснице*) најпре је описана разлика између кружних раскрсница и раскрсница са кружним током саобраћаја, а затим и

представљен историјат кружних раскрсница од њиховог настанка преко развоја до модерног концепта. У овом поглављу дат је детаљан опис свих геометријских елемената кружних раскрсница, представљени су различити типови кружних раскрсница, операционе и друге карактеристике кружних раскрсница, као и њихови трошкови. На крају, у овом поглављу дат је упоредни приказ сумираних предности и недостатака кружних раскрсница.

У трећем поглављу (*Елементи безбедности кружних раскрсница*) детаљно су описане све безбедносне карактеристике кружних раскрсница. Ово поглавље се између осталог бави конфликтним тачкама на кружним раскрсницама и њиховом поређењу са раскрсницама са директним укрштањем токова. Поред тога, представљено је и како сваки од геометријских елемената кружних раскрсница утиче на безбедност саобраћаја, представљени су стандарди у безбедном обележавању и означавању кружних раскрсница, прегледности и брзинама кретања возила на кружним раскрсницама.

У четвртом поглављу (*Методи за процену ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице*) детаљно су представљени најпримењиванији методи за прорачун безбедносних ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице – емпиријски Бајесов метод, опсервациони метод пре и после, као и мета-анализа.

У петом поглављу (*Остварени ефекти конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице у свету*) су представљени резултати најзначајнијих студија рађених у свету, а које су се бавиле насловном тематиком. С обзиром на то да је у истраживању рађеном у оквиру докторске дисертације примењен емпиријски Бајесов метод, у овом поглављу су одвојено приказани резултати свих студија које су користиле наведени метод, у циљу лакше компарације резултата.

У шестом поглављу (*Анализа ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице у Републици Србији*) дат је приказ комплетног истраживања спроведеног у оквиру ове докторске дисертације. Најпре је детаљно представљена методологија истраживања, дефинисан модел који узима у обзир измерљиве индикаторе безбедности саобраћаја, а на основу којег је могуће изоловати и израчунати ефекте саме конверзије. Поред тога, у овом поглављу биће извршено и поређење резултата добијених применом претходно описаног модела и модела који не узима у обзир споредне ефекте. На крају су приказани свеобухватни резултати истраживања у виду израчунатих ефеката које свака од различитих група кружних раскрсница има на безбедност саобраћаја.

У седмом, последњем поглављу (*Закључна разматрања*) је сумиран комплетан садржај докторске дисертације, са посебним акцентом на резултате истраживања и њиховим тумачењем. У овом поглављу су на крају дате препоруке за будућа истраживања у овој области.

2. КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ

У научним круговима дефинисана је и објашњена разлика између кружних раскрсница и раскрсница са кружним током саобраћаја, а која је неопходна за разумевање ове докторске дисертације. Врло добру компарацију кружних раскрсница и раскрсница са кружним током саобраћаја дала је Дирекција за транспорт америчке државе Вирџиније, која је приказана у Табели 2.1., на основу које се може јасно уочити разлика између ова два појма.

Табела 2.1 Компаративни приказ карактеристика кружних раскрсница и раскрсница са кружним током саобраћаја (*Virginia Department of Transportation, 2016*)

Карактеристика	Кружна раскрсница	Раскрсница са кружним током саобраћаја
Контрола уласка	Возила у раскрсници имају првенство (знак П-1 на свим прилазима)	Првенство могу да имају и возила у раскрсници, али врло често и надолazeћа возила (знак П-1 или П-2, а може бити регулисано и светлосном саобраћајном сигнализацијом)
Операционе карактеристике	Возачи бирају траке којима ће се кретати при уласку у раскрсницу у зависности од планиране путање. Мењање трака у самој раскрсници је минимизирано.	Мењање трака је практично неизбежно у самој раскрсници.
Дефлексија	Већи уливни углови омогућавају улазну дефлексију у циљу смањења брзина уласка у раскрсницу	Уливни углови су мањи и омогућавају улазак возила у раскрсницу са већом брзином
Брзине	Кретање кроз раскрсницу релативно мањим брзинама (< 40 km/h)	Омогућено кретање већим брзинама (> 40 km/h)
Централно острво	Користе се мањи пречници	Већи пречници су дозвољени
Пешаци	Без пешака на централном острву	На већим централним острвима дозвољено је кретање пешака ка и од централног острва

Разделна острва	Обавезна	Опциона
Паркирање	Није дозвољено паркирање у самој раскрсници нити на прилазима раскрсници	Могуће паркирање у раскрсници

2.1. ИСТОРИЈАТ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

У литератури која се на различите начине бави овом тематиком се за почетак изградње првих раскрсница са кружним током саобраћаја узимају прве године 20. века. [Brown \(1995\)](#) и [ITE \(2004\)](#) за прву изграђену раскрсницу са кружним током саобраћаја узимају *Columbus circle* у Њујорку, на Менхетну 1905. године (Слика 2.1)



Слика 2.1 Раскрсница *Columbus circle* у Њујорку ([Wikipedia, 2017](#))

Међутим, иако многи аутори узимају *Columbus circle* за прву изграђену раскрсницу са кружним током саобраћаја, овакве раскрснице се могу пронаћи и раније, а за најпознатију би се свакако могла узети раскрсница у оквиру комплекса *Circus* у граду Бату у Енглеској (Слика 2.2), чија је изградња завршена још 1768. године, којом су се најпре кретали коњи и кочије ([Conway and Roenisch, 2006](#)).



Слика 2.2 Кружна раскрсница у оквиру комплекса *Circus* у граду Бату у Енглеској
([Visit Bath, 2017](#))

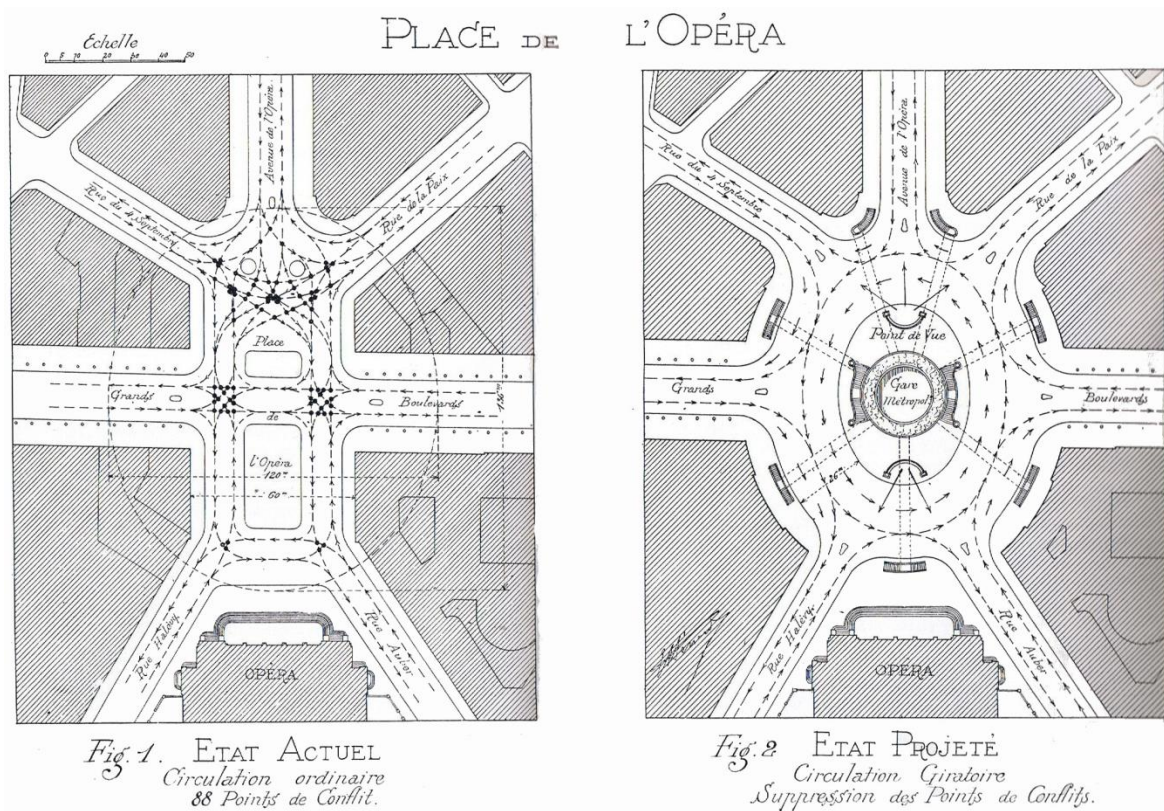
Први који се озбиљније бавио пројектовањем раскрсница са кружним током саобраћаја био је француски урбаниста Еуген Енар (*Eugène Hénard*), који је 1903. године и представио концепт кружних раскрсница и уврстио га у свој саобраћајни план Париза (Слика 2.3), а на основу којег је и направљена прва раскрсница са кружним током саобраћаја у Паризу 1907. године на тргу *Place de l'Étoile*, а одмах затим и на *Place de la Nation* ([Lay, 1992](#)). На Слици 2.4 приказан је Енаров пројекат реконструкције трга *Place de l'Opéra* у Паризу на којем је приказано смањење броја конфликтних тачака конверзијом постојеће раскрснице у раскрсницу са кружним током саобраћаја.

Паралелно са изградњом прве у Паризу, изграђена је и прва раскрсница са кружним током саобраћаја у Америци намењена кретању и аутомобила и трамваја и то у *Hanchett Residence Park* у Сан Хозеу у Калифорнији коју је пројектовао архитекта Џон Мекларен (*John McLaren*) 1907. године ([Inoue, 2014](#)).



Слика 2.3 Саобраћајни план Париза Еугена Енара (Alchetron, 2017)

У почетку нису постојала конкретна правила за кретање возила кроз раскрснице са кружним током саобраћаја, да би након тога приоритет био дат возилима која улазе у раскрсницу над онима која су већ у раскрсници, што је са повећањем обима саобраћаја доводило до загушења у самој раскрсници (Rodegerdts et al., 2010). Дизајн тадашњих раскрсница са кружним током саобраћаја је омогућавао кретање возила великим брзинама кроз раскрсницу. Повећање незгода условљено овом ситуацијом, затим развој саобраћајне сигнализације, а нарочито координисане светлосне сигнализације довело је до смањења интересовања за раскрснице са кружним током, тако да су многе од њих замењене класичним раскрсницама (Шеница и Милошевић, 2002).



Слика 2.4 Пројекат реконструкције трга Place de l'Opéra у Паризу Еугена Енара
(Wikipedia, 2017)

Године 1960. у Великој Британији је развијен концепт савремених кружних раскрсница када је предложено да раскрснице буду мање са већом дефлексијом трасе кретања возила, а 1966. је усвојено правило да приоритет имају возила која су већ у раскрсници у односу на возила која улазе у раскрсницу (Daniels and Wets, 2005 ; Rodegerdts et al., 2010). Након ових новина, којима су решени проблеми како загушења, тако и безбедности, кружне раскрснице постају популарне у Европи, док у Америци, због лоше репутације старих раскрсница са кружним током саобраћаја, није било интересовања за савремене кружне раскрснице све до деведесетих година двадесетог века, када ове раскрснице постају популарне и у Америци, а у појединим државама САД (попут Мериленда и Флориде) изградња кружних раскрсница постаје и пракса (Шеница и Милошевић, 2002). Поред Европе и Америке, кружне раскрснице почињу да се масовно граде и у Аустралији (Akçelik, 2008).

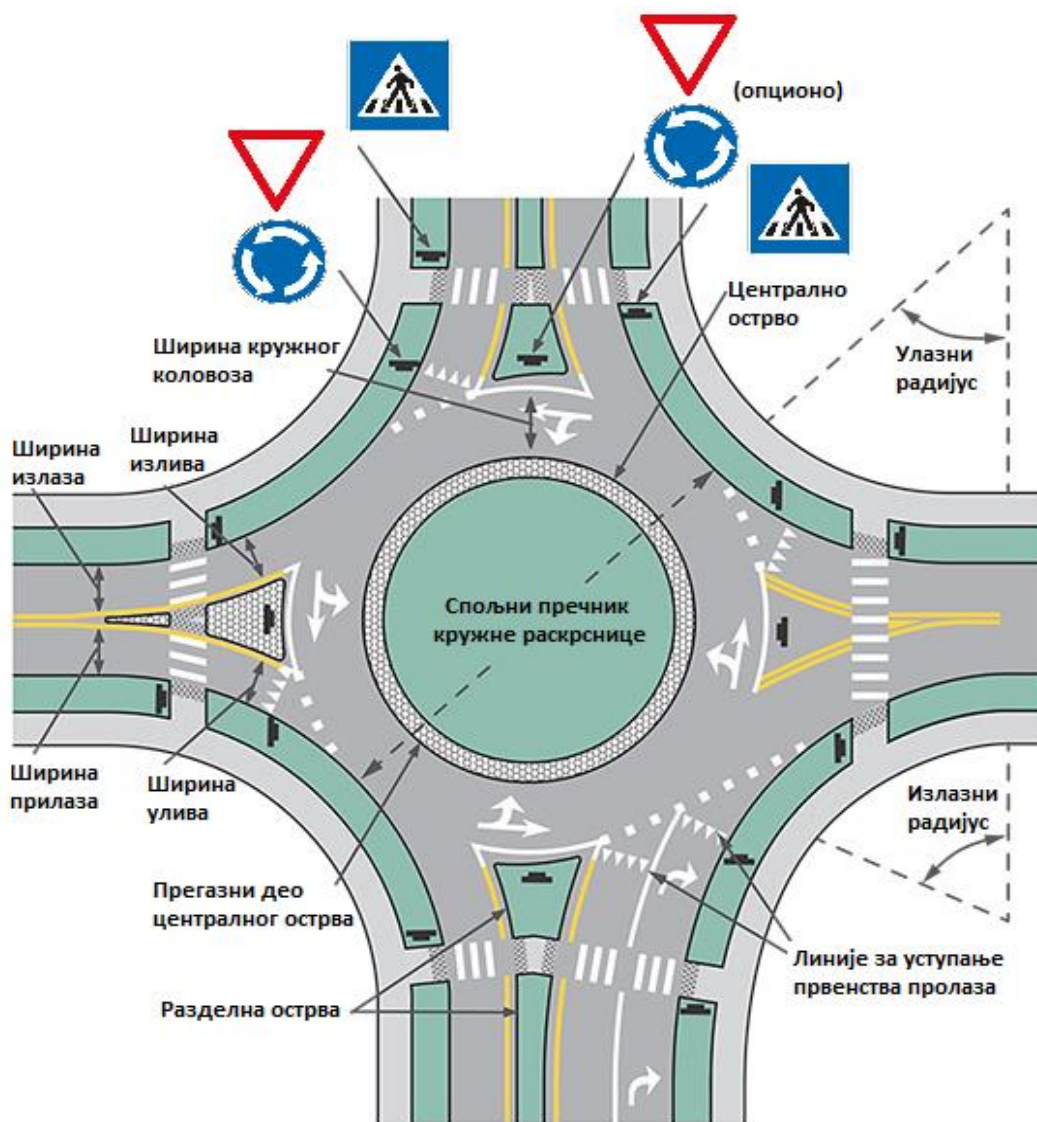
Након 2000. године у целом свету кружне раскрснице почињу да се граде као доказано безбедније, а многи градови у Србији уводе изградњу кружних раскрсница као стандард, у чему предњачи Ниш који у 2017. години има 25 кружних раскрсница. Према подацима из децембра 2015. године у САД има око 4.800 кружних раскрсница, док је број ових раскрсница у западноевропским земљама далеко већи па их је око 26.000 у Уједињеном Краљевству, а свакако их је највише у Француској - око 32.000 (Roundabouts USA, 2016), где број кружних раскрсница непрестано расте (Guichet, 2005) и где се према процени AASHTO (2001) почетком 2000-тих година градило око 1.000 кружних раскрсница годишње.

На Универзитету у Делфту у Холандији, 1996. године је од стране истраживача Ламбертуса Фортујина развијен концепт турбо кружних раскрсница са спиралним кружним током и физички одвојеним саобраћајним тракама које возачи бирају у зависности од жељене трасе кретања (Mauro and Branco, 2010 ; Bastos Silva et al., 2014a).

Прва турбо кружна раскрсница изграђена је 2000. године у Холандији, а у овој земљи данас постоји преко 190 оваквих раскрсница са тенденцијом изградње нових (Fortuijn, 2009). Поред Холандије још неколико европских земаља попут Пољске, Немачке, Финске, Норвешке и Словеније, изградило је мањи број турбо кружних раскрсница (Bastos Silva et al., 2014a), али овај концепт модификованих кружних раскрсница још увек није наишао на ширу употребу.

2.2. ЕЛЕМЕНТИ И ГЕОМЕТРИЈСКИ ДИЗАЈН КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

У Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији, у одељку 5.3. (ЈП „Путеви Србије“, 2012) као и у британском Приручнику за пројектовање путева и мостова (Highways Agency, 2007) дефинисани су елементи кружних раскрсница (Слика 2.5):



Слика 2.5 Основни елементи стандардне кружне раскрснице (Brewer et al., 2014)

- **Кружни коловоз** је коловоз кружног облика по којем се крећу возила око централног острва у смеру супротном од смера казаљке на сату¹.

¹ У земљама у којима се саобраћа левом страном коловоза, у кружном току возила се крећу у смеру кретања казаљке на сату.

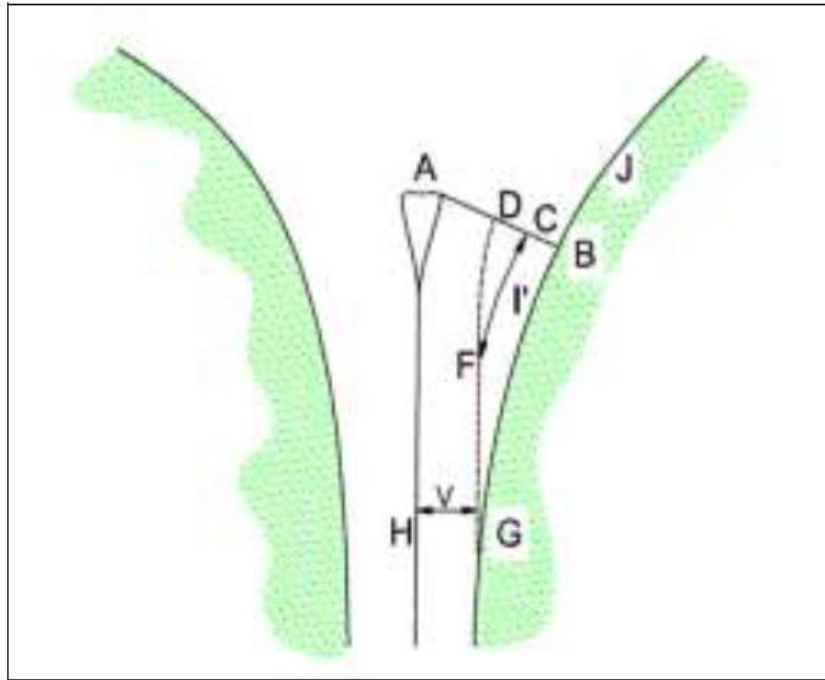
- **Централно острво** је денивелисана физичка препрека кружног или овалног облика, постављена у центру кружне раскрснице, која спречава вожњу право и омеђава кружну раскрсницу са унутрашње стране.
- **Прегазни део централног острва** је онај део централног острва који заједно са кружним коловозом омогућава вожњу кроз раскрсницу дугим возилима. Од кружног коловоза се у грађевинском погледу разликује по употребљеном материјалу и боји. Прегазни део централног острва мора бити тако изведен, да возила одвраћа од вожње (материјали грубе гранулације, калдрма), али истовремено мора омогућити вожњу дугих возила преко њега. Изводи се само код малих и средње великих кружних раскрсница
- **Спољни пречник кружне раскрснице** је највећи пречник спољног (уписаног) круга кружне раскрснице односно пречник спољне ивице кружне раскрснице.
- **Унутрашњи пречник** је пречник централног острва, односно унутрашње ивице кружног коловоза. Пречник централног острва не би смео бити мањи од 4 m.
- **Краци кружне раскрснице** су прикључни путеви/улице или коловозне траке са обе стране денивелисаног или само хоризонталном сигнализацијом означеног пешачког острва, који саобраћај супротног или истог усмерења (улаз - излаз) воде до/из раскрснице.
- **Улив** је подручје кружне раскрснице, где се уливни правац улива у кружни ток и од њега је одвојен линијом за уступање првенства пролаза.
- **Излив** је подручје кружне раскрснице у којем возила напуштају исту.
- **Ниша за чекање** је простор између унутрашње ивице означеног прелаза за пешаке или бициклисте и спољашње ивице кружног коловоза, који користе

возила за чекање на прихватљиву временску празнину између возила у кружном току.

- **Уливни радијус** је радијус десне ивице коловоза на уливу у кружну раскрсницу, који усмерава возила према кружној раскрсници.
- **Изливни радијус** је радијус десне ивице коловоза на изливу из кружне раскрснице, који усмерава возила из кружне раскрснице.
- **Ширина улива** је ширина левкастог улива у кружну раскрсницу и мери се под правим углом од уливног радијуса до тачке пресека са продужетком десне ивице пешачког острва и хоризонталне сигнализације која означава спољну ивицу кружног коловоза.
- **Разделно острво** је денивелисани елемент кружне раскрснице који раздваја улив и излив из кружне раскрснице, усмерава возила на правилан улаз и излаз из кружне раскрснице и обезбеђује виши ниво саобраћајне безбедности пешака и бициклиста при прелажењу крака кружне раскрснице.
- **Просечна ефективна дужина проширења (l')** је просечна дужина проширења на уливу у кружну раскрсницу. На Слици 2.6 дат је приказ просечне ефективне дужине проширења на примеру једнотрачне кружне раскрснице. У случају да на уливу није изведено проширење, десна ивица коловоза на уливу прати линију GFD , а ширина улива једнака је ширини саобраћајне траке. BA је нормала на уливни радијус и има дужину e . Дужина дужи BD је $e-v$, а дужина дужи BC је $(e-v)/2$. Просечно ефективно проширење је CF , удаљено за $(e-v)/2$ од десне ивице коловоза. Растојање CV које је једнако l' називамо просечна ефективна дужина проширења.
- **Оштрина (степен) проширења** представља меру степена проширења од v до e уздуж просечне ефективне дужине проширења l' . Оштрина проширења одређена је Формулом 2.1:

$$S=1,6(e-v)/l' \quad (\text{Формула 2.1})$$

Више вредности одговарају кратким, оштрим проширењима. Ниске вредности одговарају дугим, постепеним проширењима.

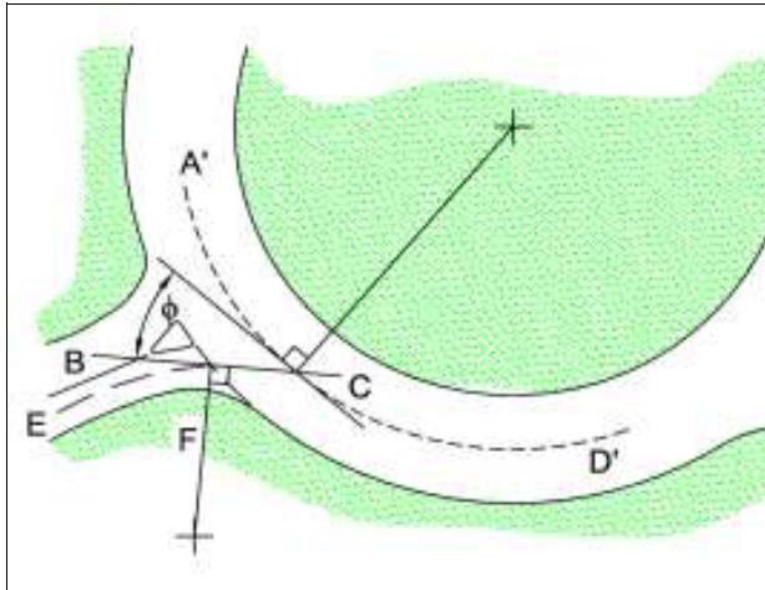


Слика 2.6 Просечна ефективна дужина проширења (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

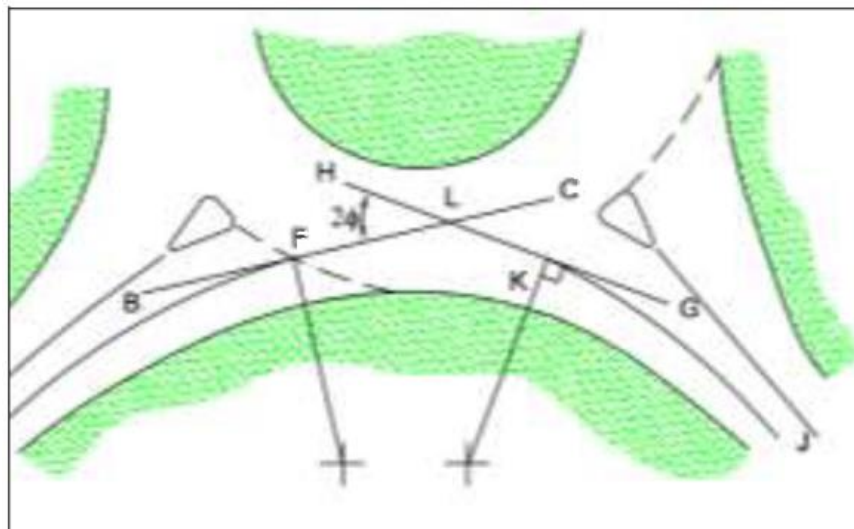
- **Уливни угао (ϕ)** је угао који одређују тангенте на средишњој линији уливне траке и кружног коловоза на месту, где средишња линија уливне траке пресеца спољни радијус кружне раскрснице, одн. на месту где продужетак прве тангенте пресеца средишњу линију кружног коловоза. У пракси могу да наступе два случаја, у зависности од величине дужине кружног сегмента између два узастопна улива.

У случају веће дужине кружног сегмента између два узастопна улива (Слика 2.7) линија BC је тангента на криву EF (средишњицу коловоза на уливу) у тачки, где крива EF пресеца спољашњи радијус кружне раскрснице. Угао ϕ је

угао између BC и тангенте на средишњицу кружног коловоза у тачки у којој BC пресеца $A'D'$.



Слика 2.7 Уливни угао на кружним раскрсницама са већом дужином кружног сегмента (ЈП „Путеви Србије“, 2012)



Слика 2.8 Уливни угао на кружним раскрсницама са мањом дужином кружног сегмента (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

Код мањих дужина кружног сегмента између два узастопна улива (Слика 2.8) линија BC је идентична као код великих дужина кружног сегмента. Линија GH је тангента на криву JK , која је средишњица изливне траке. Тангента GH је у тачки где средишњица изливне возне траке пресеца спољашњи радијус кружне раскрснице. BC и GH секу се у тачки L . BLH заклапају угао 2ϕ . Уливни угао ϕ је половина те вредности.

2.3. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

У зависности од различитих критеријума, кружне раскрснице се могу поделити на више начина:

- Према локацији и величини;
- Према величини и броју трака;
- Према намени;
- Према начину вођења појединих праваца;
- Према другим значајним критеријумима.

2.3.1. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА ЛОКАЦИЈИ И ВЕЛИЧИНИ

Типови кружних раскрсница у односу на локацију и величину који су дефинисани у Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији, у одељку 5.3. (ЈП „Путеви Србије“, 2012) приказани су у Табели 2.2.

Табела 2.2 Типови кружних раскрсница у односу на локацију и величину (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

Тип кружне раскрснице	Спољни пречник [m]	Оквирни капацитет [возила/дан]
Мини градска	14-25	10.000
Мала градска	22-35	15.000
Градска средње величине	30-40	20.000
Велика градска	35-45	22.000
Са спиралним кружним током (градска и ванградска)	40-70	40.000
Велика ванградска	>70	-

Мини кружна раскрсница се користи у збијеним градским срединама у сврху умиривања саобраћаја. Очекивана брзина возила је до 25 km/h. При вођењу бициклиста користи се паралелно вођење (уз спољашњу ивицу кружног коловоза). Због малих димензија мини кружних раскрсница, разделна острва су монтажна и имају димензије мање од минималних дозвољених за мале и средње велике кружне раскрснице. У поређењу са класичном несемафорисаном раскрсницом, мини кружна раскрсница има, по правилу, већи капацитет и неупоредиво већу безбедност учесника у саобраћају, а мале трошкове извођења (Polus and Vlahos, 2005 ; ЈП „Путеви Србије“, 2012).

Мала кружна раскрсница се изводи само у градском окружењу. Очекивана брзина вожње кроз мале кружне раскрснице је испод 30 km/h. Код оптерећенијих малих кружних раскрсница препоручује се употреба денивелисаних бициклистичких стаза. Ове кружне раскрснице се често користе на улазима у мања насеља, где поред упозорења возачима о промени услова у саобраћају, нуде и неограничене могућности пејзажног и архитектонског обликовања (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

Кружне раскрснице средње величине се у начелу употребљавају на оптерећенијим чвориштима у градским окружењима. Пројектно-технички елементи морају да буду изабрани тако, да обезбеђују максималну брзину возила до 40 km/h.

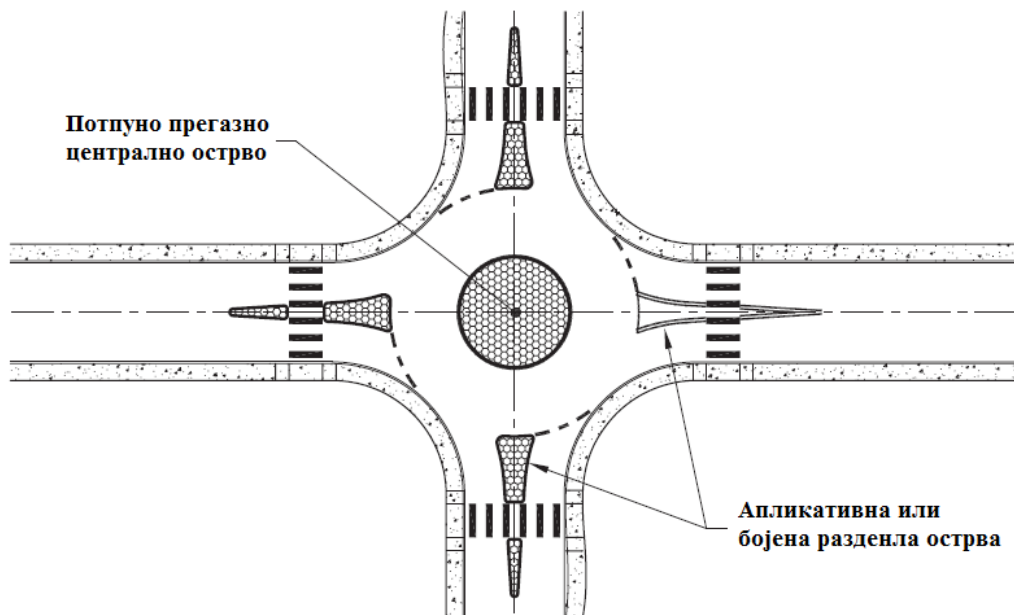
Велики акценат је на вођењу пешака и бициклиста, који су од коловоза одвојени денивелацијом. Разделна острва омогућавају довољно велики простор за заштиту бициклиста између уливних/изливних саобраћајних трака (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

Кружне раскрснице са спиралним вођењем кружног тока се изводе на местима где се не може очекивати велики број пешака и бициклиста. Ванградска кружна раскрсница са спиралним кружним током има већи спољашњи пречник него градска кружна раскрсница са спиралним кружним током. Пројектно-технички елементи градске кружне раскрснице са спиралним кружним током морају да буду изабрани тако да обезбеђују максималну брзину возила до 40 km/h. Пројектно-технички елементи ванградске кружне раскрснице са спиралним кружним током морају да буду изабрани тако да обезбеђују максималну брзину возила до 50 km/h. Немоторизовани саобраћај на подручју градске кружне раскрснице са спиралним кружним током мора, по правилу, бити издвојен у другом нивоу (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

Велика кружна раскрсница се изводи само у изузетним случајевима, обично на прилазима градова са аутопута. Пројектовање ових кружних раскрсница захтева посебан приступ. Бициклически и пешачки саобраћај воде се одвојено и нису саставни део таквих кружних раскрсница (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

2.3.2. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА ВЕЛИЧИНИ И БРОЈУ ТРАКА

Подела кружних раскрсница која је најчешће у употреби у стручној литератури је подела према величини тј. броју трака у самој раскрсници. У приручнику о кружним раскрсницама америчког Одбора за саобраћајна истраживања (*Transportation Research Board*) кружне раскрснице су подељене на: мини кружне раскрснице, једнотрачне кружне раскрснице и вишетрачне кружне раскрснице.



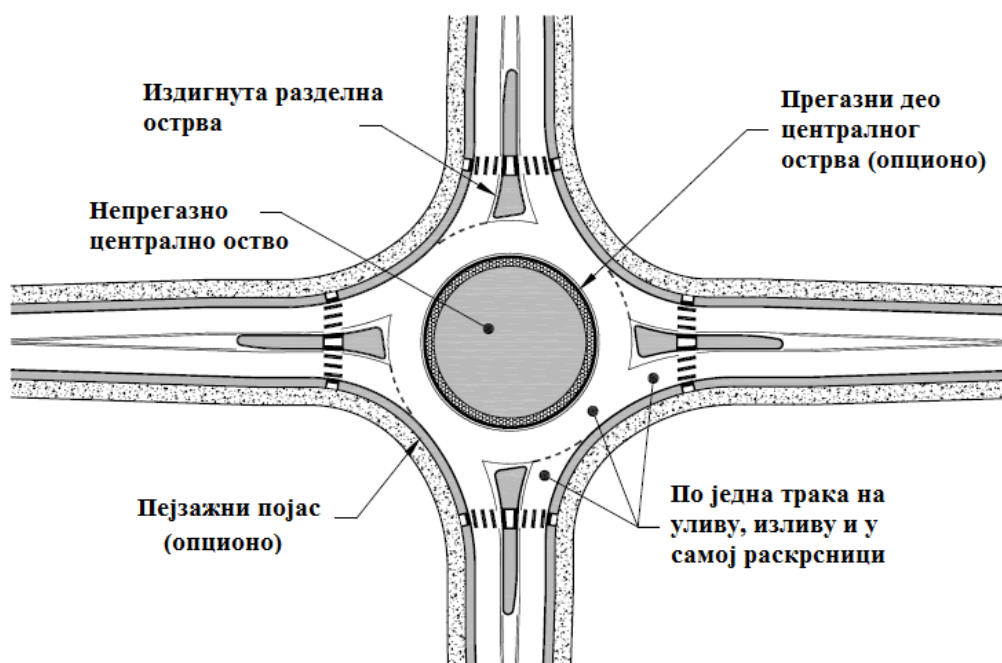
Слика 2.9 Шематски приказ мини кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)



Слика 2.10 Пример мини кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)

Мини кружне раскрснице (Слике 2.9 и 2.10) карактерише мали спољни пречник (13-27 m) и потпуно прегазно централно острво. Пројектују се за брзине од 25 до 30 km/h. Погодне су на раскрсницама мањих саобраћајница (са не више од једне уливне

траке по прилазу), са капацитетом до 15.000 возила на дан. Такође, могуће их је применити на раскрсницама где не постоји довољан простор за примену класичних једнотрачних кружних раскрсница. Трошкови њихове изградње су доста мали. Погодне су и са аспекта пешака, јер су пешачки прелази краћи и ближи самој раскрсници, а релативно мале брзине кретања возила повећавају безбедност рањивих учесника у саобраћају (FHWA, 2010 ; Rodegerdts et al., 2010).

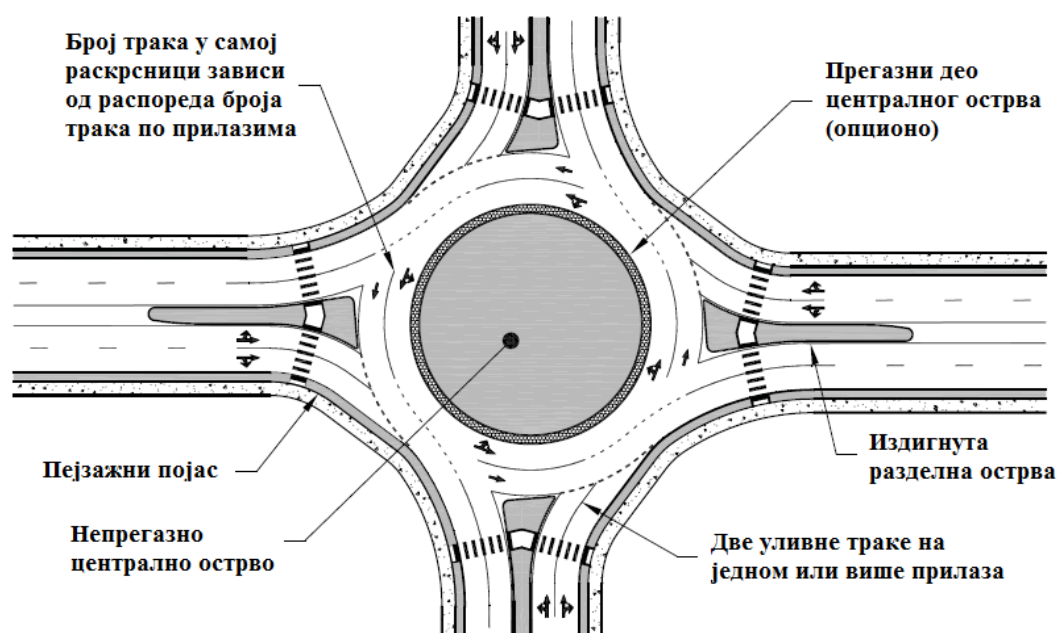


Слика 2.11 Шематски приказ једнотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)

Попут мини кружних раскрсница и једнотрачне кружне раскрснице (Слике 2.11 и 2.12) карактерише по једна трака на уливу на сваком прилазу, као и у самој раскрсници, само што се ове раскрснице граде на прометнијим саобраћајницама јер имају капацитет до 25.000 возила на дан. Имају спољни пречник од 27 до 55 m, као и издигнута централна острва (са могућношћу пројектовања прегазног дела за дуга возила) и издигнута разделна острва. Сама величина једнотрачне кружне раскрснице зависи од меродавног возила за одређивање пројектно-техничких елемената, прегледности, односно доступног простора. Пројектују се за брзине од 30 до 40 km/h (Rodegerdts et al., 2010).



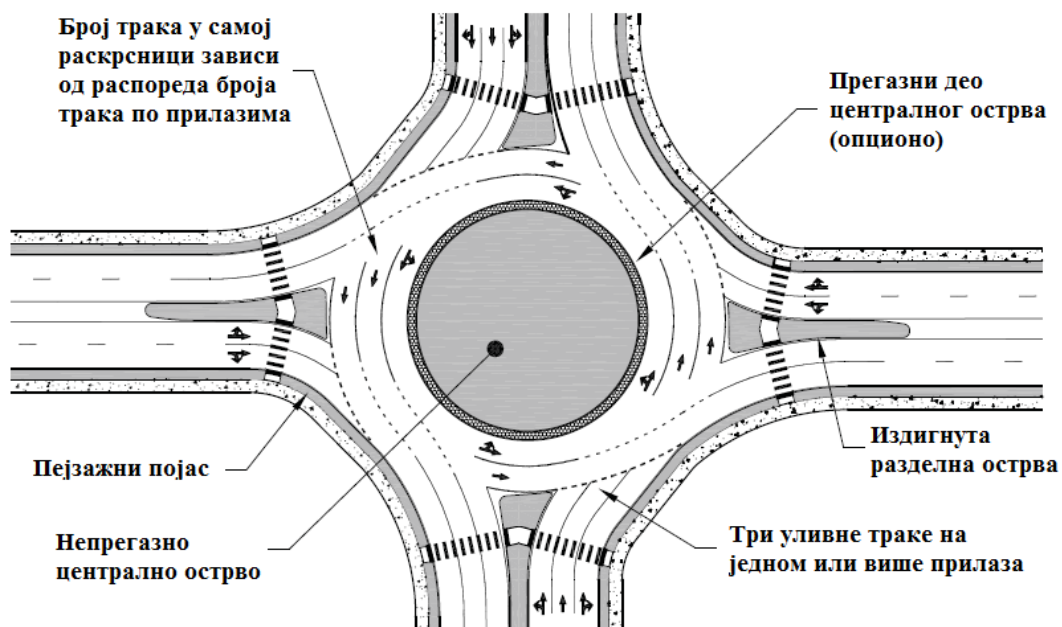
Слика 2.12 Примери једнотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)



Слика 2.13 Шематски приказ двотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)

Вишетрачне кружне раскрснице (Слике 2.13, 2.14 и 2.15) имају најмање две уливне траке на најмање једном прилазу. У ову групу раскрсница спадају и раскрснице које имају различит број трака на прилазима (нпр. по две траке на уливима главног правца и по једну траку на уливима споредног правца). Овде такође спадају и раскрснице код којих се на појединим прилазима број трака повећава на самим уливима. Пројектују се са већим спољним пречницима (од 46 до 91 m), са

обавезно издигнутим разделним острвима и централним острвом, које може имати прегазни део за дужа возила. Пројектују се за брзине кретања возила од 40 до 50 km/h, са капацитетом до 45.000 возила на дан (Rodegerdts et al., 2010).



Слика 2.14 Шематски приказ тротрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)



Слика 2.15 Пример вишетрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010)

2.3.3. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА НАМЕНИ

Према Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији (ЈП „Путеви Србије“, 2012) кружне раскрснице се према намени деле на три основна типа и то:

- Кружне раскрснице за умиривање саобраћаја. Овај тип кружних раскрсница се изводи у градским срединама или на прелазима са ванградских у градска подручја.
- Кружне раскрснице за ограничавање саобраћаја. Овај тип кружних раскрсница се изводи у градским подручјима применом одговарајућих геометријских елемената, са циљем ограничавања саобраћаја (одређених категорија возила и/или обезбеђивања максимално дозвољеног или унапред прописаног капацитета).
- Кружне раскрснице за повећање капацитета. Кружне раскрснице овог типа изводе се само ван урбаних подручја, а њима се повећава капацитет уз задовољавајући ниво безбедности саобраћаја.

2.3.4. ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА ПРЕМА НАЧИНУ ВОЂЕЊА ПОЈЕДИНАЧНИХ ПРАВАЦА

Према критеријуму начина вођења појединачних праваца разликују се (ЈП „Путеви Србије“, 2012):

- Кружне раскрснице вођене у нивоу (површинске)
- Кружне раскрснице вођене ван нивоа (денивелисане)

Код вођења кракова кружне раскрснице у нивоу постоје два типа вођења прикључних трака и то:

- Вођење трака у кружну раскрсницу
- Вођење трака поред кружне раскрснице (Слика 2.16)

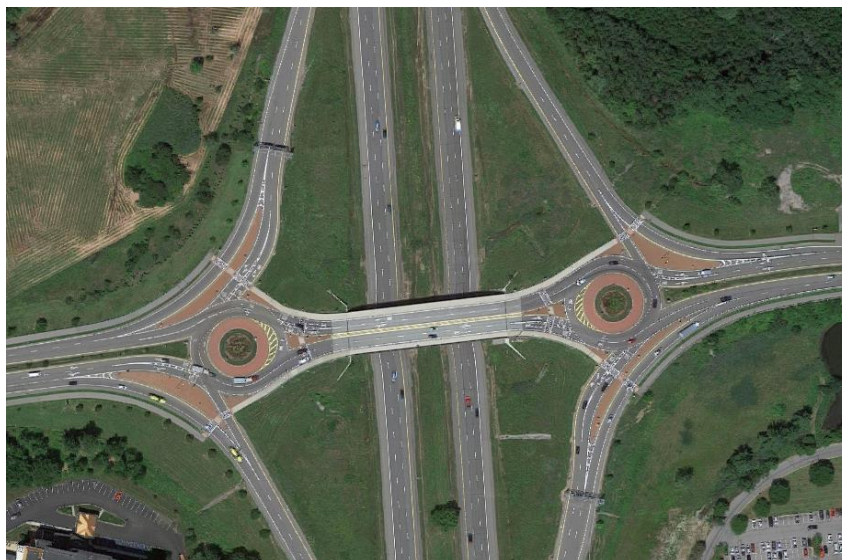


Слика 2.16 Пример вођења трака поред кружне раскрснице ([Google Maps, 2016](#))

Код денивелисаног вођења кракова кружне раскрснице постоје два начина извођења и то једна велика кружна раскрсница (Слика 2.17) и две мале кружне раскрснице (Слика 2.18).



Слика 2.17 Пример велике денивелисане кружне раскрснице ([Axiom Images, 2016](#))



Слика 2.18 Пример две мале денивелисане кружне раскрснице (Google Maps, 2016)

2.3.5. ОСТАЛИ ТИПОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Кружне раскрснице се у зависности од изабраног критеријума могу поделити и на друге начине.

Према броју кракова / прилаза раскрсници, кружне раскрснице се могу поделити на: трокраке, четворокраке и вишекраке.

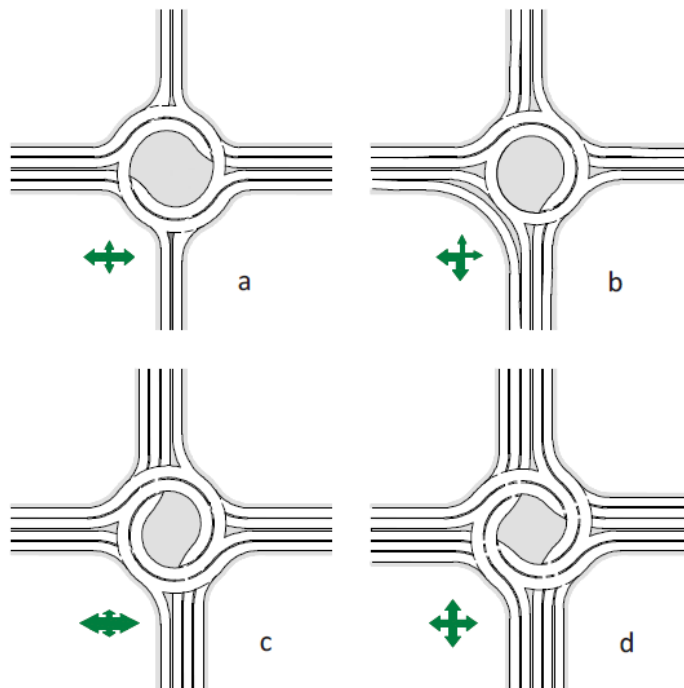
Према начину извођења кружне раскрснице се могу поделити на монтажне и фиксне.

Према облику централног острва и кружног коловоза кружне раскрснице се могу поделити на раскрснице са концентричним кружним током, са елипсастим кружним током и раскрснице са неправилним кружним током – турбо кружне раскрснице. Турбо кружне раскрснице се поред облика најчешће издвајају и по инсталираним физичким баријерама којима се одвајају саобраћајне траке које возачи

бирају у зависности од жељене трасе кретања (Слика 2.19) (Mauro and Branco, 2010 ; Bastos Silva et al., 2014a).



Слика 2.19 Пример турбо кружне раскрснице (Reddit, 2016)



Слика 2.20 Најчешћи облици четворокраке турбо кружне раскрснице (Bastos Silva et al., 2014a)

Постоје различити облици турбо кружних раскрсница, а који ће се употребити зависи од обима саобраћаја на сваком од праваца. На Слици 2.20 приказани су најчешћи облици четворокраких турбо кружних раскрсница (a - Овални облик, b - Коленасти облик, c – Спирални облик, d – Ротациони облик).

2.4. КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Како би се на најбољи начин сагледали предности и недостаци кружних раскрсница у односу на раскрснице са директним укрштањем токова, неопходно је сагледати карактеристике кружних раскрсница са различитих аспеката и из угла различитих учесника у саобраћају.

2.4.1. ОПЕРАЦИОНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Саобраћај у кружној раскрсници условљен је прихватљивим временским интервалом за улазак у раскрсницу. Ефикасност кружних раскрсница се огледа у феномену да што је бржи саобраћај у кружној раскрсници то су већи временски интервали који ће возачима бити прихватљиви за укључивање у кружну раскрсницу. Сам капацитет кружних раскрсница зависи од низа фактора и пажљиво се мора пројектовати ([Šurdonja et al., 2013](#) ; [Giuffre et al., 2016](#)). Уколико функционишу у оквиру свог пројектованог капацитета, кружне раскрснице стварају мања загушења него други типови раскрсница са другим начинима регулисања саобраћаја, а посебно су ефикасније у ванвршним периодима ([Rodegerdts et al., 2010](#)). Приликом уласка у кружну раскрсницу није неопходно заустављање уколико не постоје конфликти са другим возилима.

У кружним раскрсницама су сви правци третирани равноправно без додељивања приоритета главним правцима у односу на споредне правце. Са било ког

правца да улазе у кружну раскрсницу (било да је градска магистрала или секундарна градска саобраћајница) возила су дужна да уступе првенство возилима која су већ у кружној раскрсници. Ово правило може довести до застоја на главном правцу већим од прихватљивих, а с друге стране може изазвати и веће застоје на споредном правцу уколико је разлика у обиму саобраћаја између главног и споредног правца велика. Из ових разлога, пре избора кружне раскрснице, неопходно је анализирати класификацију улица које образују раскрсницу, као и саобраћајне токове у раскрсници (Rodegerdts et al., 2010).

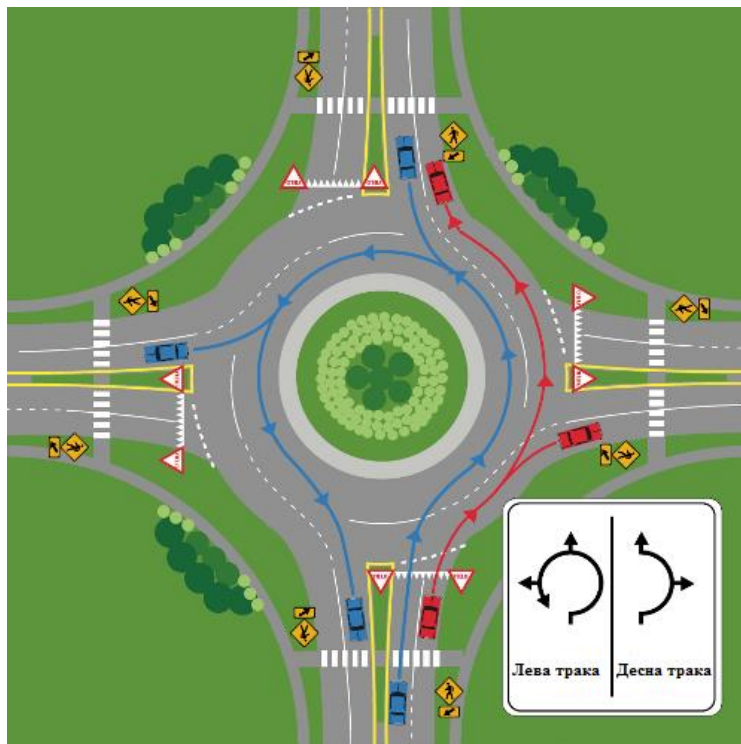
Недостатак кружних раскрсница у односу на класичне семафорисане раскрснице огледа се у немогућности успостављања линијске координације светлосних сигнала на главним градским саобраћајницама на којима је неопходно кретање возила без или са минимално застоја. С друге стране, велике кружне раскрснице могу повећати проток саобраћаја на најоптерећенијим раскрсницама у систему. Тако је на пример Gustafson (2012) показао смањење пикова временских застоја у току дана за чак 58% на раскрсници након конверзије. Због свега наведеног, препоручује се да, где је то могуће, систем линијске координације сигнала буде подељен на подсистеме који би били раздвојени кружном раскрсницом (Rodegerdts et al., 2010).

2.4.2. КАРАКТЕРИСТИКЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА СА АСПЕКТА УЧЕСНИКА У САОБРАЋАЈУ

Кружне раскрснице имају различите карактеристике као и различите предности и недостатке посматрано са аспекта различитих учесника у саобраћају. Из тог разлога ће у наставку бити приказане главне карактеристике кружних раскрсница са аспекта возача моторних возила, пешака и особа са инвалидитетом које у саобраћају учествују као пешаци, као и са аспекта бициклиста.

2.4.2.1. Возачи

Возачи при уласку возилом у кружну раскрсницу, поред тога да морају да уступе предност возилима која су већ у кружној раскрсници имају још једну обавезу која се огледа у избору саобраћајне траке (уколико је то могуће) за улаз и кретање кроз раскрсницу. Како би се код вишетрачних кружних раскрсница минимизирали конфликти при промени трака у самој раскрсници возачи морају изабрати одговарајућу саобраћајну траку сходно хоризонталној и вертикалној саобраћајној сигнализацији која дефинише намену трака. Код двотрачних кружних раскрсница постоји општа препорука, а у појединим земљама у обавеза коришћења трака тако да десну саобраћајну траку заузимају возила која скрећу десно или иду право, док леву саобраћајну траку користе возила која иду право, скрећу лево или се окрећу назад (Слика 2.21).



Слика 2.21 Најчешћа намена трака у двотрачној кружној раскрсници (WSDT, 2016)

Са аспекта возача, кружне раскрснице у великој мери олакшавају организацију левих скретања која код класичних раскрсница представљају велики како функционални тако и безбедносни проблем. Код класичних раскрсница приликом левих скретања возачи морају да воде рачуна и о возилима која долазе из супротног смера као и о присуству пешака, а свака грешка возача може имати озбиљне последице. Код кружних раскрсница возачима су у великој мери олакшана лева скретања јер, након што уђу у кружну раскрсницу, не морају да воде рачуна о пропуштању возила из супротног смера, а било каква грешка може имати само лакше последице (Rodegerdts et al., 2010).

2.4.2.2. Пешаци и особе са инвалидитетом

Када је реч о пешацима, њихово кретање се организује искључиво изван обима саме кружне раскрснице. Потребно је у што већој мери дестимулисати пешаке да се крећу преко централног острва. Обавезна разделна острва код кружних раскрсница омогућавају пешацима да прелазе најпре један па други смер на прилазу раскрсници, што им свакако поједноставља прелазак улице. Пешачки прелаз се код кружних раскрсница изводе удаљени од линија заустављања за најмање дужину једног возила и то из три разлога:

- Тиме се скраћује сама дужина пешачког прелаза јер би уз саму раскрсницу пешачки прелаз био дужи;
- Одвајају се конфликти возило-пешак и возило-возило;
- Даје се већа могућност возилима да обрате пажњу на пешаке док чекају да возило испред њих уђе у кружни ток.

Ипак, [Campbell et al. \(2012\)](#) препоручују да удаљеност пешачког прелаза не би требало ни померати превише далеко од линије заустављања на уласку у кружни ток

саобраћаја с обзиром да су ближе кружном току брзине возила најниже и препоручују да се пешачки прелази поставе на удаљености до највише 20 m од линије заустављања.

У односу на класичне раскрснице са директним укрштањем токова регулисаним вертикалном саобраћајном сигнализацијом, кружне раскрснице су погодније и безбедније за пешаке, пре свега за прелаз преко пута са првенством пролаза. [Rodegerdts et al. \(2007\)](#) и [Hourdos et al. \(2012\)](#) су показали да пешаци на кружним раскрсницама имају веома кратка чекања да пређу улицу. Код кружних раскрсница пешаци прелазе коловоз из два дела, водећи рачуна о надолазећим возилима само из једног смера, што често није случај код класичних раскрсница регулисаних вертикалном сигнализацијом код којих нису изведена разделна острва. Приликом преласка улице у кружној раскрсници пешаци воде рачуна о возилима која су у самом кружном току, док код класичних раскрсница регулисаних вертикалном сигнализацијом морају водити рачуна и о возилима која наилазе право и о возилима која скрећу те им је потребно шире видно поље. Због смањених брзина кретања возила кроз кружну раскрсницу, саобраћајне незгоде са пешацима се ређе догађају него код класичних раскрсница са директним укрштањем токова, а када се догоде имају лакше последице ([Rodegerdts et al., 2010](#)).

Уколико се пореде са класичним раскрсницама са директним укрштањем токова регулисаним светлосном сигнализацијом, кружне раскрснице могу имати мање предности него у поређењу са онима регулисаним вертикалном сигнализацијом. Наиме, уколико правилно третирају пешаке, светлосни сигнали могу у великој мери унапредити њихову безбедност. Међутим, безбедносни проблем могу представљати лева и десна скретања дозвољена истовремено са зеленим светлосним сигналом за пешаке. У тим случајевима постоји опасност да возачи који скрећу, своју пажњу усмере на избегавање конфликта са возилима која се крећу право, а занемаре конфликте са пешацима. Проблем могу представљати и возила која пролазе на црвени светлосни сигнал, при чему могу настати саобраћајне незгоде са тешким последицама по пешаке ([Rodegerdts et al., 2010](#)).

Кружне раскрснице могу бити мање погодне у односу на класичне са аспекта пешака са одређеним врстама инвалидитета, пре свега слепих и слабовидих. Проблем слепим лицима може представљати проналажење пешачког прелаза с обзиром да је исти увек удаљен од спољног пречника кружне раскрснице па пешаци са оштећеним видом не могу логички пронаћи пешачки прелаз као код класичних раскрсница са директним укрштањем токова. Овај проблем се међутим може превазићи апликацијом материјала текстуре различите од тротоара којим би слепа и слабовида лица била вођена до пешачког прелаза. Проблем слепим и слабовидим пешацима код кружних раскрсница могу представљати и издигнута разделна острва, а овај се проблем решава упуштањем ивичњака у нивоу коловоза у делу пешачког прелаза.

Међутим, главни проблем слепим особама код кружних раскрсница приликом преласка улице најчешће представља звук возила у кружном току који се меша са звуком возила која излазе из кружне раскрснице тако да слепе особе често не могу да буду сигурне да ли се неко возило зауставило испред пешачког прелаза како би они прешли улицу. Проблем је посебно изражен код вишетрачних кружних раскрсница. У свету се раде различита истраживања или могућности за проналажење решења овог проблема пре свега у виду различитих аудио и вибро-акустичних сигнала којима би се слепе особе обавештавале када могу безбедно да пређу улицу (Rodegerdts et al., 2010 ; Apardian and Alam, 2015).

2.4.2.3. Бициклисти

Кружне раскрснице су погодне са аспекта бициклиста с обзиром да приближавају брзине кретања возила са брзинама кретања бицикала (просечне брзине кретања бицикала на путу се крећу између 19 и 32 km/h), што бициклистима у великој мери унапређује безбедност и употребљивост кружних раскрсница (Rodegerdts et al., 2010).

У суштини, у зависности од тога да ли у саобраћају учествују заједно са моторним саобраћајем или са пешацима, бициклисти перципирају кружне раскрснице на сличан начин као возачи односно пешаци.

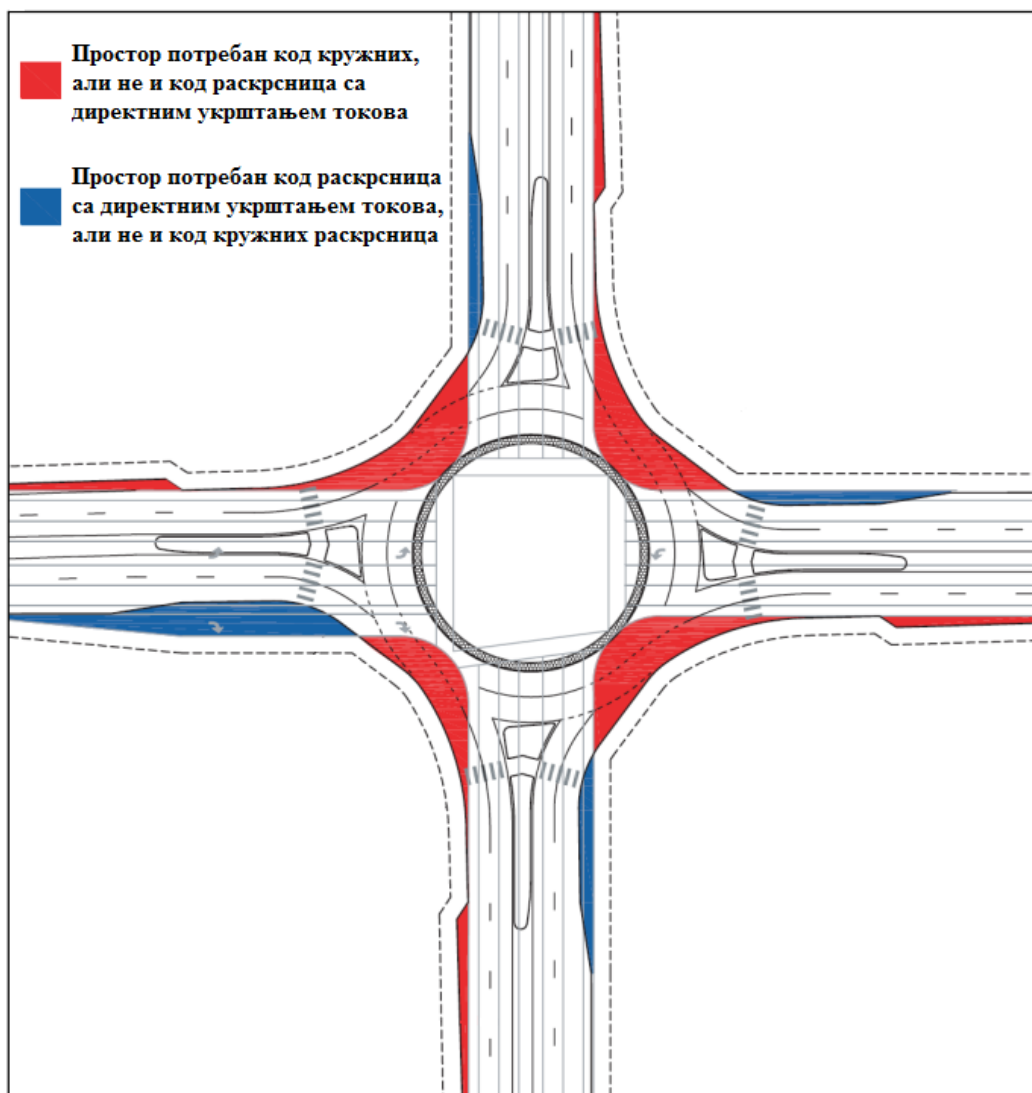
Када у саобраћају учествују заједно са моторним саобраћајем, бициклистима су повољније мини и једнотрачне кружне раскрснице из разлога што су им знатно безбедније и једноставније за кретање. У једнотрачним кружним раскрсницама бициклисти немају обавезу избора тј. мењања саобраћајних трака у зависности од правца кретања. Истраживање [Møller and Hels \(2008\)](#) је показало да је за безбедност бициклиста у кружној раскрсници јако битна једноставност и недвосмисленост правила кретања кроз кружну раскрсницу, коју управо пружају мање кружне раскрснице. Што је кружна раскрсница већа у погледу броја саобраћајних трака у самом кружном току, то је неповољнија за бицикliste. У пракси се показало да су са аспекта бициклиста погодне и двотрачне кружне раскрснице са две траке по смеру (на улазу и излазу) на главном правцу и са по једном траком по смеру на споредном правцу ([Rodegerdts et al., 2010](#)).

Безбедност бициклиста је такође условљена брзином моторног саобраћаја на уливу у кружну раскрсницу и у самом кружном току, па су тако истраживања [Turner et al. \(2006\)](#) и [Hels and Møller \(2007\)](#) показала да што је брзина моторног саобраћаја на уливу у кружну раскрсницу и у самом кружном току већа, то је и број незгода са бициклистима већи.

Када се крећу као пешаци, за бицикliste важе иста правила као и за пешаке. У пракси су се као најподесније решење за вођење бициклиста кроз кружну раскрсницу показале бицикlistичке стазе које не би биле вођене у нивоу са моторним саобраћајем јер би се тиме само повећали конфликти у самом кружном току, већ у нивоу са пешацима, са пожељним рампама за бицикliste на прелазима ([Rodegerdts et al., 2010](#)). То су потврдила и истраживања које су спровели [Brüde and Larsson \(1999\)](#), [Sakshaug et al. \(2010\)](#), [Daniels et al. \(2009, 2010\)](#) као и [Jensen \(2013\)](#).

2.5. ТРОШКОВИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

При сагледавању трошкова кружних раскрсница у односу на конвенционалне раскрснице са директним укрштањем токова треба обратити пажњу на све аспекте трошкова од њихове изградње до редовног одржавања.



Слика 2.22 Упоредни приказ просторних потреба код кружних и раскрсница са директним укрштањем токова (MDOT, 2011)

Пре свега треба упоредити просторни аспект тј. трошкове земљишта које раскрсница заузима. Због централног острва, кружне раскрснице заузимају више простора у самој раскрсници у односу на раскрснице са директним укрштањем токова. Међутим, разлике у заузетом простору на крају су мање када се у обзир узме простор потребан за додатне траке за скретања које постоје код раскрсница са директним укрштањем токова, а нису потребне код кружних раскрсница (Слика 2.22) (MDOT, 2011).

За разлику од трошкова земљишта који су код кружних раскрсница већи, операциони трошкови, као и трошкови одржавања су већи код раскрсница са директним укрштањем на којима се саобраћајем управља помоћу светлосних сигнала (семафора). Повећани трошкови одржавања и управљања семафорисаним раскрсницама проистичу из чињенице да светлосни сигнали троше електричну енергију, захтевају периодичне сервисе, замене сијалица, детектора, као и периодичне промене сигналног плана (MDOT, 2011). У поређењу са раскрсницама са директним укрштањем токова на којима је саобраћај регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, нема већих разлика у трошковима одржавања и управљања, осим што се код кружних раскрсница могу јавити и трошкови одржавања површине централног острва.

Када је реч о трошковима осветљења, кружне раскрснице користе више енергије за осветљење с обзиром на већу површину коју заузимају у односу на раскрснице са директним укрштањем токова (MDOT, 2011).

Иако директни трошкови кружних раскрсница (трошкови изградње, земљишта, енергије и сл.) могу бити већи у поређењу са раскрсницама са директним укрштањем токова, индиректни трошкови (саобраћајних незгода, загађења, саобраћајних загушења и сл.) могу бити значајно мањи. Када су у питању трошкови саобраћајних незгода, показало се да је број саобраћајних незгода на кружним раскрсницама значајно мањи у поређењу са раскрсницама са директним укрштањем токова, а пре свега незгода са настрадалим лицима (о чему ће детаљно бити речи у наредним

поглављима). Такође, због мањих брзина у кружним раскрсницама, и саме саобраћајне незгоде које се догоде имају лакше последице. Мањи број погинулих и повређених лица, као и мање штета на возилима, роби и опреми значајно смањују индиректне трошкове.

Када су у питању трошкови загађења и загушења, [Mandavilli et al. \(2003\)](#) су спровели истраживање у Канзасу (САД) на три локације где су раскрснице са директним укрштањем токова на којима је саобраћај био регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом конвертоване у кружне. Резултати до којих се истраживањем дошло указују најпре на статистички значајно смањење саобраћајних загушења, али и на значајно смањење емисија штетних гасова и честица у раскрсници. Тако се на пример показало да су емисије угљен монооксида смањене за 38% до 45%, емисије угљен диоксида су смањене за 55% до 61%, емисије азотових оксида су смањене за 44% до 51%, а партикуларних честица за 45%.

2.6. ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Већина аутора који су се бавили проучавањем кружних раскрсница сагласна је у чињеници да кружне раскрснице имају више и значајније предности него недостатке у поређењу са раскрсницама са директним укрштањем токова. Ипак, како би се стекла потпуна слика о кружним раскрсницама, потребно је са различитих аспеката сагледати све њихове предности, али и све недостатке.

На основу прегледа свих карактеристика кружних раскрсница са различитих аспеката могуће је направити преглед свих предности и недостатака које кружне раскрснице имају. [Rodegerdts et al. \(2010\)](#) и ЈП „Путеви Србије“ (2012) такође говоре о предностима и недостацима кружних раскрсница у односу на раскрснице са директним укрштањем токова, а сумарни преглед дат је у Табели 2.3.

Табела 2.3 Сумарни преглед предности и недостатака кружних раскрсница у односу на раскрснице са директним укрштањем токова

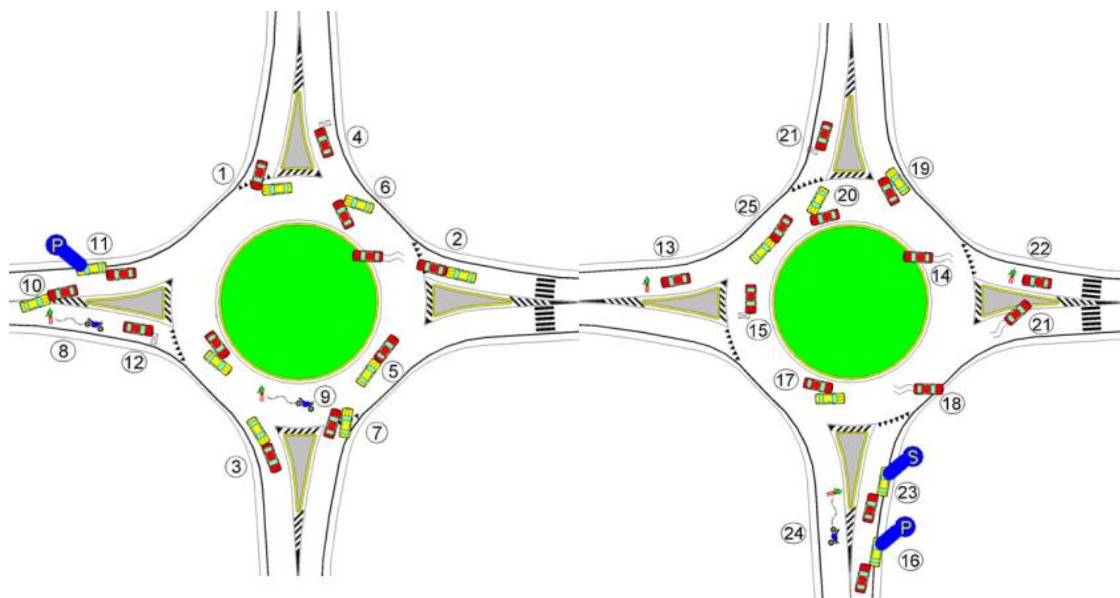
ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
БЕЗБЕДНОСТ САОБРАЋАЈА	
<ul style="list-style-type: none"> • Мањи број конфликтних тачака. • Смањење брзине кретања возила на прилазу кружној раскрсници и у самом кружном току. • Могућност коришћења као врста мере за умиривање саобраћаја. • Мањи број саобраћајних незгода и настрадалих лица, као и блаже последице саобраћајних незгода. 	<ul style="list-style-type: none"> • Већи број саобраћајних незгода у којима је учествовало једно возило (прелет преко централног острва, исклизнуће, удар у елемент саобраћајне инфраструктуре и сл.). • У односу на друге мере за умиривање саобраћаја, најскупља. • Уколико се на централном острву нађу дрвеће, чврсте скулптуре и сл. постоји опасност од удара возила и исте.
ОПЕРАЦИОНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ	
<ul style="list-style-type: none"> • Мање време чекања на укључивање у раскрсницу. • Добро решење за регулисање саобраћаја код вишекракних раскрсница. • Добро решење код укрштања саобраћајница са сличним обимом саобраћаја. 	<ul style="list-style-type: none"> • Већи број кружних раскрсница на делу саобраћајне мреже онемогућује линијску координацију рада семафора („зелени талас“). • Код раскрсница саобраћајница са значајнијом разликом у обиму саобраћаја могу успорити саобраћај на главном правцу . • Не може се на једноставан начин дати приоритет одређеним учесницима у саобраћају (шинска возила, возила ЈМПП и сл.).
ЖИВОТНА СРЕДИНА	
<ul style="list-style-type: none"> • Бука, загађење ваздуха и потрошња горива могу бити смањени. • Захтевају мање простора на прилазима раскрсници. • Амбијентално су лепше јер пружају могућност за уређење и оплемењивање централног и разделних острва. • Захтевају мању потрошњу електричне енергије у односу на семафорисане раскрснице. 	<ul style="list-style-type: none"> • Захтевају више простора у самој раскрсници (због централног острва).

РАЊИВИ УЧЕСНИЦИ У САОБРАЋАЈУ

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Обавезна разделна острва повећавају безбедност пешака с обзиром да при преласку улице, пешаци сада воде рачуна о надолазећем саобраћају само у једном смеру.• У зависности од обима саобраћаја бициклисти и мотоциклисти имају већи комфор и могућност „преговарања“ са осталим учесницима у саобраћају. | <ul style="list-style-type: none">• Пешачки прелази су удаљенији, а самим тим и мање погодни за пешаке, посебно за слепе и слабовиде који могу имати проблема да их пронађу.• Вођење бициклиста може бити проблем код вишетрачних кружних раскрсница. |
|---|--|

3. ЕЛЕМЕНТИ БЕЗБЕДНОСТИ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

О безбедности кружних раскрсница рађена су бројна истраживања у свету, пре свега у земљама у којима постоји дуга историја изградње нових кружних раскрсница и конверзије старих класичних раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице. [Montella \(2011\)](#) је испитивао безбедносне карактеристике кружних раскрсница тј. факторе који доприносе настанку саобраћајних незгода на кружним раскрсницама. Најпре је утврдио постојање 25 врста саобраћајних незгода које се могу догодити на кружној раскрсници које су приказане према учесталости догађања у Табели 3.1 и на Слици 3.1.



Слика 3.1 Врсте саобраћајних незгода на кружним раскрсницама ([Montella, 2011](#))

Табела 3.1 Врсте саобраћајних незгода на кружним раскрсницама ([Montella, 2011](#))

1	Бочни судар на уласку у раскрсницу
2	Судар при сустизању на уласку у раскрсницу
3	Судар при сустизању на изласку из раскрснице
4	Удар у препреку на коловозу на изласку из раскрснице

5	Судар при сустизању у кружном току
6	Бочни судар на изласку из раскрснице
7	Судар при промени трака на уласку у раскрсницу
8	Пад са возила (бицикл, мотоцикл) на уласку у раскрсницу
9	Пад са возила (бицикл, мотоцикл) у кружном току
10	Чеони судар возила на уласку и возила на изласку из раскрснице
11	Удар у паркирано возило на изласку из раскрснице
12	Удар у препреку на коловозу на уласку у раскрсницу
13	Обарање пешака на изласку из раскрснице
14	Прелетање преко централног острва
15	Удар у препреку на коловозу у кружном току
16	Удар у паркирано возило на уласку у раскрсницу
17	Судар при промени трака у кружном току
18	Слетање са коловоза у кружном току
19	Судар при промени трака на изласку из раскрснице
20	Бочни судар у кружном току
21	Слетање са коловоза на изласку из раскрснице
22	Обарање пешака на уласку у раскрсницу
23	Удар у заустављено возило на уласку у раскрсницу
24	Пад са возила (бицикл, мотоцикл) на изласку из раскрснице
25	Чеони судар возила у кружном току

На узорку од 274 саобраћајних незгода на кружним раскрсницама [Montella \(2011\)](#) је забележио само један фактор утицаја код 51 саобраћајне незгоде, док је код осталих 223 незгода забележено више фактора који су допринели настанку саобраћајних незгода. Истраживањем је утврђено да је у 60% саобраћајних незгода на кружним раскрсницама кључни фактор који је утицао на настанак тих незгода заправо нека од геометријских карактеристика која није била одговарајућа. Геометријски елементи који су били најчешћи фактори утицаја на настанак предметних саобраћајних незгода су: превелики радијус дефлексије, премали уливни угао, превелики изливни радијус и др.

Поред геометријских елемената, показало се да и други елементи попут неадекватног обележавања, лошег стања коловоза или саобраћајног окружења такође утичу на настанак саобраћајних незгода. Тако на пример код половине свих предметних саобраћајних незгода један од фактора утицаја био је и недостатак,

избледелост или неочљивост хоризонталне и/или вертикалне сигнализације у кружној раскрсници. У 37% незгода један од утицајних фактора био је лош коловоз (лоше пријањање, прекивеност блатом или песком и слично), док је у 10% незгода недовољна прегледност (која се пре свега односи на прегледност у левом квадранту кружне раскрснице) утицала на настанак саобраћајне незгоде.

С обзиром да различити елементи кружних раскрсница могу у великој мери утицати на безбедност саобраћаја, у наставку ће најзначајнији елементи бити посебно размотрени.

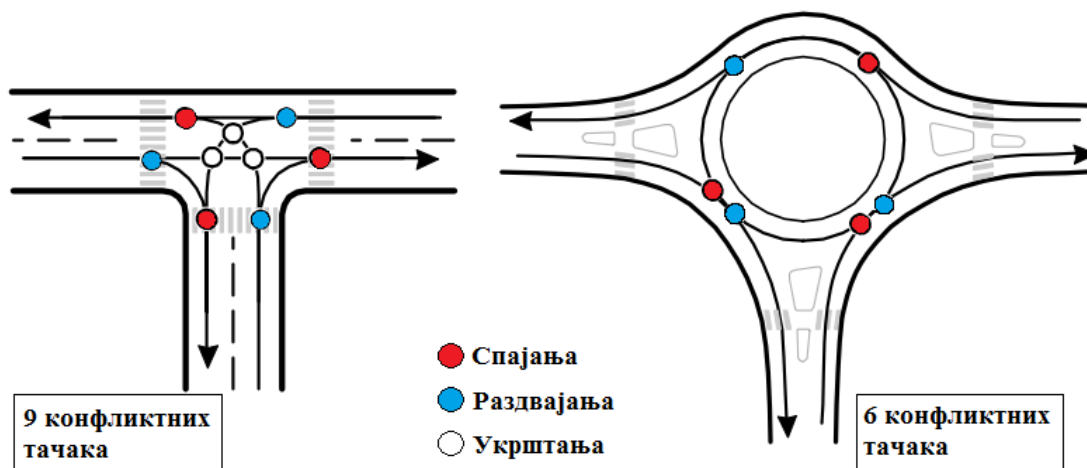
3.1. КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ

Конфликтне тачке су места на којима се трасе кретања два учесника у саобраћају укрштају, спајају или раздвајају. Иако [Simodynes et al. \(1998\)](#) нису успели да нађу једноставну директну везу између смањења броја конфликтних тачака и смањења броја саобраћајних незгода на некој локацији, постоји општи став да је број саобраћајних незгода на раскрсницама условљен бројем конфликтних тачака и обимом саобраћаја на конфликтним токовима ([Saccomanno et al., 2008](#) ; [Rodegerdts et al., 2010](#) ; [Šenk and Ambros, 2011](#)).

3.1.1. КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ НА ЈЕДНОТРАЧНИМ КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА

Када је реч о једнотрачним кружним раскрсницама, оне имају мањи број конфликтних тачака у поређењу са њима одговарајућим класичним раскрсницама да директним укрштањем токова. На Слици 3.2 дат је упоредни приказ конфликтних тачака на класичној једнотрачној трокракој „Т“ раскрсници и једнотрачној трокракој кружној раскрсници где се види редукација броја конфликтних тачака возило-возило са 9 на 6. Наравно, треба напоменути да се ове конфликтне тачке односе на

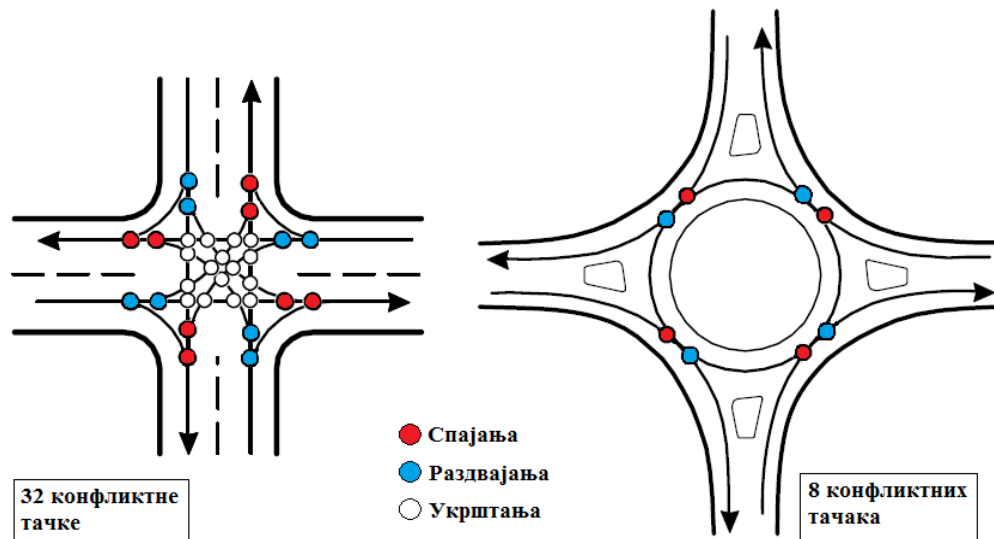
стандардне раскрснице у којима конфликтни токови нису раздвојени просторно (рестрикција одређених скретања) или временски (управљање помоћу светлосних сигнала) (Rodegerdts et al., 2010).



Слика 3.2 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на класичној једнотрачној трокракој „Т“ раскрсници и једнотрачној трокракој кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)

На Слици 3.3 дат је упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на класичној једнотрачној четворокракој раскрсници и једнотрачној четворокракој кружној раскрсници где се види редуција броја конфликтних тачака возило-возило са 32 на 8. Треба истаћи и чињеницу да конфликти могу настати било као последица легалних, било као последица нелегалних маневара.

На класичним раскрсницама са директним укрштањем токова различитим регулативно-режимским мерама број конфликтних тачака може бити смањен, али никако елиминисан, управо из разлога нелегалних маневара. Штавише, саобраћајне незгоде са најтежим последицама су најчешће изазване нелегалним маневрима (Rodegerdts et al., 2010). Кружне раскрснице, с друге стране, због својих физичких, геометријских карактеристика у потпуности елиминишу конфликтне тачке услед укрштања токова (Rodegerdts et al., 2010).

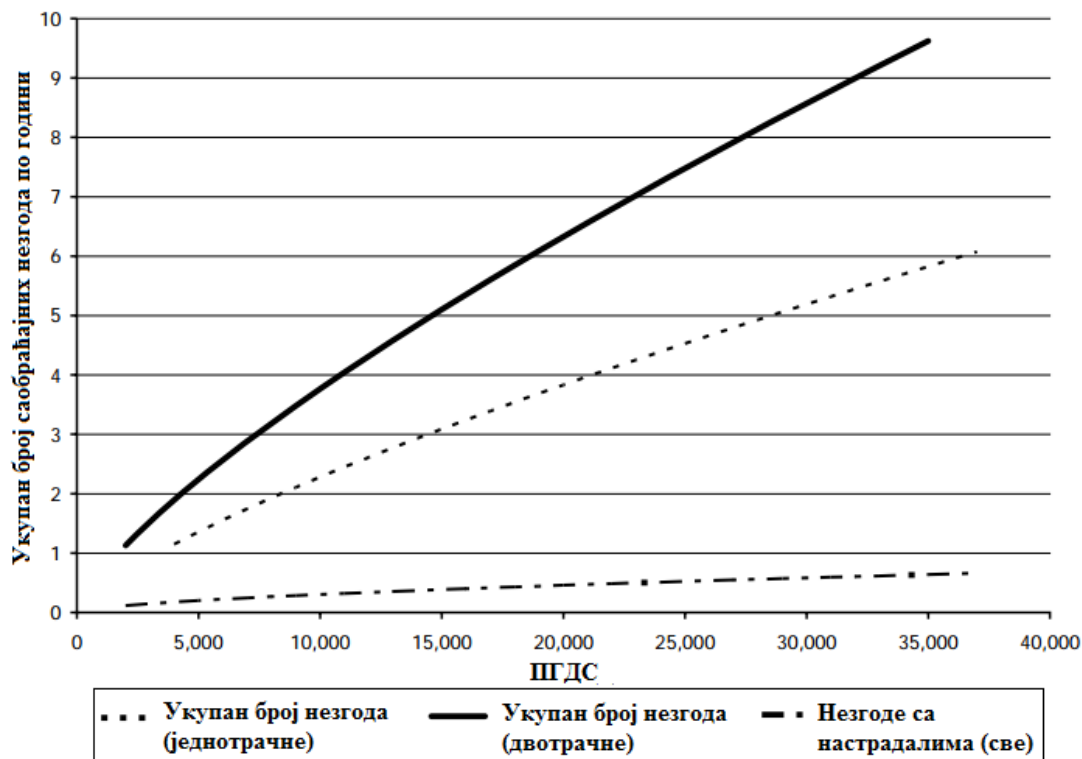


Слика 3.3 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на класичној једнотрачној четворокракој раскрсници и једнотрачној четворокракој кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)

3.1.2. КОНФЛИКТНЕ ТАЧКЕ НА ВИШЕТРАЧНИМ КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА

Код вишетрачних кружних раскрсница постоји велико смањење броја конфликтних тачака када се пореде са одговарајућим вишетрачним класичним раскрсницама са директним укрштањем токова. Ипак, услед већег броја саобраћајних трака на улазима, излазима и у самом кружном току, вишетрачне кружне раскрснице имају већи број конфликтних тачака у односу на једнотрачне кружне раскрснице. На Слици 3.4. приказан је дијаграм зависности броја саобраћајних незгода у кружним раскрсницама у односу на број саобраћајних трака и ПГДС, креиран на основу истраживања у САД. На овој слици се види да број саобраћајних незгода расте са повећањем броја саобраћајних трака у кружном току, као и са обимом саобраћаја на раскрсници. С друге стране, број саобраћајних незгода са настрадалим лицима у

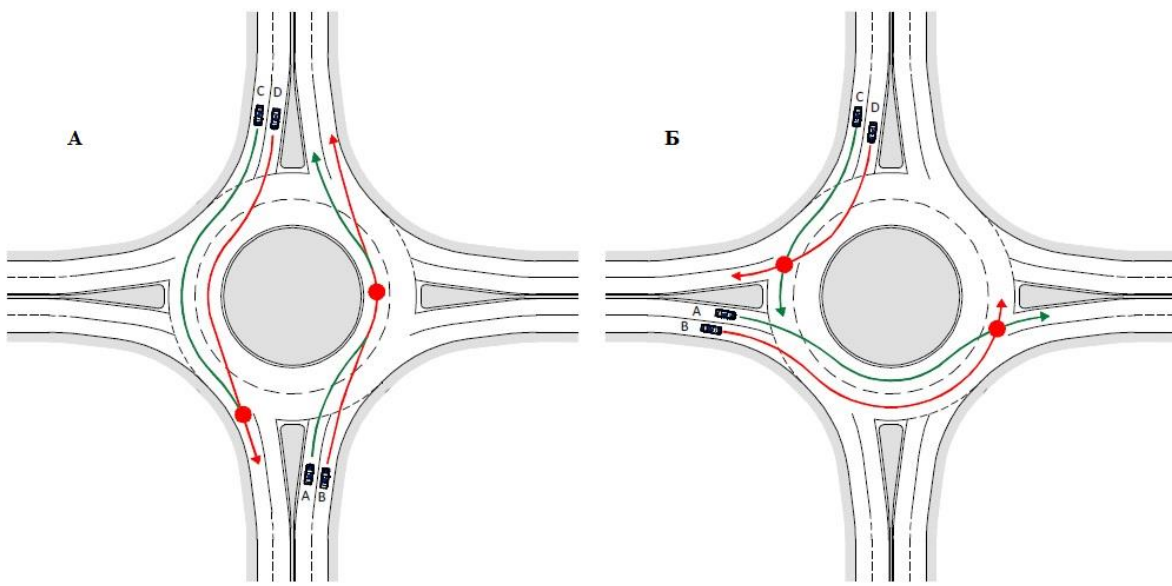
кружним раскрсницама је у великој мери нижи како за једнотрачне тако и за двотрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).



Слика 3.4 Зависност броја саобраћајних незгода у кружним раскрсницама у односу на број саобраћајних трака и ПГДС (Rodegerdts et al., 2010)

Када се упореде са једнотрачним кружним раскрсницама, код вишетрачних кружних раскрсница се јављају конфликти којих код једнотрачних нема и то:

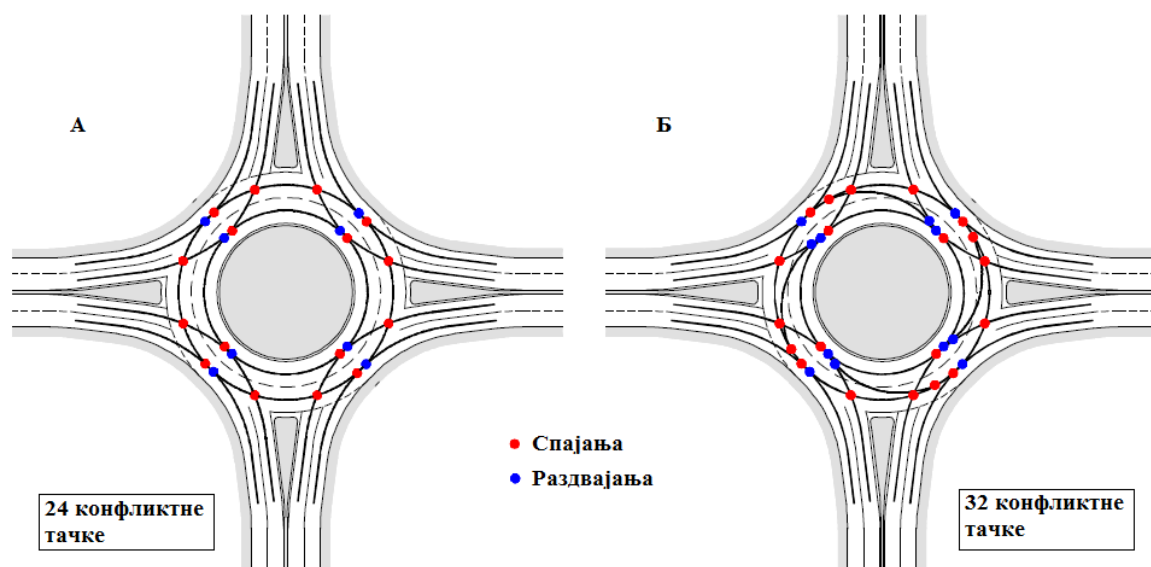
- конфликти приликом промене траке у самом кружном току (Слика 3.5 – А, где је приказано неправилно кретање возила „В“ и „D“ која не настављају кретање исправном саобраћајном траком);
- конфликти приликом уласка у кружни ток и изласка из њега у/из погрешне саобраћајне траке (Слика 3.5 – Б, где је приказано неправилно кретање возила „В“ и „D“ која користе погрешне саобраћајне траке).



Слика 3.5 Конфликти услед неправилног понашања возила „В“ и „Д“ (Bastos Silva et al., 2014a)

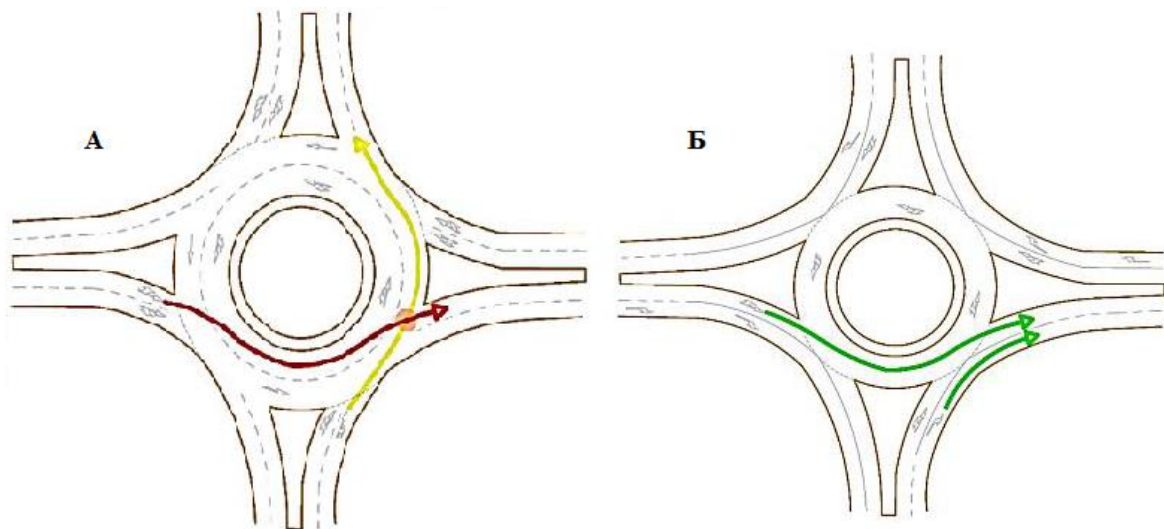
Опште правило кретања возила у двотрачним кружним раскрсницама (осим ако другачије није регулисано) је да десну саобраћајну траку заузимају возила која скрећу десно или иду право, док леву саобраћајну траку користе возила која иду право, скрећу лево или се окрећу назад. Поштујући ово правило број конфликтних тачака на двотрачној четворокракој кружној раскрсници је ограничен на 24. Међутим, услед различитих фактора возачи често не улазе у двотрачну кружну раскрсницу користећи одговарајућу саобраћајну траку. Bastos Silva et al. (2014a) су утврдили да у Португалу око 40% возача на прилазу кружној двотрачној раскрсници користи десну саобраћајну траку иако скрећу лево, а око 20% користи леву саобраћајну траку иако скрећу десно. У том случају број конфликтних тачака може порастати на 32 (Слика 3.6).

Поједине европске државе се труде да проблем повећаног броја конфликтних тачака на вишетрачним кружним раскрсницама реше тако што се труде да што више ограниче изградњу вишетрачних кружних раскрсница (Brilon, 2005).

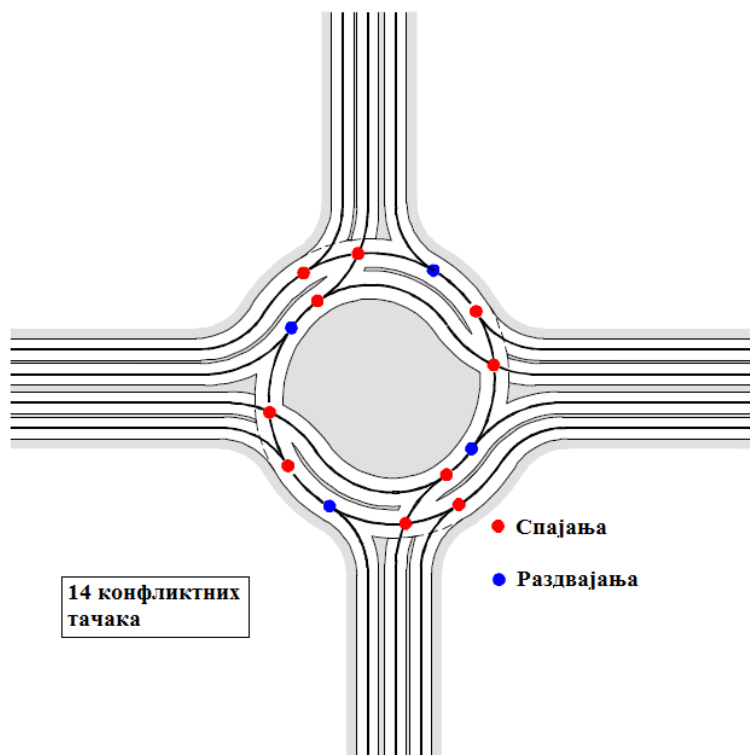


Слика 3.6 Упоредни приказ конфликтних тачака возило-возило на двотрачној кружној раскрсници: А – правилно понашање; Б – неправилно понашање (Bastos Silva et al., 2014a)

Ипак, како је немогуће увек применити једнотрачне кружне раскрснице због њихових ограничених капацитета, постоје различити предлози за смањење броја конфликтних тачака на вишетрачним кружним раскрсницама. Тако на пример, Чабаркапа и Вукановић (2015) предлажу модел контроле уласка у двотрачну кружну раскрсницу на свим прилазима тако што би десна саобраћајна трака била намењена само за скретање десно, а лева саобраћајна трака би била намењена за смерове право и лево. Њихов модел подразумева и увлачење разделних острва у кружни ток за ширину спољне траке (Слика 3.7). Применом овог модела елиминисао би се доминантни конфликт возила на излазу из двотрачне кружне раскрснице изазван пресецањем путање возила које излази из кружне раскрснице са путањом возила које циркулише након уласка у кружну раскрсницу. На овај начин број потенцијалних конфликтних тачака се смањује са 24 на 8 (4 раздвајања и 4 спајања), чиме се практично изједначаје са једнотрачном кружном раскрсницом.



Слика 3.7 Приказ модела за контролу уласка у двотрачну кружну раскрсницу: А – пре примене модела; Б – након примене модела (Чабаркапа и Вукановић, 2015)



Слика 3.8 Приказ конфликтних тачака на турбо кружној раскрсници (Bastos Silva et al., 2014a)

[Bastos Silva et al. \(2014a\)](#) препоручују примену турбо кружних раскрсница с обзиром да редукују број конфликтних тачака. На Слици 3.8 дат је приказ конфликтних тачака на двотрачној турбо кружној раскрсници, на којем се види број од укупно 14 конфликтних тачака. У односу на класичну двотрачну кружну раскрсницу (Слика 3.6 - А) код двотрачне турбо кружне раскрснице приметно је смањење броја конфликтних тачака за десет.

Иако предложени модели смањују број конфликтних тачака на вишетрачним кружним раскрсницама, треба истаћи и чињеницу да предложени модели имају и своје недостатке који се огледају пре свега у чињеници да се рестрикцијом одређених смерова смањује операбилност и капацитет кружних раскрсница, а код турбо кружних раскрсница постоји и проблем што у случају саобраћајних незгода настају озбиљније последице због већег уливног угла ([Bastos Silva et al., 2014a](#)).

3.2. ГЕОМЕТРИЈА КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

[Trueblood and Dale \(2003\)](#), [Montella \(2007\)](#) и [Arndt \(2008\)](#) истичу велики значај геометрије кружних раскрсница у унапређењу безбедности саобраћаја с обзиром да иста има главну улогу у смањењу брзина возила на прилазима кружној раскрсници и при кретању кроз исту. Различита истраживања су рађена у свету чији је предмет било како поједини геометријски елементи кружних раскрсница утичу на безбедност саобраћаја у кружним раскрсницама. У наставку ће бити приказана нека од њих.

3.2.1. ЦЕНТРАЛНО ОСТРВО

Велики број студија бавио се утицајем ширине централног острва на безбедност саобраћаја и уколико би се направио пресек резултата тих студија долази се до закључка да су најбезбедније кружне раскрснице са пречником централног острва

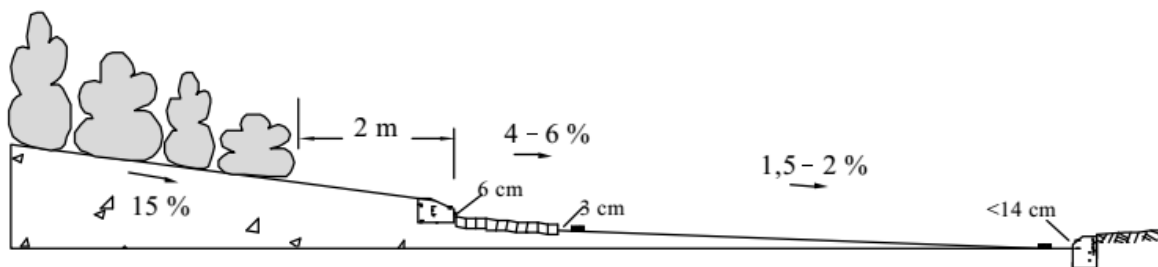
између 20 и 40 m (укључујући и прегазни део). До оваквих резултата су дошли [Brüde and Larsson \(2000\)](#), затим [Jørgensen and Jørgensen \(2002\)](#) који су утврдили да кружне раскрснице са оваквим пречником централног острва имају најмању фреквенцију саобраћајних незгода у руралним подручјима, као и [Jensen \(2013\)](#) који је показао да конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице даје најбоље ефекте у погледу безбедности саобраћаја и у руралним и у урбаним подручјима када је пречник централног острва између 20 и 40 m.

Када је реч о висини централног острва и њеном утицају на безбедност саобраћаја у кружној раскрсници, [Maycock and Hall \(1984\)](#) нису нашли никакву везу између броја саобраћајних незгода и прегледности преко централног острва. Међутим, [Schurr and Sanchez \(2007\)](#) су показали да дрвеће на централном острву утиче на смањење брзина возила на прилазима једнотрачној кружној раскрсници, али не утиче на брзину у самом кружном току. [Daniels et al. \(2011\)](#) су забележили мањи број саобраћајних незгода на кружним раскрсницама са висином централног острва преко 0,5 m у односу на оне нижим централним острвом.

Опсежно истраживање извршио је [Jensen \(2014\)](#) на узорку од 265 раскрсница које су из класичних раскрсница са директним укрштањем токова конвертоване у једнотрачне кружне раскрснице, где је посматрао две групе раскрсница – са висином централног острва до 2 m и преко 2 m. Показало се да је већи проценат смањења броја саобраћајних незгода у односу на период пре конверзије забележен на кружним раскрсницама са висином централног острва од 2 и више метара (48%) него на кружним раскрсницама са висином централног острва мањом од 2 m (25%).

У извештају [SETRA \(2002\)](#) се наводи да објекти и вегетација на централном острву могу да побољшају видљивост и перцепцију кружних раскрсница код возача, а самим тим и унапреде безбедност саобраћаја, али да се морају испоштовати одређена правила. Пре свега, никакви објекти не би требало да се налазе на централном острву на удаљености мањој од 2 m од ивице коловоза (или прегазног

дела уколико постоји). Нагиб косина централног острва не би требало да буде већи од 15% (Слика 3.9).



Слика 3.9 Попречни пресек кружне раскрснице (SETRA, 2002)

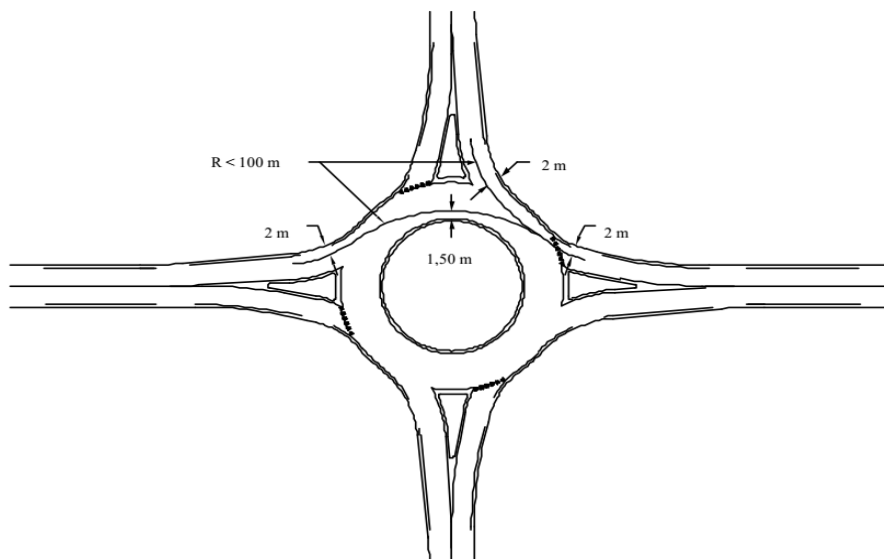
У руралним подручјима на централном острву кружне раскрснице не би требало садити дрвеће, постављати масивне скулптуре нити било шта што би могло да у потпуности заустави возило које је изгубило контролу (ово не искључује засаде цвећа, ниског растиња, скулптура направљених од лаких материјала и слично).

3.2.2. ДЕФЛЕКСИЈА

Дефлексија линије кретања возила кроз кружну раскрсницу (која се пре свега односи на трајекторију између два наспрамна крака) представља један од главних фактора који одређује ниво безбедности саобраћаја у кружној раскрсници (SETRA, 2002 ; Spacek, 2004). Дефлексија се пре свега дефинише као радијус лука који пролази на удаљености од 1,5 m од ивице централног острва и удаљености од 2 m од ивица улива и излива (Слика 3.10). У суштини, дефлексија представља најкраћи пут између два наспрамна крака кружне раскрснице. Радијус овог лука би требало бити мањи од 100 m, а препорука је да се, где год је то примењиво, користе радијуси од 30 m (Montella et al., 2012).

Дефлексија се на одређен начин може представити и тзв. девијационим углом (ω) који представља угао који заклапају тангенте средишњице кружног коловоза при

уласку и при изласку из два наспрамна крака кружне раскрснице (Слика 3.11). Швајцарски и италијански стандарди препоручују да девијациони углови код кружних раскрсница буду обавезно већи од 45 степени (Montella et al., 2012).



Слика 3.10 Дефлексија линије кретања возила кроз кружну раскрсницу (SETRA, 2002)

Ambros et al. (2016) су утврдили да дефлексија директно утиче на број саобраћајних незгода, па су у складу са тим и развили модел за предвиђање броја саобраћајних незгода у кружним раскрсницама (Формула 3.1).

$$N_{inj} = 0,001 \cdot I^{0,639} \cdot \exp(0,402 \cdot W_{apron}) \cdot \exp(-0,031 \cdot \omega) \quad (\text{Формула 3.1})$$

где је:

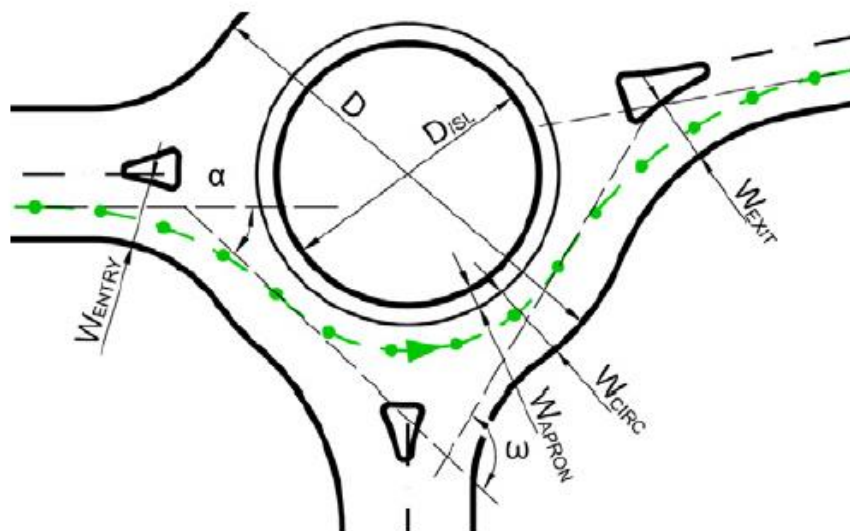
N_{inj} – број саобраћајних незгода са настрадалим лицима у току једне године;

I – просечан годишњи дневни саобраћај (ПГДС);

W_{apron} – ширина прегазног дела централног острва (у метрима);

ω – девијациони угао (у степенима).

Из Формуле 3.1 се може закључити да број саобраћајних незгода у кружној раскрсници расте са порастом обима саобраћаја на раскрсници, али и са већим прегазним делом централног острва, а опада са растом девијационог угла.



Слика 3.11 Девијациони угао ω (Ambros et al., 2016)

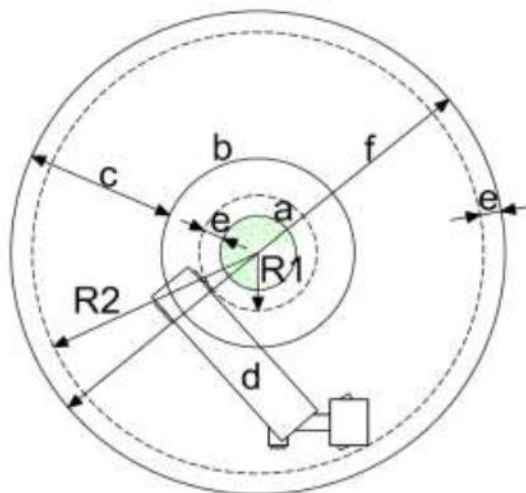


Слика 3.12 Двотрачна кружна раскрсница са недовољном дефлексијом (Ritchie and Lenters, 2005)

Суштина дефлексије је да се возилима онемогући праволинијско кретање кроз кружну раскрсницу јер исто доводи до неуступања права првенства као и до кретања возила већим брзинама, што узрокује повећани број саобраћајних незгода (Spacek, 2004 ; Montella et al., 2012). Одговарајућа дефлексија је посебно важна код вишетрачних кружних раскрсница како би се омогућила тзв. природна путања возила и спречило преплитање паралелних токова (Ritchie and Lenters, 2005). На Слици 3.12 дат је пример двотрачне раскрснице са недовољном дефлексијом.

3.2.3. СПОЉНИ ПРЕЧНИК И КРУЖНИ КОЛОВОЗ

Спољни пречник и ширина кружног коловоза су у међусобној вези и директно зависе од локације кружне раскрснице. У урбаним подручјима, кружна раскрсница има, пре свега, задатак да умирује саобраћај уз задовољавајући проток, док је на ванградским путевима њен главни задатак обезбеђивање протока уз задовољавајући ниво безбедности учесника у саобраћају (ЈП „Путеви Србије“, 2012).



Слика 3.13 Одређивање елемената кружне раскрснице према меродавном возилу (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

Општа је препорука да ширина кружног коловоза треба бити константна (без сужавања и ширења између два прилаза), као и да буде најмање једнака највећој ширини улива, а највише за 20% већа од највеће ширине улива у раскрсницу (SETRA, 2002 ; Rodegerdts et al, 2010 ; Montella et al., 2012). Величине спољног пречника, ширине кружног коловоза, па самим тим и централног острва се пројектују према меродавном возилу, и у складу са тим се морају испоштовати одређени односи ових елемената и њихове минималне вредности (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

На Слици 3.13 приказани су елементи обликовања кружне раскрснице према величини меродавног возила, где је:

- a – ширина централног острва;
- b – ширина централног острва са прегазним делом;
- c – ширина кружног коловоза;
- d – дужина меродавног возила;
- e – заштитно растојање унутар којег не сме бити физичких препрека;
- f – спољни пречник кружне раскрснице.

Табела 3.2 Елементи кружне раскрснице за меродавно возило тегљач са полуприколицом (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

Пречник централног острва [m]	Минимални спољни пречник кружне раскрснице [m]
6	28,8
8	29,8
10	30,8
12	32,0
14	33,2
16	34,6
18	36,0

У зависности од меродавног возила, утврђују се и елементи кружне раскрснице који су потребни како би био омогућен безбедан пролаз ових возила кроз раскрсницу. Тако су на пример у Табели 3.2 приказани минимални спољни пречници кружне раскрснице сходно ширини централног острва када је меродавно возило тегљач са полуприколицом.

Код једнотрачних кружних раскрсница, ширина кружног коловоза би требало да буде између 4,8 m и 7 m (Montella et al., 2012), а SETRA (2002) препоручује коришћење ширине од најмање 6 m. Ипак, приликом пројектовања кружне раскрснице би требало посебно водити рачуна да се не изабере преширок коловоз како возачи не би стекли утисак да се у самом кружном току могу кретати два возила паралелно.

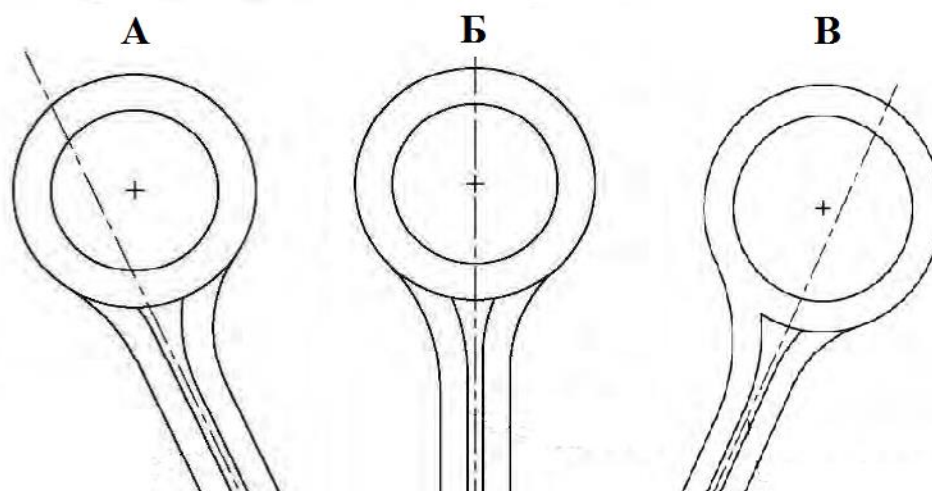
Код вишетрачних кружних раскрсница, јако је битно да ширина кружног коловоза буде безбедна за пролаз меродавног возила, јер у супротном постоји велика опасност од повећаног броја саобраћајних незгода са дужим, пре свега теретним возилима (Kennedy, 2005 ; Kennedy 2007 ; Waddel et al., 2009). Поред димензија меродавног возила, код вишетрачних кружних раскрсница, ширина кружног коловоза зависи и од броја саобраћајних трака. Ширина једне саобраћајне траке кружног коловоза вишетрачне кружне раскрснице се најчешће креће од 3,5 m до 4,9 m (Montella et al., 2012).

У сваком случају, при пројектовању ширине кружног коловоза, потребно је водити рачуна и о томе да се не изабере превелика ширина. Spahn and Bäumler (2007) су показали да ширине кружног коловоза код једнотрачних кружних раскрсница до 8 m пружају већу безбедност него ширине преко 8 m, а до сличних резултата су дошли и Jørgensen and Jørgensen (1994). Резултати истраживања Harper and Dunn (2005) показују да што је већа ширина кружног коловоза то је већи и број саобраћајних незгода на кружној раскрсници. Попречни нагиб кружног коловоза не би требало бити већи од 2%, мада су у случају потребе дозвољене вредности и до 4% (Larimer, 2013).

Посебну пажњу при пројектовању геометријских елемената кружне раскрснице треба посветити несметаном проласку габаритнијих возила кроз кружну раскрсницу (Godavarthy et al., 2016 ; Pecchini et al., 2017). У зависности од меродавног возила одређује се и потреба за прегазним делом централног острва, као и његова ширина. Главни циљ пројектовања прегазног дела централног острва јесте омогућавање скретања габаритнијих возила као и одржавање трајекторије ових и свих возила која би својим точковима на задњој осовини могла да оштете ивичњаке централног острва (Gingrich and Waddell, 2008). Попречни нагиб прегазног дела централног острва би требало да буде између 4% и 6%, а препорука је да у односу на кружни коловоз буде издигнут до 3cm (SETRA, 2002 ; Godavarthy and Russell, 2015).

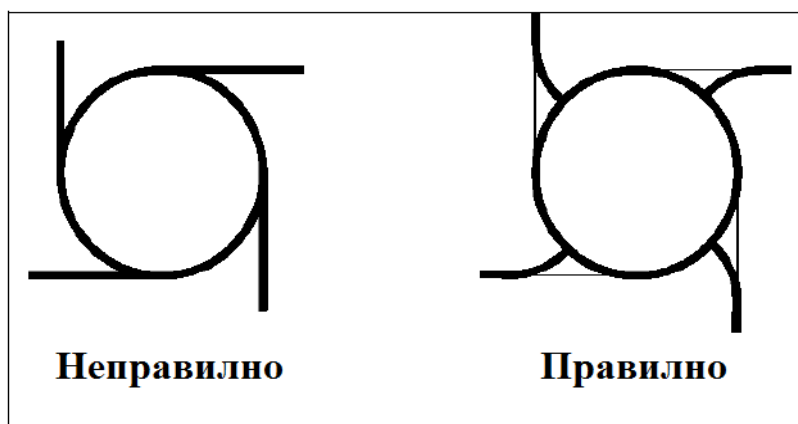
3.2.4. ПРИЛАЗИ КРУЖНОЈ РАСКРСНИЦИ

Поред дефлексије, кључни геометријски фактор који утиче на безбедност једне кружне раскрснице јесу прилази раскрсници тј. избор пројектних елемената и елемената обликовања прилаза (Omazić et al., 2010 ; Rodegerdts et al, 2010).



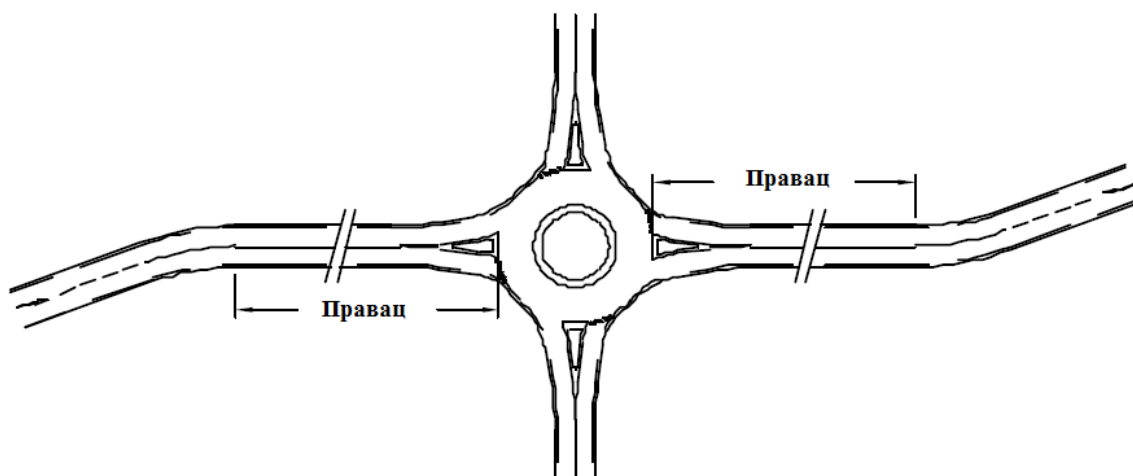
Слика 3.14 Типови положаја оса прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)

На Слици 3.14 приказани су типови положаја оса прилаза при увођењу у кружну раскрсницу. Са аспекта безбедности саобраћаја, најбоља опција је опција Б тј. прилаз чија оса симетрије пролази кроз средиште централног острва. На овај начин се може обезбедити дефлексија која ће обезбедити константно мање брзине и на улазу и на излазу из кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010 ; Figueroa, 2012). Уколико се раскрсница са директним укрштањем токова конвертује у кружну, а просторна ограничења не дозвољавају пресецање оса симетрије свих прилаза са средиштем централног острва, увек треба централно острво позиционирати тако да његово средиште буде на оси прилаза на главном правцу, па тек онда водити рачуна о споредном правцу (SETRA, 2002). Благо померање улево (Слика 3.14 - А) је прихватљиво, с обзиром да има предности у виду лакшег проласка дугих возила кроз раскрснице са мањим спољним пречником, али са аспекта безбедности је мање пожељно с обзиром да повећава изливни радијус, а самим тим дозвољава веће брзине на излазу из раскрснице (Omazić et al., 2010 ; Rodegerdts et al., 2010). Опцију померања осе прилаза кружној раскрсници у десно (Слика 3.14 - В) би требало максимално избегавати, посебно код раскрсница са мањим спољним пречником, јер се на овај начин дефлексија значајно смањује и таквим случајевима се може омогућити и тангенцијално кретање возила кроз раскрсницу што онда онемогућује контролу брзина у кружним раскрсницама, што је свакако њихова основна безбедносна карактеристика (Rodegerdts et al., 2010).



Слика 3.15 Увођење кракова у кружну раскрсницу (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

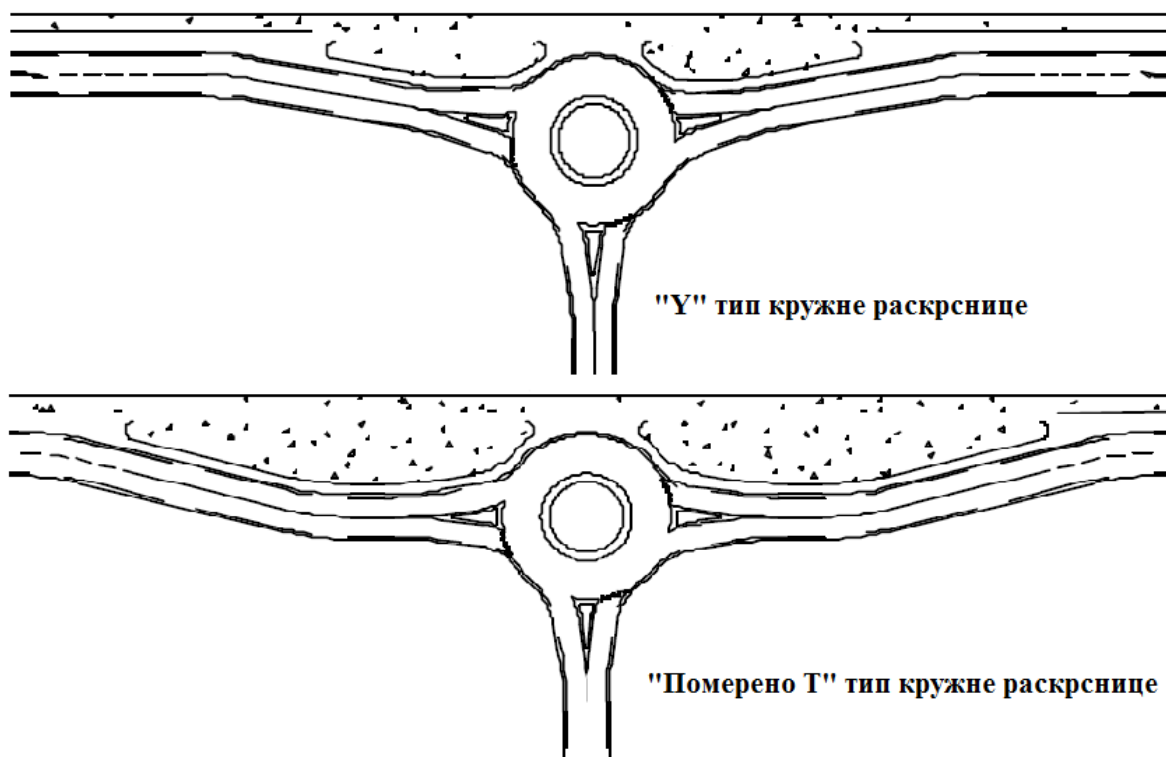
Увођење кракова у кружну раскрсницу би требало да буде што управније (Слика 3.15). Тангенцијално увођење уливне траке у кружну раскрсницу може проузроковати неразумевање правила да возила у кружном току имају предност у односу на возила на улазу, велике брзине возила при уласку у раскрсницу, као и непрегледност приликом укључивања возила у раскрсницу. Тангенцијално вођење излива из кружне раскрснице захтева велико окретање волана и проузрокује велику покривену површину (ЈП „Путеви Србије“, 2012).



Слика 3.16 Исправљање кракова на прилазима кружној раскрсници (SETRA, 2002)

Приликом изградње нове кружне раскрснице, са исправљањем кракова (Слика 3.16) би требало отпочети на око 250 m испред раскрснице (350 m код прилаза са две саобраћајне траке по смеру). У случају конверзије раскрснице са директним укрштањем токова у кружну раскрсницу ове раздаљине би се могле смањити на 150 m (250 m код прилаза са две саобраћајне траке по смеру) (SETRA, 2002).

Код трокраких „Т“ раскрсница, уколико не постоји могућност позиционирања централног острва тако да се испоштују претходно наведене препоруке, у циљу постизања оптималног решења раскрсница би требало бити трансформисана у „У“ тип раскрснице или „померено Т“ тип раскрснице, на начин који је приказан на Слици 3.17 (SETRA, 2002).



Слика 3.17 „Y“ и „Померено Т“ типови трокраких кружних раскрсница (SETRA, 2002)

3.2.5. ЕЛЕМЕНТИ УЛИВА И ИЗЛИВА

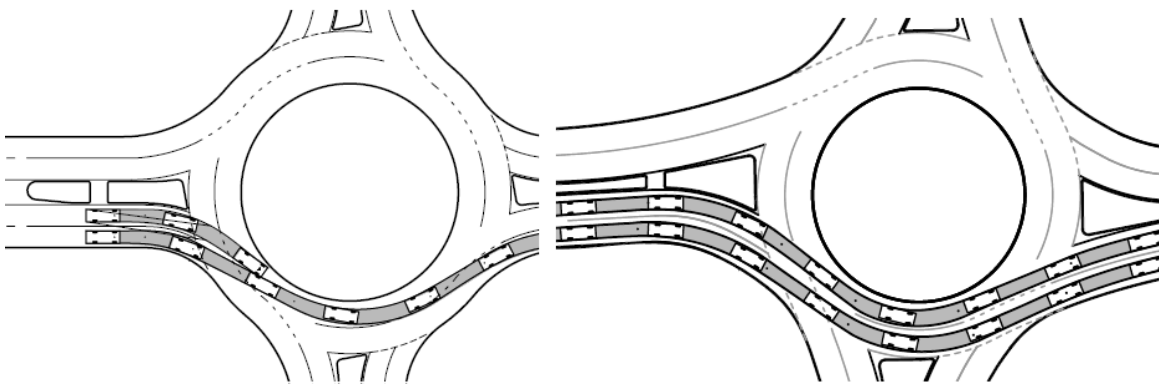
Како би се постигла одговарајућа дефлексија, и онемогућио улазак и излазак возила у/из раскрснице великим брзинама, од велике је важности и правилан избор параметара попут ширине улива, уливног и изливног радијуса и њихово међусобно усклађивање (Tracz and Chodur, 2009).

Када је реч о ширини улива, улив је по правилу увек шири од прилазне саобраћајне траке. Избор ширине улива зависи од усклађености са осталим геометријским елементима, али су најпримењиваније ширине (Rodegerdts et al., 2010 ; Montella et al., 2012):

- за једнотрачне кружне раскрснице – од 4 m до 5,5 m
- за двотрачне кружне раскрснице – од 7,3 m до 9,1 m
- за тротрачне кружне раскрснице – од 11 m до 13,7 m

[Aagaard \(1995\)](#) је показао да код урбаних једнотрачних кружних раскрсница број саобраћајних незгода расте са порастом ширине улива, те је потребно водити рачуна и да се не изабере превелика ширина улива.

При избору уливног радијуса код кружних раскрсница треба водити рачуна да се не изабере превелики радијус јер се на тај начин омогућује возилима улазак у раскрсницу већим брзинама, али и да се не изабере премали радијус јер то може довести до повећаног броја саобраћајних незгода са једним возилом ([Rodegerdts et al., 2010](#) ; [Montella et al., 2012](#)). Код једнотрачних градских кружних раскрсница најчешће употребљавани уливни радијуси су у распону од 15 до 30 m ([Rodegerdts et al., 2010](#)).



Слика 3.18 Утицај уливног радијуса на природну путању возила ([Rodegerdts et al., 2010](#))

Величина уливног радијуса код једнотрачних кружних раскрсница такође зависи и од меродавног возила тј. омогућавања меродавном типу возила да безбедно прође кроз раскрсницу. Код вишетрачних кружних раскрсница уливни радијуси

готово увек прелазе 20 m (Rodegerdts et al., 2010). Међутим, за разлику од једнотрачних, код вишетрачних кружних раскрсница се поред контроле брзина мора водити и рачуна да се премалим радијусом не поремети тзв. природна путања возила јер у том случају може доћи до судара возила приликом укрштања њихових путања (Слика 3.18 - лево).

Како не би дошло до проблема поремећаја природне путање возила стандарди из више земаља препоручују да се на уливу најпре употреби иницијални мањи радијус (20-35 m) на удаљености од минимум 6 m од ивице кружног коловоза, а затим већи радијус (преко 45 m). На овај начин се може обезбедити правилно коришћење саобраћајних трака у кружној раскрсници (Montella et al., 2012).

Приликом пројектовања геометријских елемената на уливу, требало би водити рачуна и о уливном углу, који практично представља конфликтни угао уливног саобраћаја и саобраћаја који је већ у кружном току. Премали уливни угао смањује прегледност возачима на уливу и захтева од њих да окрећу главу преко рамена како би сагледали надолazeћи саобраћај са леве стране. Превелики уливни угао, с друге стране, може проузроковати превелику дефлексију, која доводи до наглих кочења и изазивања саобраћајних незгода при сустизању возила (Montella et al., 2012). Типични уливни углови који се употребљавају су између 20° и 40°, али поједини стандарди дозвољавају и веће уливне углове (Rodegerdts et al., 2010 ; Montella et al., 2012).

Изливни елементи су, као и већина других геометријских елемената кружних раскрсница, условљени меродавним возилом, окружењем раскрснице (урбана /рурална средина), токовима пешака и просторним могућностима.

Када је реч о ширини излива, за њен избор важе иста правила као и за ширину улива с тим што се овде мора поклонити мало већа пажња за излажење у сусрет захтевима меродавног возила. Најчешће употребљаване ширине излива су од 4 m до

7,5 m за једнотрачне кружне раскрснице, односно од 7 m до 11 m за двотрачне кружне раскрснице (Montella et al., 2012).

Изливни радијус по правилу треба да буде већи од уливног радијуса како се не би стварала загушења на излазу из раскрснице и како би се изашло у сусрет захтевима за безбедан и природни излаз меродавног возила. Ово је посебно важно код вишетрачних кружних раскрсница јер у случају да је изливни радијус премали возила из унутрашње траке могу прелазити у неку траку ближу спољној ивици кружног коловоза како би што комфорније напустила раскрсницу, при чему настају конфликти са возилима у паралелним саобраћајним тракама. Међутим и приликом избора изливног радијуса треба обратити пажњу да радијус не буде ни превелики јер то онда може довести до већих брзина возила на излазу из раскрснице и саобраћајних незгода са пешацима. Генерално, не препоручује се употреба изливних радијуса мањих од 15 m, а најупотребљаванији изливни радијуси се крећу у распону од 30 m до 60 m (Rodegerdts et al., 2010).

3.3. ОБЕЛЕЖАВАЊЕ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

Обележавање кружних раскрсница може имати утицај на безбедност саобраћаја, а најбољи пример за то је обележавање намене трака код вишетрачних кружних раскрсница чиме се утиче на смањење броја конфликата у кружној раскрсници. У различитим регионима постоје мање разлике у начину обележавања кружних раскрсница, а постоје и разлике у дизајну саобраћајних знакова. У наставку ће бити описано обележавање кружних раскрсница у Републици Србији сходно свим важећим прописима који дефинишу ову област.

3.3.1. ВЕРТИКАЛНА САОБРАЋАЈНА СИГНАЛИЗАЦИЈА

О томе колико добро обележена кружна раскрсница повећава безбедност саобраћаја говоре резултати истраживања Jensen (2014). На примеру 102 раскрснице

у урбаном и 121 у руралном подручју које су конвертоване у кружне (Табела 3.3) показало се да је на кружним раскрсницама са већим бројем саобраћајних знакова по прилазу забележен мањи број саобраћајних незгода, а смањење броја саобраћајних незгода је посебно значајно код кружних раскрсница у руралним подручјима.

Поред тога, смањење броја саобраћајних незгода забележено је и код раскрсница код којих су саобраћајни знакови постављени на већој удаљености од линије заустављања, чиме је практично раскрсница најављена раније. И у овом случају, смањење броја саобраћајних незгода је посебно значајно код кружних раскрсница у руралним подручјима.

Табела 3.3 Утицај броја саобраћајних знакова и њихове удаљености од линије заустављања на безбедност саобраћаја у кружним раскрсницама (Jensen, 2014)

Подручје	Мера	Број знакова / удаљеност	Број раскрсница	Број СН пре конверзије	Очекивани број СН	Број СН после конверзије	Ефекат	Статистички значајно
Урбано	Број саобраћајних знакова по прилазу	0	14	36	22	38	+70 %	Да
		0.25-0.75	28	109	67	73	+10 %	Не
		1	35	173	107	99	-7 %	Не
		1.25-2	23	159	101	62	-39 %	Да
		2.25-7	2	6	3	0	-100 %	Не
	Удаљеност од линије заустављања до најдаљег саобраћајног знака	0 m	14	36	22	38	+70 %	Да
		10-50 m	27	96	59	75	+26 %	Не
		51-100 m	28	123	72	63	-13 %	Не
		101-150 m	21	153	104	78	-25 %	Да
		151-200 m	7	27	17	8	-52 %	Не
		201-250 m	5	48	26	10	-61 %	Да
	Рурално	Број саобраћајних знакова по прилазу	0.25-0.75	6	23	10	8	-24 %
1			24	161	103	56	-45 %	Да
1.25-2			72	521	324	171	-47 %	Да
2.25-7			19	153	88	38	-57 %	Да
Удаљеност од линије заустављања до најдаљег саобраћајног знака		10-50 m	1	2	1	0	-100 %	Не
		51-100 m	6	23	13	10	-22 %	Не
		101-150 m	17	96	60	23	-62 %	Да
		151-200 m	34	267	169	94	-44 %	Да
		201-250 m	49	377	238	128	-46 %	Да
		251-340 m	14	93	44	18	-59 %	Да

Свака кружна раскрсница у начелу би требало бити опремљена следећим саобраћајним знаковима (ЈП „Путеви Србије“, 2012 ; Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014) (Слика 3.19) :



Слика 3.19 Саобраћајни знакови за обележавање кружне раскрснице (Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014)

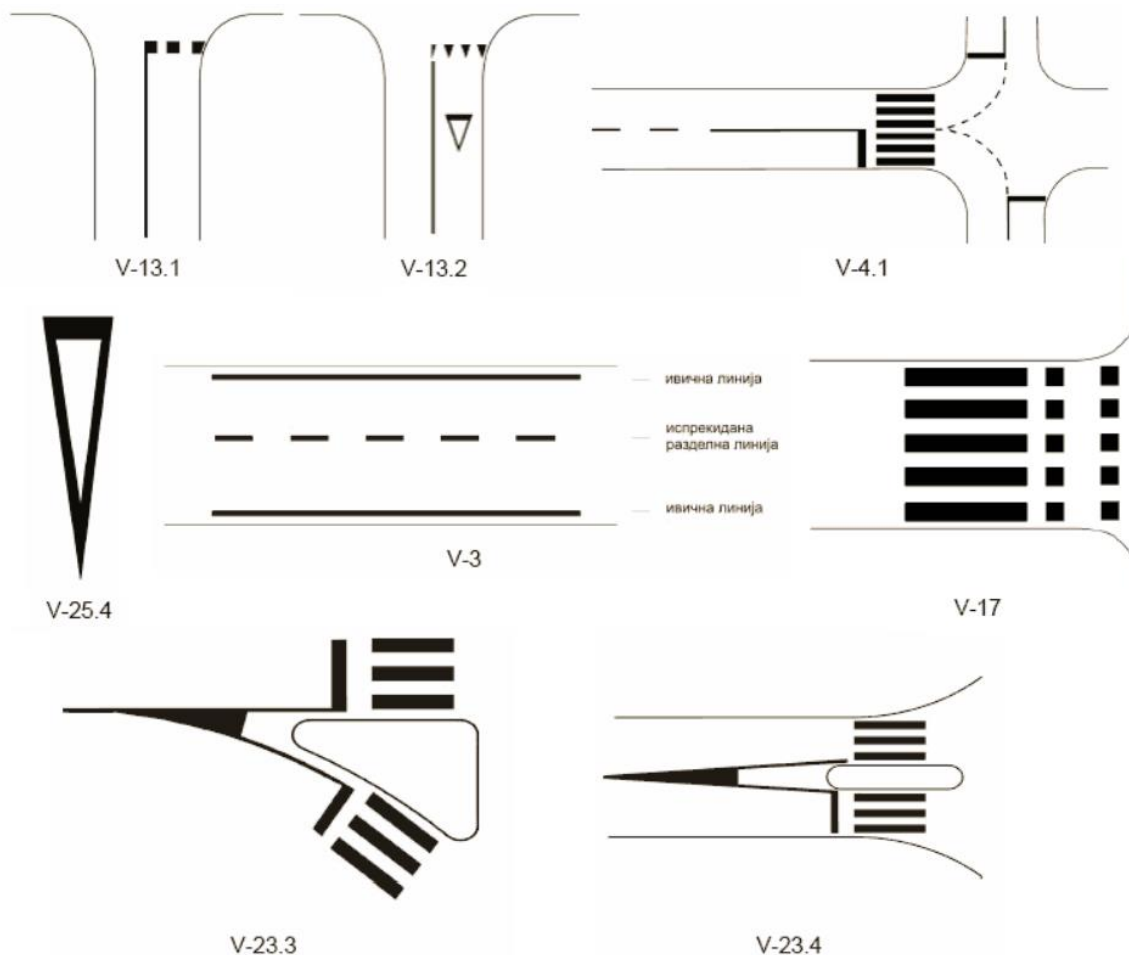
- „обавезан смер десно“ (II-43.1), на непрегазном делу централног острва, у продужетку средишње линије коловоза на уливу;

- „укрштање са путем са првенством пролаза“ (II-1) и „кружни ток саобраћаја“ (II-45.2) на заједничком стубу на ушћу улива у кружну раскрсницу непосредно испред непрекидане линије заустављања. Код улива са више трака знакови се постављају и на разделном острву паралелно са првим;
- „обавезно обилажење с десне стране“ (II-45) на спољашњем делу разделног острва (на врху острва у смеру вожње);
- „обележени пешачки прелаз“ (III-6) непосредно испред пешачког прелаза на уливу и на изливу. Код улива/излива са више трака знак се поставља и на разделном острву паралелно са првим;
- „табла за означавање назива улица“ (III-6) или „стреласта путокоаз“ (III-12) на разделном острву. Опционо, најчешће се примењује код већих кружних раскрсница;
- „ограничење брзине“ (II-30) на одговарајућој удаљености од кружне раскрснице на којој је потребно обезбедити смањење брзине;
- „кружна раскрсница“ (III-8.1) најчешће на ванградским кружним раскрсницама, на одговарајућој удаљености од кружне раскрснице;
- „раскрсница са кружним током саобраћаја“ (I-30) на одговарајућој удаљености испред кружне раскрснице.

3.3.2. ХОРИЗОНТАЛНА САОБРАЋАЈНА СИГНАЛИЗАЦИЈА

Добро изведена хоризонтална саобраћајна сигнализација, уз наравно правилну геометрију раскрснице, може у великој мери да спречи погрешне маневре на уливу у раскрсницу, приликом кретања кроз исту и приликом излива ([Hanscom, 2010](#)). Када је у питању хоризонтална саобраћајна сигнализација, свака кружна раскрсница у начелу

би требало бити обележена следећим саобраћајним ознакама на коловозу (ЈП „Путеви Србије“, 2012 ; Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014) (Слика 3.20):



Слика 3.20 Елементи хоризонталне саобраћајне сигнализације за обележавање кружне раскрснице (Правилник о саобраћајној сигнализацији, 2014)

- испрекидана (широка) линија заустављања (V-13.1) или (V-13.2) на уливу;
- саобраћајни знак „укрштање са путем са првенством пролаза“ (V-25.4) исцртан на коловозу на средини сваке саобраћајне траке испред линије заустављања;

- кратка испрекидана линија (V-4.1) за обележавање спољне ивице кружног коловоза;
- разделна испрекидана линија (V-3) за разграничавање саобраћајних трака у кружном коловозу;
- поље испред острва за раздвајање саобраћајних токова (V-23.3) или (V-23.4);
- пешачки прелаз (V-16) или пешачки прелаз са прелазом за бициклисте (V-17) на прилазима;
- разделна линија (V-1) пре разделног острва на прилазу раскрсници

3.4. РАЗДЕЛНА ОСТРВА

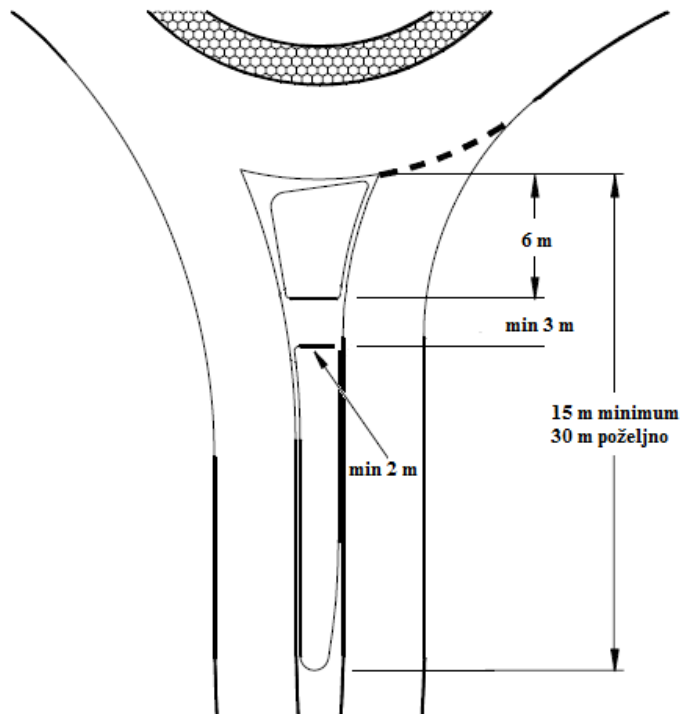
Иако можда на први поглед не изгледа тако, разделна острва су један од веома битних безбедносних елемената кружне раскрснице. Њихова функција је вишеструка (SETRA, 2002):

- пружају перцепцију о наиласку на кружну раскрсницу возачима на прилазу;
- пружају заштиту рањивим учесницима у саобраћају, омогућавајући им да пређу улицу из два дела;
- раздвајају уливни и изливни саобраћај, чиме спречавају чеоне сударе, нарочито код кружних раскрсница са мањим изливним радијусима;
- омогућавају простор за постављање саобраћајних знакова;
- спречавају погрешна лева скретања у кружној раскрсници.

Код мини кружних раскрсница дозвољена је примена бојених или апликативних разделних острва, док је код једнотрачних и вишетрачних кружних

раскрсница неопходна примена издигнутих разделних острва. Приликом израде пројекта кружне раскрснице, код пројектовања уличних и изливних елемената, обавезно треба посебну пажњу посветити и пројектовању одговарајућих разделних острва. Како би обезбедила адекватну заштиту пешака и бициклиста, минимална ширина разделних острва у делу пешачког прелаза би морала бити 2 m што представља процењену ширину потребну да безбедно стане бициклиста са бициклом или особа која гура дечија колица (SETRA, 2002 ; ЈП „Путеви Србије“, 2012). Дужина разделних острва би минимално требало да износи 15 m, а пожељна је дужина од 30 m (Слика 3.21), а дужина ширег дела разделног острва ближег кружном коловозу би требало да износи око 6 m тј. да буде нешто више од дужине једног путничког возила (Rodegerdts et al., 2010).

Препорука је да код мањих кружних раскрсница разделна острва буду изведена у облику сузе док код већих кружних раскрсница разделна острва треба изводити у облику троугла (ЈП „Путеви Србије“, 2012).



Слика 3.21 Минималне величине разделног острва (Rodegerdts et al., 2010)

Студија Секретаријата за путеве Квинсленда, Аустралија, показала је везу између ширине разделних острва и броја саобраћајних незгода на уливу у кружну раскрсницу тј. да повећање ширине разделних острва доводи до смањења броја саобраћајних незгода на уливу у кружну раскрсницу (QDMR, 1998). Међутим, повећање ширине разделног острва на уливу нужно доводи до повећања спољног пречника кружне раскрснице, што повећава површину земљишта потребног за изградњу, као и саме трошкове изградње кружне раскрснице па због просторних или финансијских ограничења није увек могуће (Rodegerdts et al., 2010).

С обзиром да се разделна острва делом налазе у троуглу прегледности на улазу у кружну раскрсницу, на њима се не смеју налазити никакви објекти који могу смањити прегледност возилима која улазе у кружну раскрсницу. Тако се на пример не препоручује садња дрвећа, ниског или високог растиња, постављања скулптура и слично на разделним острвима (Rodegerdts et al., 2010). На Слици 3.22 дат је пример кружне раскрснице на којој ниско растиње на разделном острву омета прегледност.



Слика 3.22 Пример кружне раскрснице у Сан Дијегу на којој ниско растиње на разделном острву омета прегледност (Rodegerdts et al., 2010)

3.5. УЗДУЖНИ НАГИБ

На безбедност саобраћаја у кружној раскрсници може утицати и уздужни нагиб пута или улице на којој се раскрсница налази. [SETRA \(2002\)](#) истиче да генерално код раскрсница које су изграђене на нагибима до 3% нема безбедносних проблема. На нагибима између 3% и 6% може доћи до безбедносних проблема, пре свега у виду стабилности теретних возила. На нагибима преко 6% јављају се озбиљнији безбедносни проблеми (нпр. повећане брзине уласка у раскрсницу возила која се крећу низ нагиб и сл.).

Треба назначити да на нагибима од 6% и више, приликом пројектовања пута, не треба одмах искључити кружну раскрсницу као опцију, већ уколико остали критеријуми за избор кружне раскрснице указују на то да је иста погодна за изградњу на тој локацији, решење се може потражити и у мањим модификацијама терена ([SETRA, 2002](#)).

3.6. ПРЕГЛЕДНОСТ

Када је реч о прегледности у контексту кружних раскрсница потребно је посебно дефинисати и размотрити различите врсте прегледности. Пре свега треба размотрити прегледност преко централног острва. У Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији ([ЈП „Путеви Србије“, 2012](#)) дефинисана су два основна правила када је реч о прегледности преко централног острва:

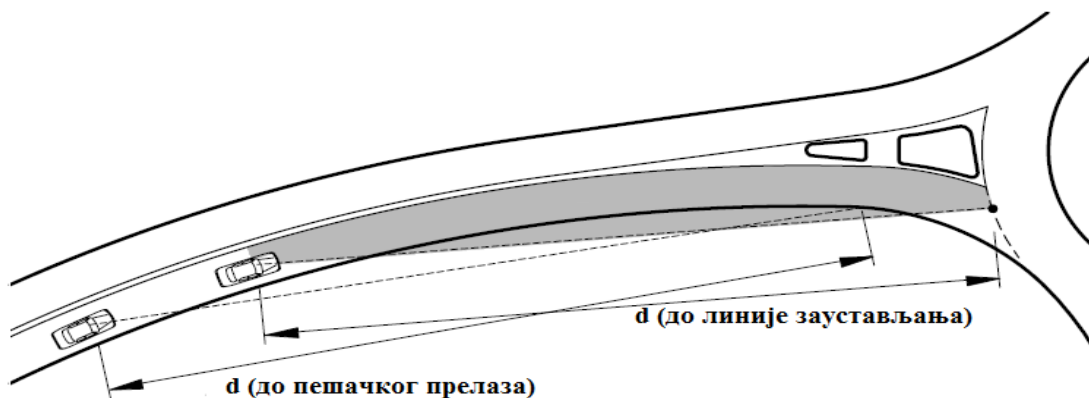
- У градским кружним раскрсницама возачима може бити омогућена прегледност на супротни излаз из кружне раскрснице, али није неопходно;
- У ванградским кружним раскрсницама возачима не треба бити дозвољена прегледност на супротни излаз из кружне раскрснице.

Онемогућавање прегледности на супротни излаз из кружне раскрснице се најчешће постиже денивелацијом централног острва као и засадима ниског растиња и слично. Ова правила имају смисла с обзиром да уколико возачи на прилазу кружној раскрсници виде да испред њих нема надолазећег саобраћаја којем треба уступити првенство пролаза неће смањити брзину кретања у мери у којој би смањили исту да нису имали прегледност преко централног острва (Rodegerdts et al., 2010). С обзиром да су у градским условима брзине кретања смањене што због општих брзинских ограничења, што због услова саобраћаја, у урбаним срединама ово правило није обавезујуће. Наведена правила се примењују на свакој кружној раскрсници без обзира на број кракова или број саобраћајних трака у кружном току (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

Други аспект прегледности код кружних раскрсница, поред прегледности преко централног острва, јесте чеона прегледност на прилазу кружној раскрсници. Чеона прегледност на прилазу кружној раскрсници представља дужину потребну да возач уочи одређени објект на путу и реагује кочењем како би могао да се заустави испред објекта, а у конкретном случају мери се до линије заустављања на уливу односно до пешачког прелаза испред улива (Слика 3.23). С обзиром да се у Републици Србији кружне раскрснице пројектују за рачунске брзине од 40 km/h и ређе за 50 km/h (на ванградским путевима) у Табели 3.4 приказане су минималне односно препоручене чеоне дужине прегледности на прилазу кружној раскрсници за наведене рачунске брзине. Ако услов минималне дужине прегледности није могуће задовољити, потребно је предузети различите регулаторно-режимске мере како би се осигурала довољна безбедност на уливу у кружну раскрсницу (ЈП „Путеви Србије“, 2012).

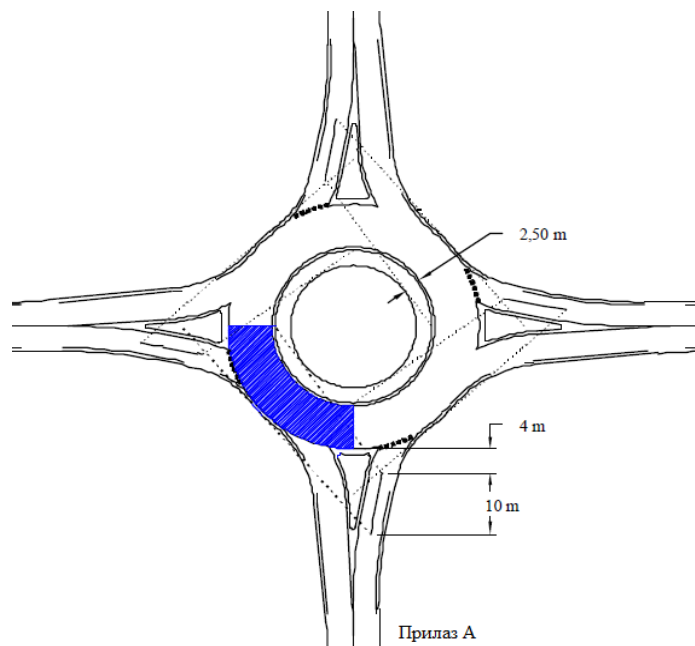
Табела 3.4 Вредности чеоних прегледности на прилазу кружној раскрсници за различите рачунске брзине (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

Рачунска брзина	40 km/h	50 km/h
Препоручена прегледност	50 m	70 m
Минимална прегледност	40 m	50 m



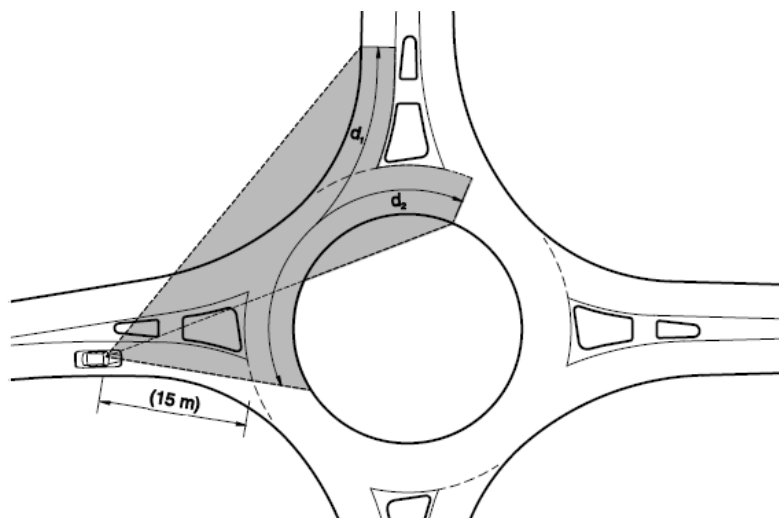
Слика 3.23 Чеона прегледност на прилазу кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2010)

Трећи аспект прегледности код кружних раскрсница, представља прегледност на уливу у раскрсницу, која се по правилу мери на удаљености од 15 m од линије заустављања. SETRA (2002) истиче да је на уливу у кружну раскрсницу довољна прегледност на леви квадрант кружне раскрснице (Слика 3.24).



Слика 3.24 Прегледност на први квадрант кружне раскрснице са њеног улива (SETRA, 2002)

С друге стране [Rodegerdts et al. \(2010\)](#) истиче да је неопходно прегледност на уливу у кружну раскрсницу посматрати кроз тзв. троугао прегледности који образују дужине прегледног пута на левој страни ка оба прилаза из којих долазе конфликтни токови и линија која их спаја (Слика 3.25).



Слика 3.25 Троугао прегледности на уливу у кружну раскрсницу ([Rodegerdts et al., 2010](#))

Дужине прегледности се мере користећи претпостављену висину возачевог ока од 1,08 m ([AASHTO, 2004](#) ; [Rodegerdts et al., 2010](#)). [Rodegerdts et al. \(2010\)](#) закључује да дужине прегледног пута d_1 и d_2 не треба мерити као праве линије већ као криве које прате закривљеност путање возила, и препоручује Формулу 3.2 за њихово рачунање. У Табели 3.5 дат је преглед израчунатих дужина прегледности на уливу у кружну раскрсницу за најкарактеристичније рачунске брзине.

$$d_{1,2} = 0,278 \cdot V_{major} \cdot t_c \quad (\text{Формула 3.2})$$

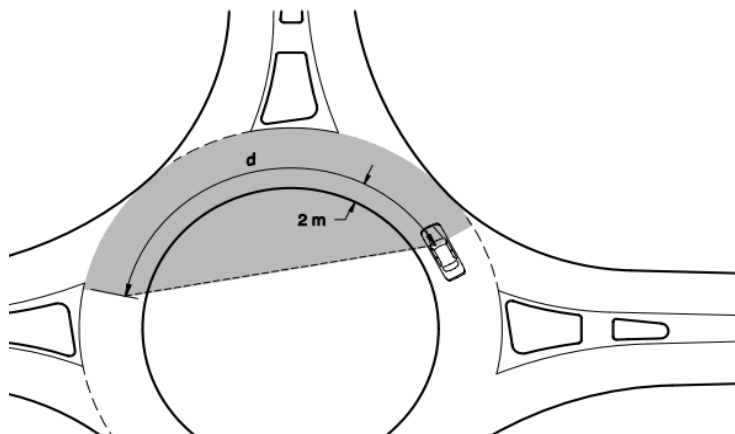
где је: d_1 – дужина прегледности ка прилазу са леве стране (у m); d_2 – дужина прегледности ка саобраћају у кружном току (у m); V_{major} – рачунска брзина на главном правцу (у km/h); t_c – критично чекање за улазак у кружну раскрсницу (у s) (усваја се вредност од 5 s).

Табела 3.5 Вредности израчунатих прегледности на уливу у кружну раскрсницу за различите рачунске брзине (ЈП „Путеви Србије“, 2012)

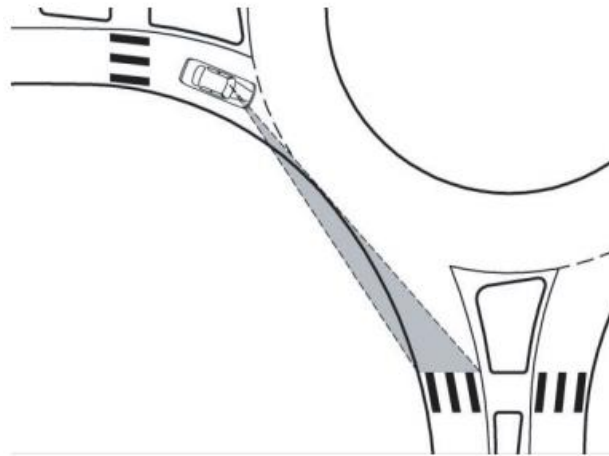
Брзина на уливу [km/h]	Израчуната дужина прегледности [m]
20	27,8
25	34,8
30	41,7
35	48,7
40	55,6

Четврти аспект прегледности код кружних раскрсница јесте прегледност на кружном коловозу. Возачима у кружном току мора бити омогућена довољна прегледност сразмерна величини кружне раскрснице. Ова прегледност се мери 2 m од ивице централног острва ка споља, као што је приказано на Слици 3.26 (Rodegerdts et al., 2010 ; ЈП „Путеви Србије“, 2012).

И последњи, пети аспект прегледности код кружних раскрсница јесте прегледност до пешачких прелаза на изливу из кружне раскрснице. Наиме, код кружних раскрсница где год је то могуће, треба обезбедити возачима на уливу прегледност на целу ширину пешачког прелаза на наредном изливу (ако је пешачки прелаз од раскрснице удаљен до 50 m) – Слика 3.27 .



Слика 3.26 Прегледности на кружном коловозу (Rodegerdts et al., 2010)

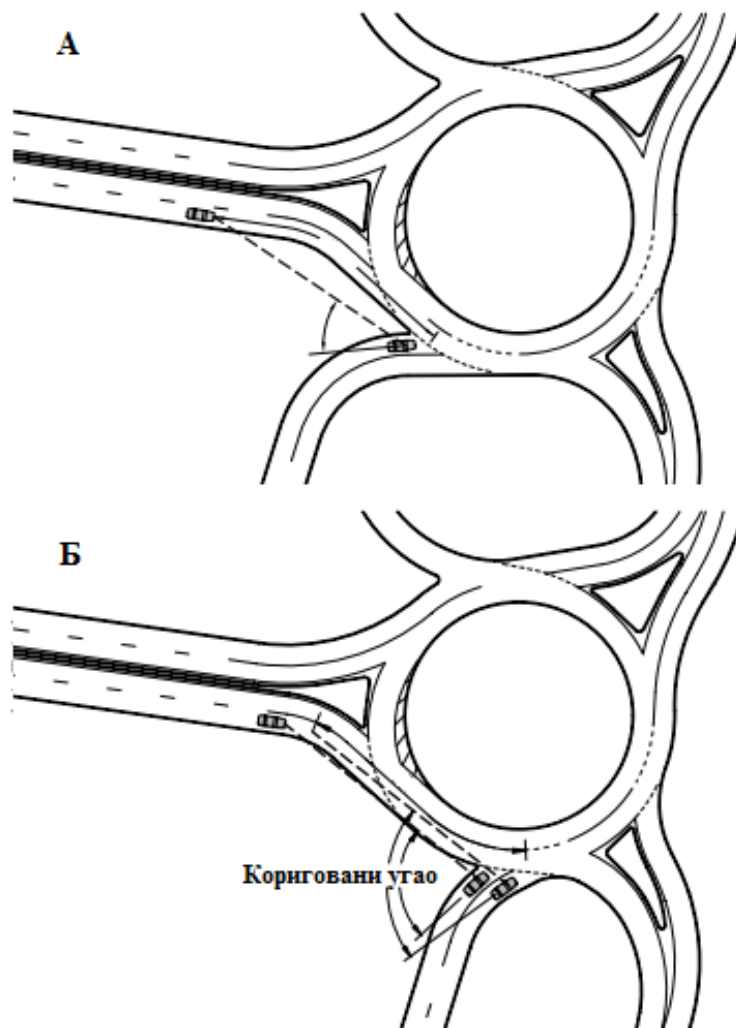


Слика 3.27 Прегледности са улива до пешачког прелаза на наредном изливу
(Rodegerdts et al., 2010)

Када је реч о прегледности, неопходно је напоменути да се морају испоштовати сва правила о постављању објеката и садњи зеленила на централном острву и посебно на разделним острвима како прегледност не би била ометана, о чему је више било речи у одељцима везаним за централно острво и разделна острва.

Посебна пажња при пројектовању нових кружних или инспекцији постојећих раскрсница треба бити посвећена и углу прегледности на уливу тј. углу између два суседна прилаза (Mussone, 2013). Овај угао не сме бити премали како би се возачима на уливу пружио одговарајућа прегледност без превеликог окретања главе на леву страну. Препорука је да овај угао не буде мањи од 75° (Rodegerdts et al., 2010). На Слици 3.28 приказан је пример кружне раскрснице са малим углом прегледности на уливу и раскрснице са коригованим углом.

При пројектовању и извођењу кружних раскрсница неопходно је обезбедити довољну, али не и прекомерну прегледност, с обзиром да су бројне студије показале да превелика прегледност доводи до већих брзина кретања возила на прилазу кружној раскрсници, али и у самом кружном току, што нужно доводи до повећаног броја саобраћајних незгода (Kennedy et al., 1998 ; Giæver, 2000 ; Campbell et al., 2012 ; Zirkel et al., 2013).



Слика 3.28 Пример кружне раскрснице са мали углом прегледности на уливу – А и раскрснице са коригованим углом – Б (Rodegerdts et al., 2010)

3.7. БРЗИНЕ

Главна безбедносна карактеристика сваке кружне раскрснице би требало да буде смањење брзина возила која кроз њу пролазе. Достижање одговарајуће безбедне брзине возила на улазу у кружну раскрсницу и при проласку кроз њу је главни циљ изградње сваке кружне раскрснице, поред низа других предности које оне имају

(Rodegerdts et al., 2010 ; Bassani and Sacchi, 2011). Уколико је добро испројектована и изведена, кружна раскрсница смањује брзине возила на уласку, као у самом кружном току омогућавајући возачима договор у конфликтним тачкама (Rodegerdts et al., 2010). Antov et al. (2009) су у истраживању дошли до резултата који показују да су брзине у кружним раскрсницама са одговарајућом геометријом брзине у раскрсници једнаке половини брзина којима се возила крећу на саобраћајници пре кружне раскрснице.

Пројектна брзина сваке кружне раскрснице је веома важна са аспекта безбедности саобраћаја с обзиром да битно утиче на величину последица саобраћајних незгода, али и на фреквенцију истих (заједно са ПГДС-ом) (Tian et al., 2007). Arndt (1998) је показао да број саобраћајних незгода у кружним раскрсницама расте са порастом брзина на уливу и у кружном току. Највеће пројектне брзине за улаз у кружну раскрсницу би требало да се крећу у домену 32-40 km/h за једнотрачне кружне раскрснице, односно 40-48 km/h за вишетрачне кружне раскрснице (Rodegerdts et al., 2010).

Општеприхваћен став је да саобраћајна брзина кружне раскрснице одговара 85. перцентилу брзина кретања возила кроз раскрсницу и да би ова брзина требало бити што приближнија пројектној брзини (Bassani and Sacchi, 2012).

3.7.1. МОДЕЛИ ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ БРЗИНА НА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА

Бројне студије показале су везу између појединих геометријских елемената кружних раскрсница (пре свега у руралним подручјима) и саобраћајне брзине возила на улазу у кружну раскрсницу и у самом кружном току (Grant and Nicholson, 2003 ; Arndt and Troutbeck, 2005 ; Bassani and Sacchi, 2012 ; Chen et al., 2011 ; Vaiana et al., 2013). Тако је на пример у AASHTO (2004) зеленој књизи одређена веза између саобраћајне брзине и дефлексије. Ова релација на основу које се може предвидети саобраћајна брзина се може приказати општом Формулом 3.3:

$$V = \sqrt{127 \cdot R \cdot (e + f)} \quad (\text{Формула 3.3})$$

где је: V – предвиђена брзина (у km/h); R – радијус путање кретања возила (у m); f – коефицијент бочног пријањања и e – попречни нагиб коловоза (у m/m).

Упрошћен модел за предвиђање брзине у зависности од радијуса путање кретања возила за најкарактеристичније попречне нагибе у кривини (+2% и -2%) приказан је Формулама 3.4 и 3.5:

$$V = 8,7602 \cdot R^{0,3861}, \text{ за } e = +0,02 \quad (\text{Формула 3.4})$$

$$V = 8,6164 \cdot R^{0,3673}, \text{ за } e = -0,02 \quad (\text{Формула 3.5})$$

где је: V – предвиђена брзина (у km/h) и R – радијус путање кретања возила (у m).

Како би се што прецизније предвиделе улазне и излазне брзине возила у/из кружне раскрснице [Rodegerdts et al. \(2010\)](#) је надовезујући се на закључке из [AASHTO \(2004\)](#) зелене књиге креирао моделе за предвиђање улазне и излазне брзине који су приказани Формулама 3.6 и 3.7:

$$V_1 = \min \left\{ \frac{V_{1pbase}}{\sqrt[3,6]{\left(\frac{V_2}{3,6}\right)^2 - 2a_{12}d_{12}}} \right. \quad (\text{Формула 3.6})$$

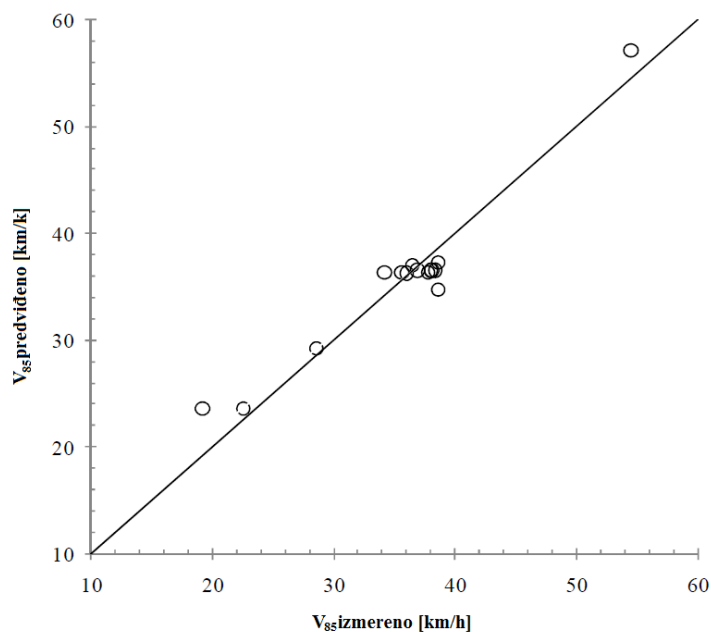
где је: V_1 – предвиђена брзина на уливу у кружну раскрсницу (у km/h); V_{1pbase} – предвиђена брзина на уливу на основу радијуса путање кретања R_1 (Слика 3.29) (у km/h); a_{12} – успорење возила између референтне тачке на кривој R_1 и средишње тачке на кривој R_2 (најчешће се усваја вредност од 1,3 m/s²) и d_{12} – раздаљина између референтне тачке на кривој R_1 и средишње тачке на кривој R_2 (у m).

$$V_3 = \min \left\{ \frac{V_{3pbase}}{\sqrt[3,6]{\left(\frac{V_2}{3,6}\right)^2 - 2a_{23}d_{23}}} \right. \quad (\text{Формула 3.7})$$

где је: V_3 – предвиђена брзина на изливу из кружне раскрснице (у km/h); V_{3pbase} – предвиђена брзина на изливу на основу радијуса путање кретања R_3 (Слика 3.29) (у km/h); a_{23} – успорење возила између средишње тачке на кривој R_2 и референтне тачке на кривој R_3 и (најчешће се усваја вредност од $2,1 \text{ m/s}^2$) и d_{23} – раздаљина између средишње тачке на кривој R_2 и референтне тачке на кривој R_3 (у m).



Слика 3.29 Радијуси путање кретања возила кроз кружну раскрсницу на уливу, у кружном току и на изливу (Gallelli et al., 2014)



Слика 3.30 Приказ измерених и предвиђених брзина употребом италијанског модела за предвиђање саобраћајних брзина (Bassani and Sacchi, 2011)

[Bassani and Sacchi \(2011\)](#) су направили модел (Формула 3.8 и Слика 3.30) базиран на вишеструкој линеарној регресији на примеру италијанских кружних раскрсница где су установили везу између саобраћајне брзине у кружној раскрсници са појединим геометријским елементима.

$$V_{85} = 0,4433 \cdot D_{INT} + 0,8367 \cdot W_{CR} + 3,2272 \cdot W_{ENL} \quad (\text{Формула 3.8})$$

где је: V_{85} – 85. перцентил саобраћајне брзине у самом кружном току (у km/h); D_{INT} – пречник централног острва (у m); W_{CR} – ширина кружног коловоза (у m); W_{ENL} – ширина уливне траке (у m).

[Chen et al. \(2013\)](#) истичу да се, иако суштински различити модели, и модел из САД ([Rodegerdts et al., 2010](#)) и италијански модел ([Bassani and Sacchi, 2011](#)) могу користити за предвиђање саобраћајних брзина возила у кружним раскрсницама и у другим државама. С друге стране, [Misaghi and Hassan \(2005\)](#) истичу да се сваки модел за рачунање саобраћајне брзине може применити само на подручју на којем је и направљен. Овакву тврдњу потврђују и резултати истраживања [Al-Omari et al. \(2014\)](#) који су на примеру 30 кружних раскрсница у Јордану креирали посебан модел за предвиђање саобраћајних брзина на основу спроведене регресионе анализе користећи варијабле које су сматрали најзначајнијим (Формуле 3.9 и 3.10).

$$V_{85} = 14,321 + 0,196 \cdot V_a + 0,655 \cdot W_e + 0,11 \cdot D_i + 0,048 \cdot DC - 11,96 \cdot A_e \quad (\text{Формула 3.9})$$

са коефицијентом детерминације $R^2=0.89$, и

$$V_{avg} = 11,098 + 0,183 \cdot V_a + 0,645 \cdot W_e + 0,11 \cdot D_i + 0,027 \cdot DC - 9,27 \cdot A_e \quad (\text{Формула 3.10})$$

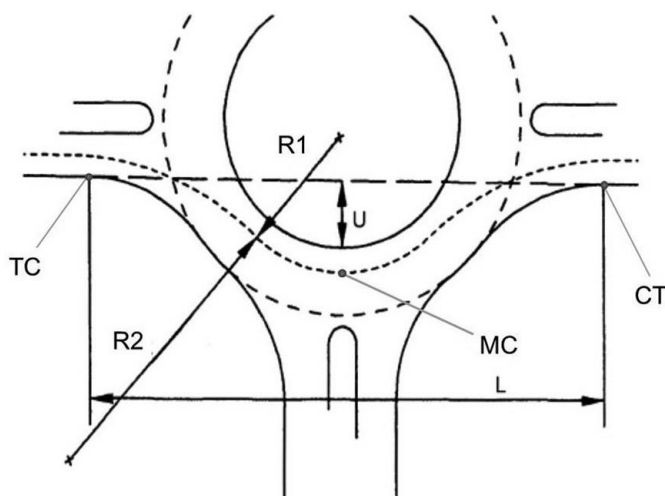
са коефицијентом детерминације $R^2=0.93$

где је: V_{85} – 85. перцентил саобраћајне брзине у самом кружном току (у km/h); V_{avg} – просечна саобраћајна брзина у самом кружном току (у km/h); V_a – брзина саобраћајног тока пре кружне раскрснице (у km/h); W_e – ширина улива (у m); D_i –

ширина централног острва (у m); A_e – уливни угао (у радијанима) и DC – крива кретања (у m) која се рачуна према Формули 3.11 (Hels and Orozova, 2007):

$$DC = \frac{(0,25 \cdot L)^2 + (0,5 \cdot (U+2))^2}{U+2} \quad (\text{Формула 3.11})$$

где је: U – померај, који представља највећу раздаљину на правој од замишљене десне ивице коловоза до ивице централног острва, а која пролази кроз средиште путање кретања возила у самом кружном току (Слика 3.31) (у m) и L – тангенцијална раздаљина, која представља замишљену дуж која повезује тачке на почетку улива и на крају излива из кружне раскрснице (Слика 3.31) (у m).

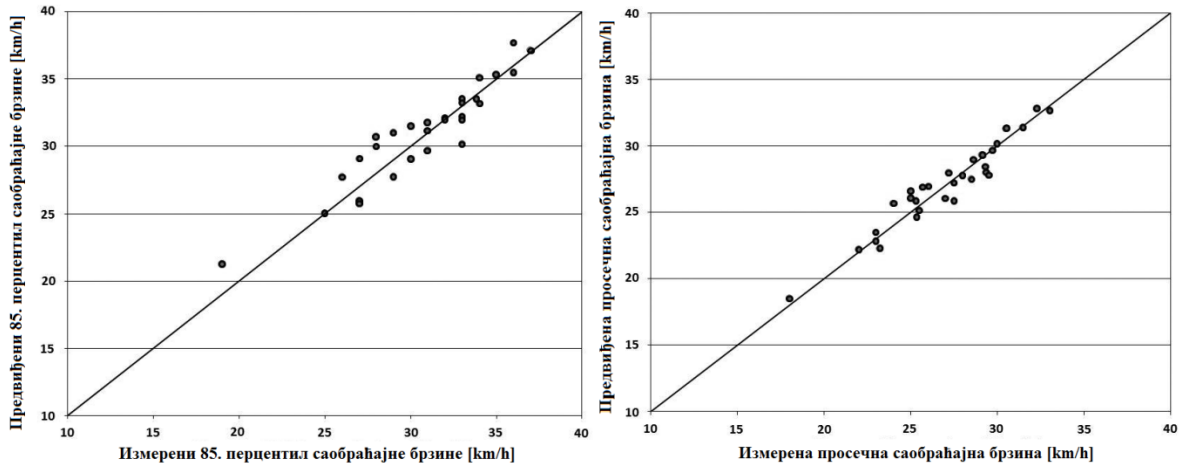


Слика 3.31 Елементи за рачунање криве кретања кроз кружну раскрсницу (Hels and Orozova, 2007)

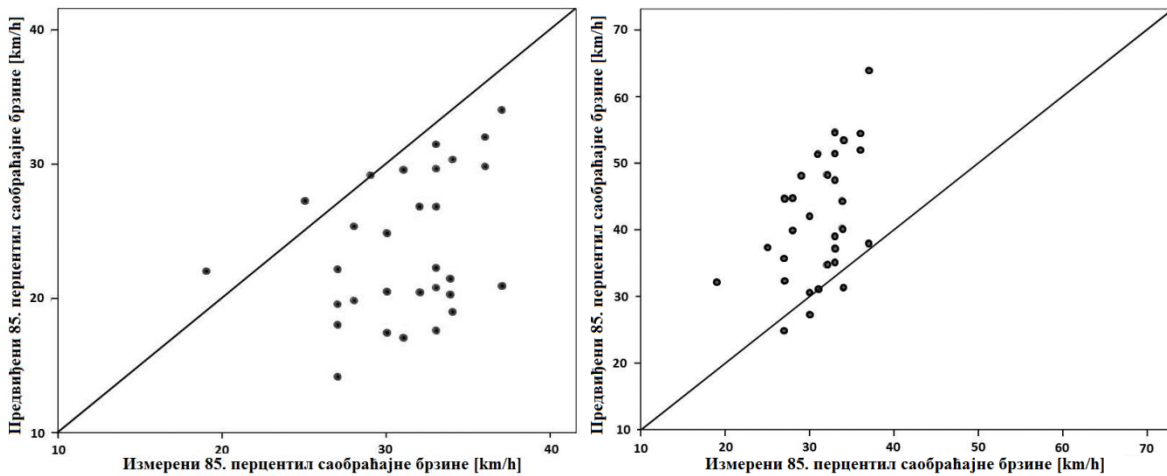
Оба јорданска модела, пре свега модел за предвиђање просечне брзине, имају висок коефицијент детерминације који указује на јаку корелацију између предвиђених и реално измерених саобраћајних брзина (Слика 3.32).

Међутим, када су применили AASHTO (2004) модел из САД и италијански модел (Bassani and Sacchi, 2011) на примеру јорданских раскрсница, Al-Omari et al.

(2014) су пронашли статистички значајне разлике између процењених и измерених брзина (Слика 3.33). У случају [AASHTO \(2004\)](#) модела коефицијент детерминације био је $R^2=0.135$, а у код модела [Bassani and Sacchi \(2011\)](#) коефицијент детерминације био је $R^2=0.255$. Претпоставка аутора истраживања је била да су утврђене разлике последица различитих навика возача и начина вожње у различитим регионима.



Слика 3.32 Приказ измерених и предвиђених брзина (просечних и 85. перцентил) употребом јорданског модела ([Al-Omari et al., 2014](#))

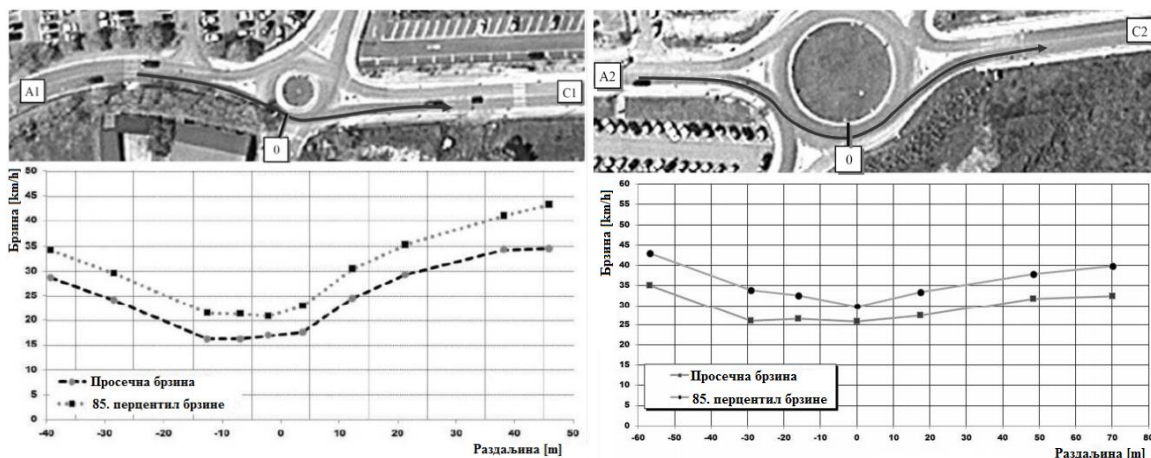


Слика 3.33 Приказ измерених и предвиђених брзина (85. перцентил) употребом модела из САД (лево) и Италије (десно) на примеру јорданских кружних раскрснице ([Al-Omari et al., 2014](#))

Приликом коришћења модела за предвиђање брзина на кружним раскрсницама у урбаним срединама треба водити рачуна и о параметрима који у градовима имају доста утицаја на брзине у раскрсницама, као што су на пример густина саобраћаја (која је већа у градским него у ванградским подручјима) или ограничење брзине (које је на градским саобраћајницама ниже него на ванградским (Fitzpatrick et al., 1997 ; Garrick and Wang, 2005 ; Bassani and Sacchi, 2012)).

3.7.2. ИСТРАЖИВАЊА О БРЗИНАМА НА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА

Како би се утврдило понашање возача при проласку кроз кружну раскрсницу, пре свега у погледу брзина кретања возила, спроведено је више истраживања. Gallelli et al. (2014) су спровели истраживање у јужној Италији на две двотрачне кружне раскрснице смештене на истом главном правцу, од којих је мања са спољним пречником од 23 m, а већа са спољним пречником од 42 m. Предметне раскрснице су снимане камерама помоћу којих су и мерене брзине кретања возила, 14 сати укључујући и вршне и ванвршне периоде. На Слици 3.34 су приказани дијаграми брзина кретања возила у виду просечних брзина као и 85. перцентила брзина на обе предметне раскрснице.



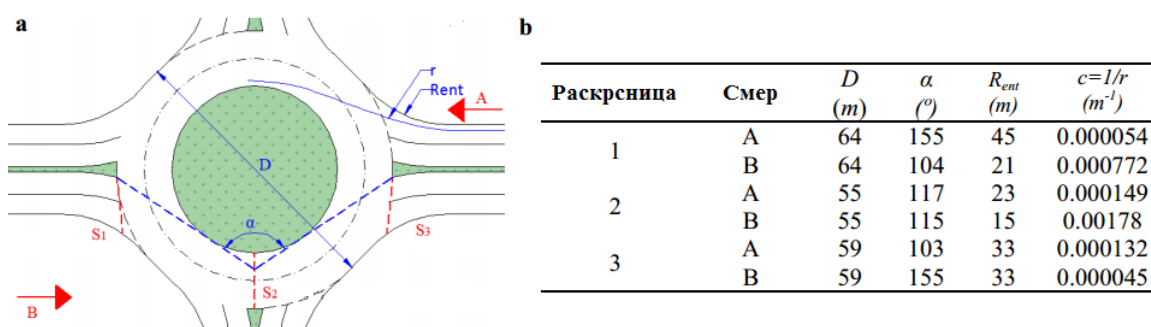
Слика 3.34 Профили брзине при кретању возила кроз кружне раскрснице (Gallelli et al., 2014)

Поред снимљених брзина, [Gallelli et al. \(2014\)](#) су применили и модел за предвиђање брзина на уливу из [Rodegerdts et al. \(2010\)](#) (Формула 3.4) и упоредили добијене резултате са измереним брзинама. Резултати до којих су дошли указују да је највише подударана измерених и предвиђених брзина на уливу у кружне раскрснице забележено при нижим брзинама на прилазима и првој и другој раскрсници и то при брзинама 30-55 km/h и 25-50 km/h респективно. Аутори ове студије указују да је неопходно смањење брзина на свим прилазима кружној раскрсници како би се предвиђене брзине подударале са измереним. У том случају брзина израчуната Формулом 3.4 се може узети као референтна. Смањење брзина се може постићи применом различитих саобраћајно-техничких и регулативно-режимских мера, а аутори истичу да се продужењем зоне редуковане брзине на прилазу кружној раскрсници за 6 до 8 m може смањити брзина возила на прилазу за до 15 km/h.

[Bastos Silva et al. \(2014b\)](#) су спровели истраживање у граду Коимбра у Португалу на путном правцу дугом 3,6 km са пет двотрачних кружних раскрсница, од којих су две крајње коришћене само за окретање возила. У истраживању је учествовало петоро возача (две жене и три мушкарца) старости између 40 и 55 година са возачким искуством преко 20 година, који су управљали возилом *Volkswagen Golf 1.9. TDi* са инсталираним *GPS* уређајем за позиционирање и праћење возила, и уграђеним уређајем *Race Technology Ltd (DL1 MK3)* за бележење података о брзини и убрзањима/успорењима возила. Сваки возач је возио пет кругова у условима незасићеног саобраћајног тока (у ванвршном периоду) како би возачима била дата што већа слобода у кретању приликом чега су анализирани подаци о кретању возила на три средишње кружне раскрснице (означене бројевима 1, 2 и 3 на Слици 3.35), а чије су геометријске карактеристике приказане на Слици 3.36). Возачима је дата инструкција да возилом управљају на начин на који би то радили да не учествују у истраживању.



Слика 3.35 Кружне раскрснице у истраживању Bastos Silva et al. (2014b)



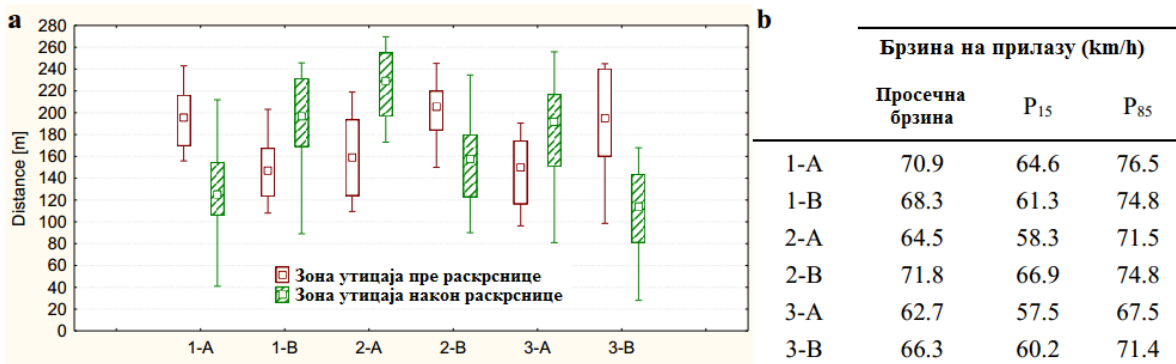
Слика 3.36 Карактеристике кружних раскрсница у истраживању Bastos Silva et al. (2014b)

Bastos Silva et al. (2014b) су најпре испитали дужину зоне утицаја сваке кружне раскрснице. Зона утицаја кружне раскрснице заправо представља дужину пута пре и након раскрснице на којој се возило креће брзином мањом од брзине кретања на деловима пута удаљенијим од саме раскрснице. На Слици 3.37 приказан је начин одређивања дужине утицаја кружне раскрснице. Тачка X на слици представља тачку на путу у којој почиње континуирано смањење брзине кретања возила (не рачунајући притом мање промене брзине услед промена степена преноса). Тачка Y на слици представља тачку на путу након кружне раскрснице у којој се достиже одговарајућа стабилна брзина кретања.



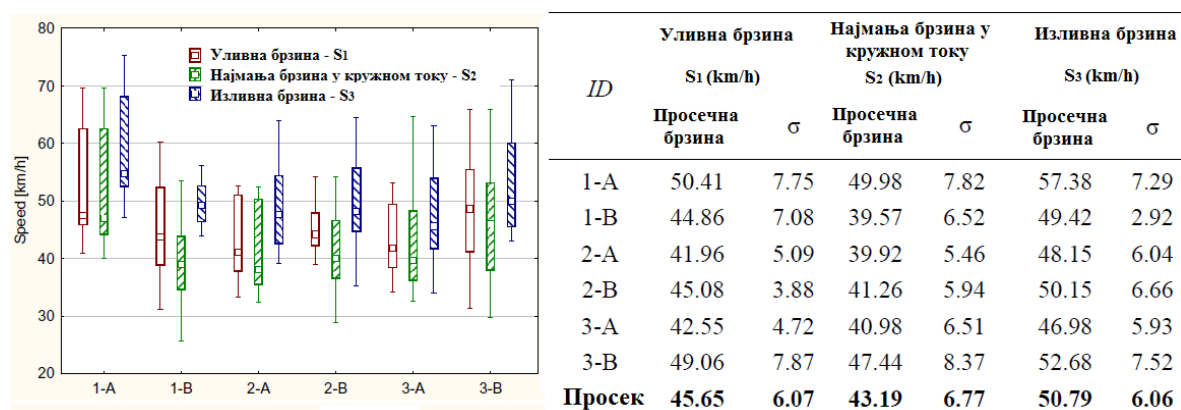
Слика 3.37 Одређивање дужине утицаја кружне раскрснице (Bastos Silva et al., 2014b)

На Слици 3.38 дат је приказ зоне утицаја сваке од три предметне кружне раскрснице по сваком смеру кретања возила одвојено за случајеве пре и након кружне раскрснице, а дат је и статистички приказ измерених брзина кретања возила на прилазима сваке раскрснице. Показало се у истраживању да се дужина утицаја кружних раскрсница креће у просеку између 400 и 500 m. Ипак, спроведеном регресионом анализом показало се да дужина утицаја сваке кружне раскрснице варира и директно зависи од брзине кретања на прилазу и дефлексије (која је у овом истраживању представљена кроз девијациони угао, степен закривљености трајекторије, уливни радијус и спољни пречник).



Слика 3.38 Дужина утицаја кружних раскрсница и статистички показатељи брзина на прилазима (Bastos Silva et al., 2014b)

Иако је ограничење брзине на предметној траси износило 50 km/h, на прилазима раскрсници забележене су брзине и од 70 km/h. Резултати истраживања [Bastos Silva et al. \(2014b\)](#) управо потврђују чињеницу да су кружне раскрснице ефикасан алат за умиривање саобраћаја, с обзиром да значајно редукују брзине кретања возила у односу на брзине на прилазима раскрсници. Показало се да се просечно смањење брзине на уливу у раскрсницу у односу на прилазну брзину креће између 26% и 37%, а просечна уливна брзина износи 45 km/h. На Слици 3.39 приказане су измерене брзине на предметним кружним раскрсницама на најкарактеристичнијим тачкама – S_1 (на уливу), S_2 (у кружном току) и S_3 (на изливу).

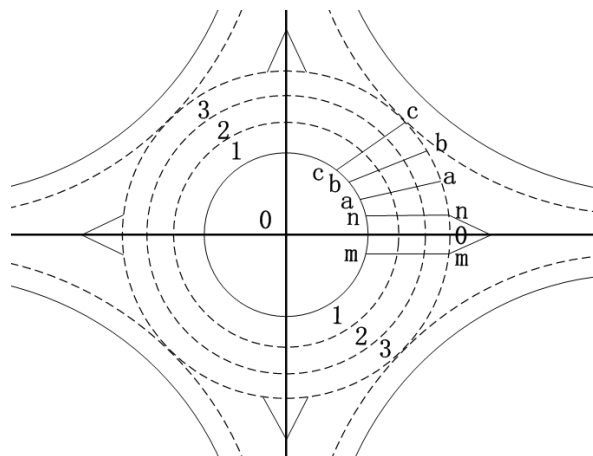


Слика 3.39 Измерене брзине на кружним раскрсницама у истраживању [Bastos Silva et al. \(2014b\)](#)

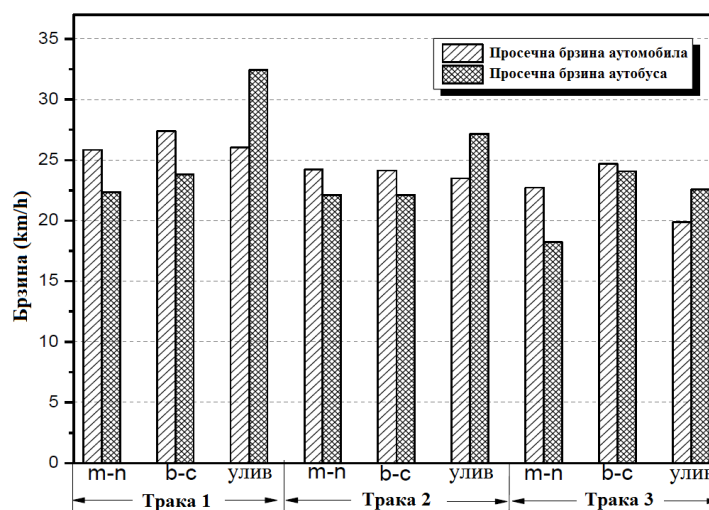
[Liu et al. \(2013\)](#) су спровели истраживање на тротрачној кружној раскрсници са спољним пречником од 60 m у кинеском граду Зенђијангу (Слика 3.40), на којој је снимање саобраћајног тока вршено камерама.

На Слици 3.41 приказане су измерене просечне брзине на раскрсници из истраживања [Liu et al. \(2013\)](#) по саобраћајним тракама и мерним местима (улив, одсек m-n и одсек b-c), одвојено за аутомобиле и за аутобусе. Показало се да су највеће просечне брзине возила забележене на траци 1, затим на траци 2, а најмање на траци 3 ($V_{\text{Трака1}} > V_{\text{Трака2}} > V_{\text{Трака3}}$). Просечне брзине аутобуса су биле веће на уливима у све три саобраћајне траке у односу на просечне брзине аутомобила, али су

у самом кружном току брзине аутомобила биле веће. Односи брзине према мерним местима за аутомобиле су: $V_{bc} > V_{mn} > V_{улив}$, док је за аутобусе: $V_{улив} > V_{bc} > V_{mn}$.



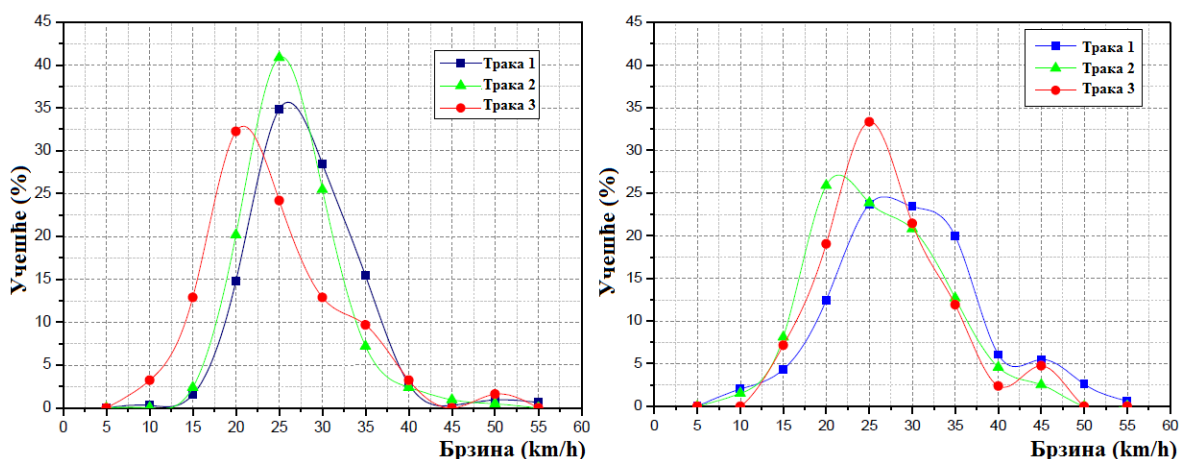
Слика 3.40 Обележена раскрсница коришћена у истраживању Liu et al. (2013)



Слика 3.41 Измерене просечне брзине кретања возила у кружној раскрсници у истраживању Liu et al. (2013)

На Слици 3.42 приказана је расподела брзина у кружној раскрсници на одсесима m-n и b-c у истраживању Liu et al. (2013). У траци 1 93,62% измерених брзина се креће у домену 15-35 km/h, у траци 2 93,75% измерених брзина се креће у домену 15-35 km/h док се у траци 3 91,93% измерених брзина се креће у домену 10-

35 km/h. У свим случајевима забележена је нормална расподела брзина, само су на одсеку b-c забележени нешто нижи и равнији пикови, што само указује на утицај надолазећег саобраћаја на уливу са прилаза са десне стране.



Слика 3.42 Расподела брзина у кружној раскрсници (одсек m-n лево и одсек b-c десно) у истраживању Liu et al. (2013)

У Табели 3.6 приказани су резултати истраживања CROW (2008) који су показали да што је унутрашњи радијус мањи, то је брзина у самој кружној раскрсници већа, што је најизраженије на двотрачним кружним раскрсницама.

Табела 3.6 Процењене брзине на различитим кружним раскрсницама (CROW, 2008)

Унутрашњи радијус (m)	Саобраћајне брзине у кружним раскрсницама (km/h)		
	Једотрачне	Двотрачне	Турбо
10,5	38-41	65-85	37-41
12	37-39	57-70	37-39
15	37-38	50-55	38-39
20	38	47-50	40
25	40	48	42
30	41	47	44

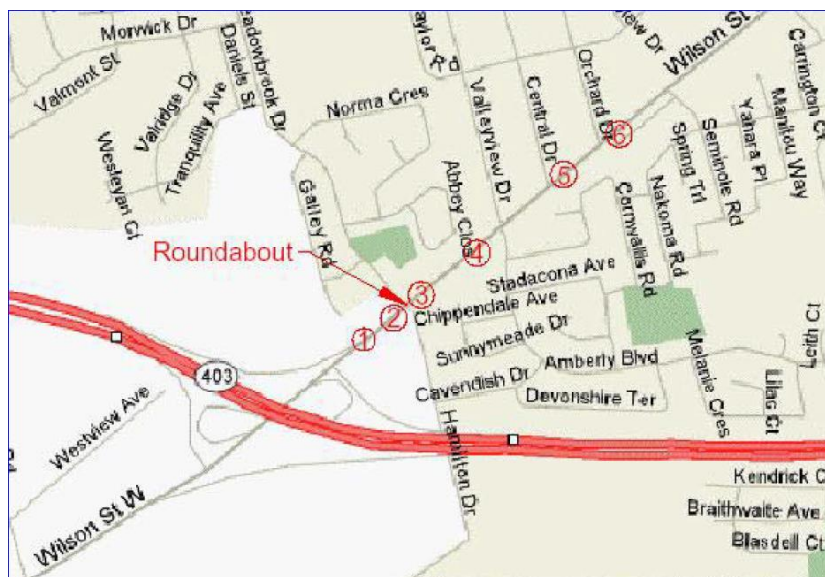
4. МЕТОДИ ЗА ПРОЦЕНУ ЕФЕКТА КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ

Најбољи начин за утврђивање утицаја кружних раскрсница на безбедност саобраћаја је онај путем мерења нивоа безбедности саобраћаја на раскрсницама које су из конвенционалних раскрсница са директним укрштањем токова конвертоване у кружне раскрснице. Мерењем нивоа безбедности саобраћаја на овим раскрсницама пре и после конверзије и њиховим поређењем може се утврдити јесу ли кружне раскрснице безбедније или не, и у којој мери.

Више студија у свету рађено је на ову тему, поготову у земљама где је конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице пракса већ пар деценија. [Ritchie and Lenters \(2005\)](#) су на пример мерили брзине у граду Хамилтону, Канада, на путу на којем је раскрсница са директним укрштањем токова конвертована у кружну (Слика 4.1) и то на местима пре и након раскрснице (Слика 4.2). Конвертована раскрсница је једнотрачна, са ширином улива на свим прилазима од 4,5 m, спољним пречником од 40 m.



Слика 4.1 Раскрсница у Хамилтону, Канада пре и после конверзије у кружну у истраживању Ritchie and Lenters (2005)

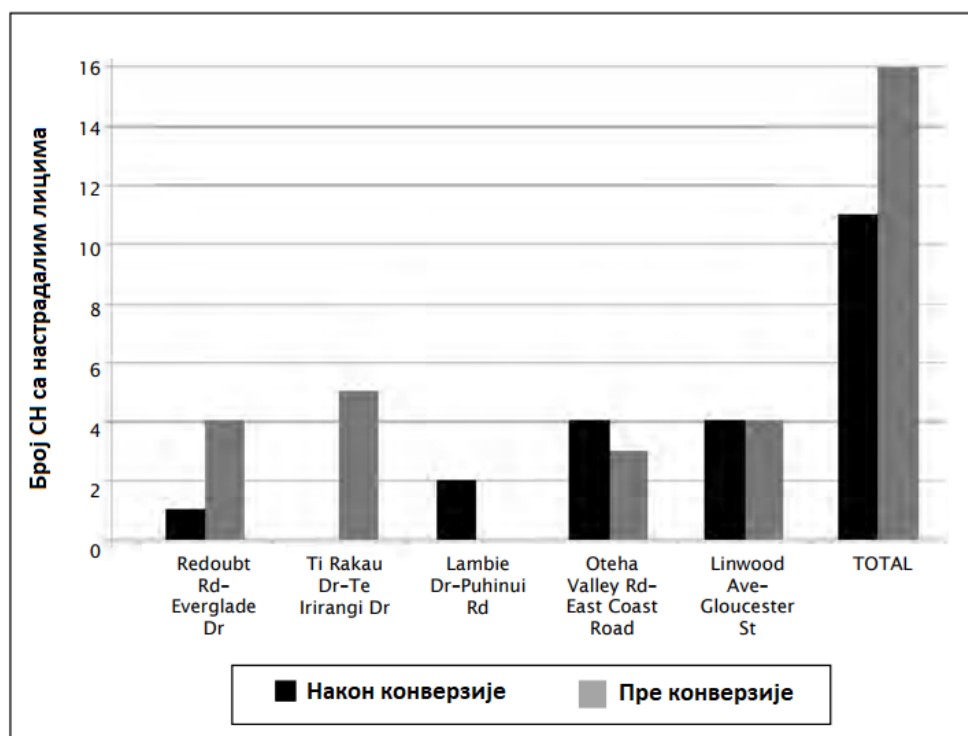


Слика 4.2 Места мерења брзине на путу у Хамилтону, Канада испред и иза раскрснице у истраживању Ritchie and Lenters (2005)

Табела 4.1 Измерене брзине на путу у Хамилтону, Канада пре и после конверзије у истраживању Ritchie and Lenters (2005)

Локација	Смер	Измерене брзине пре конверзије [km/h]	Измерене брзине после конверзије [km/h]	Разлика брзине [km/h]
ПРЕ КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ				
Тачка 1	1	48	39	-9
	2	48	36	-12
Тачка 2	1	47	26	-21
	2	48	32	-16
НАКОН КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ				
Тачка 3	1	46	28	-18
	2	50	24	-26
Тачка 4	1	44	37	-6
	2	47	36	-11
Тачка 5	1	42	43	+1
	2	43	42	-1
Тачка 6	1	42	42	0
	2	43	41	-2

У Табели 4.1 дат је приказ измерених брзина (85. перцентил) на локацијама испред и иза раскрснице пре и после конверзије у истраживању [Ritchie and Lenters \(2005\)](#). У овом истраживању је забележено значајно смањење брзина испред раскрснице након конверзије (до 44% смањења брзина испред саме раскрснице), али и непосредно иза раскрснице (до 52% смањења). Разлика у брзинама кретања возила може бити индиректни показатељ нивоа безбедности ([Arndt, 1998 ; Guido et al., 2009](#)), али да би се директно сагледао ниво безбедности саобраћаја и извршио прорачун ефеката конверзије потребно је пре свега анализирати број и структуру саобраћајних незгода које су се догађале пре и после конверзије.



Слика 4.3 Број саобраћајних незгода на пет раскрсница на Новом Зеланду пре и након конверзије ([Campbell et al., 2012](#))

[Campbell et al. \(2012\)](#) су, на пример, бележили број саобраћајних незгода у периоду од пет година пре и пет година након конверзије пет раскрсница на Новом

Зеланду и утврдили значајно укупно смањење броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима, што је приказано на Слици 4.3. Међутим, како би се прецизно квантификовали ефекти које конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице заиста има, није довољно просто поредити број саобраћајних незгода пре и након конверзије, већ је потребно спровести опсежнија истраживања, о чему ће више речи бити у наставку.

Анализа ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице може се вршити употребом више метода, а у наставку ће бити детаљно приказани и описани најчешће употребљавани у релевантној литератури.

4.1. ЕМПИРИЈСКИ БАЈЕСОВ МЕТОД

Можда најпримењиванији метод за прорачун ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице је Емпиријски Бајесов метод (Hauer, 1997). Емпиријски Бајесов метод има низ предности као што су коректно рачунање при регресији ка просеку, превазилажење проблема при коришћењу стопе саобраћајних незгода нормализацијом обима саобраћаја у периоду пре и после, већа поузданост у одређивању ефеката у безбедности, посебно приликом груписања различитих раскрсница по одређеном критеријуму (Hauer et al., 2002 ; Persaud and Lyon, 2007 ; Persaud et al., 2010 ; Gross et al., 2013 ; Park et al., 2016). Применом ЕБ евалуације, промене у безбедности саобраћаја за одређени вид саобраћајних незгода, на раскрсницама које су конвертоване у кружне рачунају се Формулом 4.1:

$$\delta = \pi - \lambda \quad (\text{Формула 4.1})$$

где је: π - очекивани број саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсницама у периоду после конверзије да раскрснице нису конвертоване у кружне, а λ - број саобраћајних незгода који се догодио у периоду после конверзије.

Узимање броја саобраћајних незгода које су се догодиле у периоду пре конверзије за π не би било коректно с обзиром на промене које могу настати у броју саобраћајних незгода из различитих разлога (нпр. услед промена у обиму саобраћаја и слично), па се уместо тога π добија користећи ЕБ процедуру у којој се користи Функција безбедносних перформанси (SPF) за процену броја саобраћајних незгода на раскрсницама сличним раскрсницама које се анализирају (P). Како ће конкретно изгледати Функција безбедносних перформанси (SPF) зависи од избора аутора који је опет условљен параметрима који се користе за нормализацију (у зависности од доступних података и њиховог значаја за анализу), али се општи облик функције може представити Формулом 4.2.

$$P(\text{незгода/година}) = \exp(\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n) \quad (\text{Формула 4.2})$$

Параметри α и β_1 - β_n се одређују применом регресионе анализе у процесу калибрације модела, док су X_1 - X_n параметри који се користе у моделу.

Добијени резултати за P_b се затим комбинују са бројем саобраћајних незгода (x_b) које су се догодиле у (y_b) година пре конверзије како би се добио очекивани број саобраћајних незгода (m_b) пре конверзије раскрснице у кружну (Формула 4.3).

$$m_b = \frac{k+x_b}{\frac{k}{P}+y_b} \quad (\text{Формула 4.3})$$

где је k (Формула 4.4) дисперзиони параметар негативне биномне расподеле, који служи за боље описивање броја незгода на групи раскрсница, за које се претпоставља да важи Поасонова или нормална расподела с обзиром да у обзир узима просек и стандардно одступање (Zhang at al., 2007), а који се такође добија у процесу калибрације модела.

$$k = \frac{P^2}{Var(P)} \quad (\text{Формула 4.4})$$

За процену броја саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсници у периоду после конверзије у једној години да раскрсница није конвертована у кружну (Формула 4.6) мора се у обзир узети и дужина периода након конверзије, као и разлике у ПГДС-у, где би се најпре израчунао P_a (Формула 4.2), а затим и однос P_a и P_b (Формула 4.5).

$$R = \frac{P_a}{P_b} \quad (\text{Формула 4.5})$$

$$m_a = R \cdot m_b \quad (\text{Формула 4.6})$$

На крају се множењем очекиваног броја саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсници у периоду после конверзије у једној години да раскрсница није конвертована у кружну са бројем година након конверзије добио укупан очекивани број саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсници у периоду после конверзије да раскрсница није конвертована у кружну (Формула 4.7).

$$B = m_a \cdot y_a \quad (\text{Формула 4.7})$$

Уколико је A број саобраћајних незгода који се догодио на једној раскрсници након конверзије, а B очекивани број саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсници у периоду после конверзије да раскрсница није конвертована у кружну, онда је:

$$\pi = \sum B \quad (\text{Формула 4.8})$$

$$\lambda = \sum A \quad (\text{Формула 4.9})$$

$$\text{Var}(\pi) = \sum \text{Var}(B) \quad (\text{Формула 4.10})$$

$$\text{Var}(\lambda) = \sum A \quad (\text{Формула 4.11})$$

Разлика у броју саобраћајних незгода се онда рачуна применом Формуле 4.1. Ефективност конверзије раскрсница са директним укрштањем токова кружним раскрсницама се најбоље изражава индексом ефективности – θ , који је апроксимативно једнак односу броја незгода које су се догодиле у периоду након конверзије и броја саобраћајних незгода који се могао очекивати на раскрсницама у периоду након конверзије да нису конвертоване у кружне (Формула 4.12), а чија се варијанса рачуна Формулом 4.13.

$$\theta = \frac{\frac{\lambda}{\pi}}{1 + \left(\frac{Var(\pi)}{\pi^2}\right)} \quad (\text{Формула 4.12})$$

$$Var(\theta) = \theta^2 \cdot \frac{\left(\frac{Var(\lambda)}{\lambda^2}\right) + \left(\frac{Var(\pi)}{\pi^2}\right)}{\left(1 + \frac{Var(\pi)}{\pi^2}\right)^2} \quad (\text{Формула 4.13})$$

Поред индекс ефективности (θ), као други, конвенционалнији показатељ ефективности конверзије узима се проценат разлике тј. смањења броја саобраћајних незгода који се рачуна према Формули 4.14.

$$\% \text{ разлике} = 100 \cdot (1 - \theta) \quad (\text{Формула 4.14})$$

4.2. ОПСЕРВАЦИОНИ МЕТОД ПРЕ И ПОСЛЕ

Уколико подаци о ПГДС-у на локацијама које су предмет истраживања не постоје или нису доступни, аутори најчешће употребљавају класичан опсервациони метод пре и после. Применом овог метода очекивани број саобраћајних незгода у периоду након конверзије се рачуна применом Формуле 4.15.

$$A_{Expected,After} = A_{Before} \cdot C_{Trend} \cdot C_{RTM} \quad (\text{Формула 4.15})$$

где је: $A_{Expected,After}$ – очекивани број саобраћајних незгода који би се догодио на раскрсницама у периоду после конверзије да раскрснице нису конвертоване у кружне, A_{Before} – број саобраћајних незгода који се догодио у периоду пре конверзије, док су C_{Trend} и C_{RTM} – корекциони фактори за тренд саобраћајних незгода и регресију ка просеку.

C_{Trend} се рачуна на основу саобраћајних незгода на раскрсницама сличним оној која је конвертована у кружну и то према Формули 4.16.

$$C_{Trend} = \frac{A_{Acomp}}{A_{Bcomp}} \quad (\text{Формула 4.16})$$

где је: A_{Acomp} – број саобраћајних незгода на раскрсницама сличним раскрсници која је конвертована у кружну у периоду након њене конверзије, A_{Bcomp} – број саобраћајних незгода на раскрсницама сличним раскрсници која је конвертована у кружну у периоду пре њене конверзије.

Саобраћајне незгоде на некој локацији генерално имају Поасонову расподелу, што значи да је могуће да се у кратком временском интервалу догоди изузетно велики или изузетно мали број саобраћајних незгода, и овај феномен се назива *регресија ка просеку* (Jensen, 2016). Како би превазишао проблем регресије ка просеку, опсервациони модел пре и после користи у анализи дужи период пре конверзије. Наиме, модел у прорачуну користи и саобраћајне незгоде у тзв. „пре-пре“ периоду, односно временском интервалу пре периода који је узет као период пре конверзије саобраћајних незгода (за боље разумевање дат је пример на Слици 4.4).



Слика 4.4 Пример временских периода за опсервациони метод пре и после

Пре-пре период се користи како би се израчунао очекивани број саобраћајних незгода на конвертованим раскрсницама у периоду пре конверзије (Формула 4.17).

$$A_{Expected,Before} = A_{Before-Before} \cdot C_{Trend,Before} \quad (\text{Формула 4.17})$$

где је: $A_{Expected,Before}$ – очекивани број саобраћајних незгода на конвертованим раскрсницама у периоду пре конверзије, $A_{Before-Before}$ – број саобраћајних незгода који се догодио на конвертованим раскрсницама у пре-пре периоду, а $C_{Trend,Before}$ – корекциони фактор за тренд саобраћајних незгода у периоду пре конверзије који се рачуна Формулом 4.18.

$$C_{Trend,Before} = \frac{A_{Bcomp}}{A_{B,Bcomp}} \quad (\text{Формула 4.18})$$

где је: $A_{B,Bcomp}$ – број саобраћајних незгода на раскрсницама сличним раскрсници која је конвертована у кружну у пре-пре периоду.

Корекциони фактор за регресију ка просеку – C_{RTM} се онда рачуна применом Формуле 4.19.

$$C_{RTM} = \frac{A_{Expected,Before}}{A_{Before}} \quad (\text{Формула 4.19})$$

Безбедносни ефекти конверзије се затим рачунају методологијом коју је успоставио [Jørgensen \(1981\)](#). Ефективност конверзије – θ се рачуна према Формули 4.20, а процентуално се изражава као код Емпиријског Бајесовог метода (Формула 4.14).

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^N A_{After,i}}{\sum_{i=1}^N A_{Expected,After,i}} \quad (\text{Формула 4.20})$$

Добијени резултати ефективности конверзије се тестирају на два начина. Најпре се тестира хомогеност резултата, како би се утврдило да ли се добијени резултати

односе на све анализирани раскрснице. Хомогеност резултата се проверава применом хи-квадрат теста (Формула 4.21).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(A_{After,i} - \theta \cdot A_{Expected,After,i})^2}{\theta \cdot \frac{A_{Expected,After,i}}{A_{Before,i}} \cdot (A_{Before,i} + A_{After,i})} \quad (\text{Формула 4.21})$$

Раскрснице, на којима се нису дешавале саобраћајне незгоде у периоду пре и после конверзије, се искључују из теста хомогености. Уколико се на некој раскрсници нису дешавале саобраћајне незгоде у периоду после конверзије, онда се део $A_{Expected,After,i} / A_{Before,i}$ у Формули 4.21 мења укупним корекционим фактором – C (Формула 4.22).

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N A_{Expected,After,i}}{\sum_{i=1}^N A_{Before,i}} \quad (\text{Формула 4.22})$$

Добијене вредности χ^2 имају $N-1$ степен слободе. Ако је вредност χ^2 испод 5% значајности, онда су добијени резултати ефективности конверзије хетерогени, у супротном су хомогени.

Поред тестирања хомогености, друго тестирање које је потребно спровести јесте тестирање статистичке значајности добијених резултата. У овом случају се такође спроводи хи-квадрат тест коришћењем Формуле 4.23.

$$\chi^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N A_{After,i} - C \cdot \sum_{i=1}^N A_{Before,i})^2}{(\sum_{i=1}^N A_{Before,i} + \sum_{i=1}^N A_{After,i}) \cdot C} \quad (\text{Формула 4.23})$$

Добијене вредности χ^2 имају степен слободе један. Резултати теста се тумаче на следећи начин:

- Уколико је вредност χ^2 већа од 3,84 ($p \leq 0,05$) онда су добијене вредности ефеката конверзије статистички значајне. То значи да су разлике између очекиваног броја саобраћајних незгода и броја незгода који се догодио на

раскрсници након конверзије, које су резултат случајних варијација, мање од 5%.

- Уколико је вредност χ^2 већа од 2,71, али мања од 3,84 ($0,05 < p \leq 0,1$) онда се добијене вредности сматрају статистички значајним, али са одређеном дозом непоузданости. То значи да су разлике између очекиваног броја саобраћајних незгода и броја незгода који се догодио на раскрсници након конверзије, које су резултат случајних варијација, између 5% и 10%.
- Уколико је вредност χ^2 мања од 2,71 ($p > 0,1$) онда добијене вредности ефеката конверзије нису статистички значајне. То значи да су разлике између очекиваног броја саобраћајних незгода и броја незгода који се догодио на раскрсници након конверзије у значајној мери резултат случајних варијација или је број незгода толико мали да је немогуће доказати било какав ефекат конверзије.

4.3. МЕТА-АНАЛИЗА

Мета-анализа се најчешће користи приликом обједињавања и сумирања више резултата који се односе на један исти предмет истраживања. Када је реч о конверзији раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице, мета-анализу су користили аутори попут [Elvik \(2001 ; 2009 ; 2017\)](#) и [Jensen \(2013\)](#), који су користили резултате претходних студија које су се бавиле рачунањем ефеката конверзије.

Мета-анализа користи метод логаритамских односа вероватноћа (*eng. Log odds method*) који је прво употребио [Fleiss \(1981\)](#). Применом овог метода, процењује се пондерисани просечни ефекат конверзије, који се добија на бази процењених ефеката из више истраживања.

Генерално, однос вероватноћа (*eng. Odds ratio*) је често употребљаван у студијама евалуације безбедносних ефеката неке мере. У пракси, однос вероватноћа се рачуна на следећи начин: Ако је на пример, на раскрсници X пре конверзије забележено 30 саобраћајних незгода, а након конверзије 12, док је на раскрсници Y забележено 26 саобраћајних незгода у периоду пре, а 16 након конверзије раскрснице X, однос вероватноћа је $(12/30)/(16/26) = 0,65$. То значи да је дошло до смањења броја саобраћајних незгода за 35% ($0,65-1$). Уколико је добијена вредност мања од 1 – дошло је до позитивних ефеката примењене мере, уколико је једнака 1 – није било ефеката, а уколико је већа од 1 – дошло је до негативних ефеката примењене мере.

Примена мета-анализе, у првом кораку подразумева рачунање статистичких пондера и избор модела мета-анализе. Применом метода логаритамских односа вероватноћа, укупни ефекат конверзије се рачуна као поднерисани просек логаритама појединачних процењених ефеката.

Постоје две врсте модела мета-анализе: модел фиксних ефеката и модел случајних ефеката, и од велике је важности правилно изабрати који ће од ова два модела бити употребљен (Borenstein et al., 2009). Модел фиксних ефеката је базиран на претпоставци да не постоје систематске варијације у ефектима добијеним у различитим истраживањима, односно да је „прави“ ефекат исти за сва истраживања. Ову претпоставку је тешко направити у већини случајева, па се модел фиксних ефеката не примењује често, већ најчешће у случајевима када постоји само неколико резултата истраживања који се комбинују како би се добио „прави“ ефекат. У свим осталим случајевима, када постоје систематске варијације између ефеката процењених у више истраживања, односно када је изражена њихова хетерогеност, потребно је применити модел случајних ефеката који узима у обзир хетерогеност појединачних процењених ефеката и повећава поузданост резултата (Elvik, 2009).

У моделу фиксних ефеката, статистички пондер природног логаритма сваког од ефеката (w_i) је обрнуто пропорционалан његовој варијанси (v_i) (Формула 4.24).

$$w_i = \frac{1}{v_i} \quad (\text{Формула 4.24})$$

Варијанса логаритма ефекта се рачуна према Формули 4.25.

$$v_i = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D} \quad (\text{Формула 4.25})$$

где су A , B , C и D елементи који улазе у калкулацију односа вероватноћа. У истраживањима која не користе компаративну групу (нпр. групу раскрсница које нису конвертоване, а сличне су конвертованим) елементи C и D опадају. За елементе A , B , C и D се узима забележени број саобраћајних незгода. Уколико је број забележених саобраћајних незгода нула, за било који такав елемент се узима вредност од 0,5 (Elvik, 2009).

Код модела случајних ефеката статистички пондери се рачунају у функцији пондера фиксних ефеката и мере хетерогености процењених ефеката. Како би се тестирала мера хетерогености процењених ефеката у истраживањима примењује се тест приказан у Формули 4.26 (Shadish and Haddock, 1994).

$$Q = \sum_{i=1}^g w_i y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^g w_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^g w_i} \quad (\text{Формула 4.26})$$

где је: Q – добијена вредност статистичког теста, y – процењени ефекат у истраживању, а w – пондер добијен применом модела фиксних ефеката. Вредност статистичког теста има χ^2 расподелу са $g-1$ степени слободe, где је g – број процењених ефеката који се комбинују.

Уколико је добијена вредност статистичког теста значајна, модел случајних ефеката је адекватнији за примену од модела фиксних ефеката. Применом модела случајних ефеката, статистички пондери се модификују како би садржали компоненту која одражава систематске варијације између ефеката процењених у

више истраживања. Ова компонента се процењује на начин приказан у Формули 4.27 (Shadish and Haddock, 1994).

$$\tau^2 = \frac{Q-(g-1)}{C} \quad (\text{Формула 4.27})$$

где је C елемент процене који се рачуна применом Формуле 4.28.

$$C = \sum_{i=1}^g w_i - \frac{\sum_{i=1}^g w_i^2}{\sum_{i=1}^g w_i} \quad (\text{Формула 4.28})$$

Варијанса сваког резултата се онда рачуна на начин приказан у Формули 4.29, док се одговарајући статистички пондер рачуна према Формули 4.30.

$$v_i^* = \tau^2 + v_i \quad (\text{Формула 4.29})$$

$$w_i^* = \frac{1}{v_i^*} \quad (\text{Формула 4.30})$$

На крају се укупан просечан ефекат базиран на g броју процењених ефеката који се комбинују, рачуна применом Формуле 4.31.

$$\bar{y} = \exp\left(\frac{\sum_{i=1}^g w_i y_i}{\sum_{i=1}^g w_i}\right) \quad (\text{Формула 4.31})$$

где је \exp – експоненцијална функција (Ојлерова константа степенована на израз у загради). 95% интервал поверења за израчунат просечан ефекат се рачуна преко Формуле 4.32.

$$95\% \text{ИП} = \exp\left[\left(\frac{\sum_{i=1}^g w_i y_i}{\sum_{i=1}^g w_i}\right) \pm 1,96 \cdot \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^g w_i}}\right] \quad (\text{Формула 4.32})$$

5. ОСТВАРЕНИ ЕФЕКТИ КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ У СВЕТУ

У свету је спроведено више различитих истраживања којима су процењивани ефекти конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице. Имајући у виду различите примењене методологије, као и разлике у регионима у којима су истраживања спроведена, процењени су и различити ефекти.

5.1. ЕФЕКТИ ПРОЦЕЊЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА КОЈА СУ КОРИСТИЛА ЕМПИРИЈСКИ БАЈЕСОВ МЕТОД

У NCHRP 572 Извештају (Rodegerdts et al., 2007) примењен је Емпиријски Бајесов метод за рачунање ефеката конверзије 55 раскрсница у Сједињеним Америчким Државама. Функција безбедносних перформанси (SPF) примењене у овом истраживању приказане су у Табелама 4.2 и 4.3.

Табела 5.1 Функција безбедносних перформанси за предвиђање очекиваног укупног броја саобраћајних незгода по броју трака и прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2007)

Број трака у раскрсници	Трокраке	Четворокраке	Петокраке
1	0,0011 (ПГДС) ^{0,749}	0,0023 (ПГДС) ^{0,749}	0,0049 (ПГДС) ^{0,749}
2	0,0018 (ПГДС) ^{0,749}	0,0038 (ПГДС) ^{0,749}	0,0073 (ПГДС) ^{0,749}
3 и 4	-	0,0126 (ПГДС) ^{0,749}	-

Табела 5.2 Функција безбедносних перформанси за предвиђање очекиваног броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима по броју трака и прилаза кружној раскрсници (Rodegerdts et al., 2007)

Број трака у раскрсници	Трокраке	Четворокраке	Петокраке
1 и 2	0,0008 (ПГДС) ^{0,5923}	0,0013 (ПГДС) ^{0,5923}	0,0029 (ПГДС) ^{0,5923}
3 и 4	-	0,0119 (ПГДС) ^{0,5923}	-

Резултати добијени у овој студији приказани су у Табели 4.4.

Табела 5.3 Процена ефеката конверзије на примеру 55 раскрсница у САД (Rodegerdts et al., 2007)

				Процент смањења незгода (стандардна грешка)	
Пре конверзије	Број раскрс.	Категорија	Број трака	Све незгоде	Незгоде са настрадалима
Све раскрснице	55	Све	Све	35,4% (3,4)	75,8% (3,2)
Семафорисане	9	Све	Све	47,8% (4,9)	77,7% (6,0)
	4	Ванградске	2	66,7% (4,4)	Мали узорак
	5	Урбане	Све	Није значајно	60,1% (11,6)
Без приоритетног правца	10	Све	Све	Није значајно	Није значајно
Са приоритетним правцем	36	Све	Све	44,2% (3,8)	81,8% (3,2)
	9	Руралне	1	71,5% (4,0)	87,3% (3,4)
	17	Градске	Све	29,0% (9,0)	81,2% (7,9)
	12		1	39,8% (10,1)	80,3% (10,0)
	5	Ванградске	2	Мали узорак	Мали узорак
	10		Све	31,8% (6,7)	71,0% (8,3)
	4		1	78,2% (5,7)	77,6% (10,4)
	6	Урбане	2	19,3% (9,1)	68,0% (11,6)
	27		Све	30,8% (5,5)	74,4% (6,0)
	16		1	56,3% (6,0)	77,7% (7,4)
11	2		17,9% (8,2)	71,8% (9,3)	

Табела 5.4 Процењени ефекти конверзије у различитим државама (Rodegerdts et al., 2007)

Држава	Процент смањења броја незгода	
	Све незгоде	Незгоде са настрадалима
Аустралија	41-61%	45-87%
Француска	-	57-78%
Немачка	36%	-
Холандија	47%	-
Уједињено Краљевство	-	25-39%

Резултати ове студије показали су смањење укупног броја саобраћајних незгода након конверзије 55 раскрсница у кружне од 35%, односно смањење броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 76%. У овој студији приказани су и резултати студија из других земаља приказаних у Табели 4.5.

Bonneson and McCoy (1993) су на примеру 19 конвертованих кружних раскрсница применом Емпиријског Бајесовог метода утврдили смањење укупног броја незгода за 67%, а незгода са настрадалим лицима за 87%.

$$P(\text{незгода/година}) = 0,000194 \cdot \text{ПГДС}_{\text{Главни}}^{0,256} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Споредни}}^{0,831} \quad (\text{Формула 4.33})$$

Табела 5.5 Процена ефеката конверзије на примеру 19 раскрсница (Bonneson and McCoy, 1993)

Раскрснице	Број раскрс.	Број трака	Процент смањења броја незгода	
			Све незгоде	Незгоде са настр. лицима
Све раскрснице	19	Све	67%	87%
Четворокраке	17	Све	68%	88%
	16	1	74%	89%
	1	2	-41%	60%
Трокраке	2	1	26%	72%

Модел који је примењен у истраживању [Bonneson and McCoy \(1993\)](#) за Функцију безбедносних перформанси (SPF) за незгоде са настрадалим лицима приказан је у Формули 4.33, где су за контролне параметре узети ПГДС на главном и споредном правцу који формирају раскрсницу. Укупни резултати истраживања приказани су у Табели 4.6.

Исти метод и сличан модел као [Bonneson and McCoy \(1993\)](#) применили су и [Persaud et al. \(2000\)](#) у свом истраживању.

$$P(\text{незгода/година}) = \ln(\alpha) \cdot \text{ПГДС}_{\text{Укупни}}^{\beta_1} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Споредни}}^{\beta_2} \quad (\text{Формула 4.34})$$

Табела 5.6 Израчунати SPF параметри у истраживању [Persaud et al. \(2000\)](#)

Врста података	$\ln(\alpha)$	β_1	β_2	k
Све СН	-9,886	1,202	0,376	3,10
СН са настрадалим лицима	-8,613	0,904	0,197	3,24

Табела 5.7 Процена ефеката конверзије у истраживању [Persaud et al. \(2000\)](#)

Раскрснице	Број раскрсница	Број незгода након конверзије		Очекивани број незгода након конверзије		Процент смањења броја незгода	
		Све незгоде	Незгоде са настр. лицима	Све незгоде	Незгоде са настр. лицима	Све незгоде	Незгоде са настр. лицима
Једнотрачне, градске, хориз. и верт. сигнализација	9	44	4	112,6	16,6	61%	77%
Једнотрачне, приградске, хориз. и верт. сигнализација	5	44	5	105,2	26,9	58%	82%
Вишетрачне, градске, хориз. и верт. сигнализација	7	131	-	153,8	-	15%	-
Градске, семафор	3	73	4	106,7	12,0	32%	68%
Све раскрснице	24	292	14	478,2	57,8	39%	76%

Persaud et al. (2000) су на примеру 9 градских једнотрачних раскрсница, 5 приградских једнотрачних раскрсница, 7 градских вишетрачних раскрсница (на којима је саобраћај пре конверзије регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом) и 3 градске раскрснице на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан семафорима. SPF параметри из модела (Формула 4.34) овог истраживања приказани су у Табели 4.7, а резултати у Табели 4.8, при чему је процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода на свим конвертованим раскрсницама за 39% и незгода са настрадалим лицима за 76% након конверзије.

У истраживању MDOT (2011), применим ЕБ метода и модела приказаног у Формули 4.35 утврђено је смањење броја саобраћајних незгода након конверзије од 51% за све саобраћајне незгоде и 87% за незгоде са настрадалим лицима. SPF параметри из модела овог истраживања приказани су у Табели 4.9, а резултати у Табели 4.10.

$$P(\text{незгода/година}) = e^{\alpha} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Главни}}^{\beta_1} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Споредни}}^{\beta_2} \quad (\text{Формула 4.35})$$

Табела 5.8 Израчунати SPF параметри у истраживању MDOT (2011)

Раскрснице	α	β_1	β_2	k
Све СН				
3-краке, хор. и верт. сигнализација, градске	-5,35	0,34	0,28	0,46
3-краке, хор. и верт. сигнализација, приградске	-12,37	1,22	0,27	0,53
3-краке, семафори, приградске	-6,57	0,66	0,20	0,70
4-краке, хор. и верт. сигнализација, градске	-3,12	0,27	0,16	0,60
4-краке, хор. и верт. сигнализација, приградске	-12,37	1,22	0,27	1,09
4-краке, семафори, приградске	-6,57	0,66	0,20	0,51
СН са настрадалим лицима				
3-краке, хор. и верт. сигнализација, градске	-8,45	0,49	0,39	0,36
3-краке, хор. и верт. сигнализација, приградске	-13,68	1,22	0,27	0,50
3-краке, семафори, приградске	-7,83	0,75	0,14	0,50
4-краке, хор. и верт. сигнализација, градске	-4,35	0,29	0,19	0,34
4-краке, хор. и верт. сигнализација, приградске	-13,76	1,22	0,27	0,80
4-краке, семафори, приградске	-7,83	0,75	0,14	0,74

Табела 5.9 Процена ефеката конверзије у истраживању [MDOT \(2011\)](#)

Раскрснице	Број раск.	Број незгода након конверзије		Очекивани број незгода након конверзије		Процент смањења броја незгода	
		Све незгоде	Незгоде са настр. лицима	Све незгоде	Незгоде са настр. лицима	Све незгоде	Незгоде са настр. лицима
Све раскрснице	39	962	80	714,32	136,68	51%	87%
Све раскрснице осим тротрачних	36	464	47	462,49	95,80	57%	86%
Хориз. и верт. сигнализација	19	294	33	262,19	58,42	42%	84%
Семафорисане осим тротрачних	11	117	9	149,01	29,77	82%	100%
Тротрачне семафорисане	3	498	33	251,83	40,88	0%	100%

[Qin et al. \(2013\)](#) су такође користећи ЕБ метод испитивали ефективност конверзије 30 кружних раскрсница у Висконсину, САД. Модел који су применили приказан је у Формули 4.36.

$$P(\text{незгода/година}) = \alpha \cdot \text{ПГДС}_{\text{Главни}}^{\beta 1} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Споредни}}^{\beta 2} \quad (\text{Формула 4.36})$$

Резултати које су добили [Qin et al. \(2013\)](#) указују на смањење укупног броја саобраћајних незгода од 9% након конверзије, док је смањење броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима процењено на 52%. Погинулих лица у саобраћајним незгодама након конверзије није било.

[Vuјanić et al. \(2016\)](#) су на примеру 15 двотрачних кружних раскрсница у граду Нишу, применом ЕБ метода, користећи модел приказан у Формули 4.36, испитали ефективност конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице. У Табели 4.11 приказани су израчунати SPF параметри. Истраживање [Vuјanić et al. \(2016\)](#) показало је смањење укупног броја саобраћајних незгода након конверзије за 76%, док је број саобраћајних незгода са настрадалим лицима био смањен за 80%. Укупни резултати истраживања приказани су у Табели 4.12.

Табела 5.10 Израчунати SPF параметри у истраживању [Vužanić et al. \(2016\)](#)

Тип раскрснице	Врста података	α	β_1	β_2	k
Трокраке	Све СН	0,000004	0,691	0,095	4,70
	СН са наст. лицима	0,000002	0,696	0,073	4,82
Четворокраке	Све СН	0,000003	0,331	0,561	5,80
	СН са наст. лицима	0,000049	0,010	0,481	5,57

Табела 5.11 Резултати истраживања [Vužanić et al. \(2016\)](#)

Раскрснице	Број раскрсница	θ		% разлике	
		Све незгоде	Незгоде са настр. лицима	Све незгоде	Незгоде са настр. лицима
Трокраке	7	0,16	0,09	84%	92%
Четворокраке	8	0,30	0,28	70%	72%
Хориз. и верт. сигнализација	10	0,28	0,20	72%	80%
Семафорисане	5	0,19	0,19	81%	81%
Све раскрснице	15	0,24	0,20	76%	80%

5.2. ЕФЕКТИ ПРОЦЕЊЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА КОЈА СУ КОРИСТИЛА ДРУГЕ МЕТОДЕ

[De Brabander and Vereeck \(2007\)](#) су спровели истраживање на 95 конвертованих раскрсница у Фландрији, Белгија. Раскрснице су биле груписане по брзинским ограничењима на прилазима (главни правац x споредни правац) и по начину управљања саобраћајем пре конверзије (семафори или хоризонтална и вертикална сигнализација). Број раскрсница по групама са бројем незгода са настрадалим лицима пре конверзије приказан је у Табели 4.13.

У истраживању [De Brabander and Vereeck \(2007\)](#) су користили мета-анализу и дошли до резултата који су приказани у Табели 4.14. На свим раскрсницама укупно смањење броја незгода са настрадалим лицима је процењено на 39% (99% ИП [од

31% до 45%]). Показало се да конверзија боље ефекте има на раскрсницама на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом (смањење од 44%) него на раскрсницама на којима се саобраћајем пре конверзије управљало семафорима (смањење од 32%). Такође, показало се да конверзија има боље ефекте код раскрсница са већим брзинским ограничењима на прилазима.

Табела 5.12 Приказ броја раскрсница и саобраћајних незгода са настрадалим лицима пре конверзије истих у истраживању [De Brabander and Vereeck \(2007\)](#)

		Ограничење брзине кретања возила на прилазима кружној раскрсници у km/h (главни правац x споредни правац)					
		50 x 50	70 x 50	70 x 70	90 x 50	90 x 90	Укупно
Све раскрснице	Бр. раскрсн.	45	12	8	11	19	95
	Бр. незгода	899	298	161	223	544	2125
Семафори пре	Бр. раскрсн.	14	5	6	2	6	33
	Бр. незгода	398	212	112	47	265	1034
Хор. и верт. сигнал. пре	Бр. раскрсн.	31	7	2	9	13	62
	Бр. незгода	501	86	49	176	279	1091

Табела 5.13 Приказ резултата добијених у истраживању [De Brabander and Vereeck \(2007\)](#)

	Ограничење брзине у km/h (главни правац x споредни правац)					
	50 x 50	70 x 50	70 x 70	90 x 50	90 x 90	Укупно
Са настрадалим лицима све	43%	4%	55%	62%	49%	39%
Семафори пре	36%	-4%	86%	43%	40%	32%
Хор. и верт. сигнал. пре	45%	21%	-2%	69%	56%	44%
Са лако повређенима све	3%	-38%	65%	34%	30%	17%
Семафори пре	26%	-117%	66%	75%	37%	13%
Хор. и верт. сигнал. пре	14%	23%	61%	34%	30%	20%
Са теже повређенима све	44%	6%	47%	50%	40%	38%
Семафори пре	37%	-1%	83%	30%	20%	31%
Хор. и верт. сигнал. пре	47%	18%	-25%	56%	60%	46%

У студији која је претходила студији из 2007. године [De Brabander et. al \(2005\)](#) су на сличан начин (само за различит временски период) испитивали ефективност конверзије посматрајући све саобраћајне незгоде и дошли до резултата приказаних у Табели 4.15. На свим раскрсницама забележено је укупно смањење броја свих саобраћајних незгода за 34% (99% ИП [од 28% до 43%]).

Табела 5.14 Приказ резултата добијених у истраживању [De Brabander et. al \(2005\)](#)

	Ограничење брзине у km/h (главни правац x споредни правац)					
	50 x 50	70 x 50	70 x 70	90 x 50	90 x 90	Укупно
Процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода	39%	15%	42%	55%	18%	34%

[Isebrands \(2009 ; 2011\)](#) је на примеру 17 двотрачних (четворокраких и петокраких) раскрсница, на приградским главним саобраћајницама, које су конвертоване у кружне у САД проценила смањење укупног броја саобраћајних незгода за 52% и незгода са настрадалим лицима за 84% након конверзије.

[Jensen \(2012\)](#) је спровео опсервационо истраживање пре и после на примеру 332 конвертоване раскрснице у Данској. Резултати истраживања указују на смањење броја свих саобраћајних незгода за 27%, односно броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 47%. Процењено је да је број настрадалих лица смањен за 60%. Сви резултати су статистички значајни, али је већина хетерогена, што значи да се не могу генерализовати. Приказ укупних добијених резултата дат је у Табели 4.16.

Табела 5.15 Приказ укупних резултата добијених у истраживању [Jensen \(2012\)](#)

Тип података	Процењени ефекат	Резултат значајан?	Резултат хомоген?
Незгоде са настрадалим лицима	-47%	ДА	НЕ
Све незгоде	-27%	ДА	НЕ
Погинула лица	-87%	ДА	ДА
Тешко повређена лица	-58%	ДА	НЕ
Лако повређена лица	-59%	ДА	НЕ
Сва настрадала лица	-60%	ДА	НЕ

У својој студији [Jensen \(2012\)](#) је испитивао и ефекте које је конверзија имала на краћи али и на дужи рок. Из Табеле 4.17 може се видети да је непосредно након конверзије приметан велики пораст броја саобраћајних незгода у којима је учествовало само једно возило, а да исти опада са временом. Када је реч о броју незгода са више учесника (два возила, возило-пешак, возило-бициклиста и слично), ефекти су стабилни током времена, а занимљива чињеница је да број настрадалих лица у незгодама са више учесника опада у току времена, што само значи да су последице саобраћајних незгода са више учесника на кружним раскрсницама све блаже у годинама након конверзије.

Табела 5.16 Приказ процењених ефеката конверзије по годинама и типу незгода, добијених у истраживању [Jensen \(2012\)](#)

Тип података	Процењени ефекат у годинама након конверзије			
	Прва година	Друга година	Од треће до пете године	Од шесте до девете године
Незгоде са једним возилом, урбано подручје	+162%	+141%	+126%	+75%
Незгоде са једним возилом, рурално подручје	+378%	+305%	+196%	+171%
Незгоде са више учесника, урбано подручје	-11%	-28%	-25%	-15%
Незгоде са више учесника, рурално подручје	-71%	-79%	-72%	-77%

[Jensen \(2013\)](#) је спровео мета-анализу користећи резултате 19 различитих студија које су се бавиле истраживањем безбедносних ефеката након конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице. У Табели 4.18 приказани су збирни резултати истраживања.

Резултати истраживања [Jensen \(2013\)](#) недвосмислено указују на позитивне безбедносне ефекте које конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице има. Укупно смањење броја свих саобраћајних незгода

процењено је на 43%, саобраћајних незгода са повређеним лицима на 59%, док је укупно смањење броја повређених лица процењено на 70%.

У Табели 4.18 се види да су ефекти конверзије бољи на раскрсницама у руралним подручјима него код оних у урбаним подручјима. Овакви резултати нису изненађујући с обзиром да су студије попут [Hydén and Várhelyi \(2000\)](#), [De Brabander et al. \(2005\)](#) и [Jensen \(2012\)](#) показале да на раскрсницама које формирају саобраћајнице са већим дозвољеним брзинама кретања, конверзија има боље ефекте него на оним са мањим дозвољеним брзинама кретања.

Табела 5.17 Приказ резултата добијених у истраживању [Jensen \(2013\)](#)

Раскрснице	Тип података	Процењени ефекат	95 % интервал поверења
Све	Незгоде са погинулим лицима	-77 %	-88 % ; -57 %
	Незгоде са повређеним лицима	-59 %	-65 % ; -52 %
	Незгоде са матер. штетом	-25 %	-35 % ; -14 %
	Све незгоде	-43 %	-48 % ; -37 %
	Погинула лица	-83 %	-91 % ; -68 %
	Тешко повређена лица	-71 %	-80 % ; -60 %
	Лако повређена лица	-69 %	-77 % ; -59 %
	Сва повређена лица	-70 %	-77 % ; -62 %
У урбаним подручјима	Све незгоде	-24 %	-39 % ; -5 %
	Сва повређена лица	-61 %	-76 % ; -39 %
У руралним подручјима	Све незгоде	-54 %	-60 % ; -47 %
	Сва повређена лица	-83 %	-86 % ; -79 %
Хор. и верт. сигнализација пре	Све незгоде	-44 %	-50 % ; -37 %
	Сва повређена лица	-70 %	-78 % ; -61 %
Семафори пре	Све незгоде	-30 %	-38 % ; -20 %
	Сва повређена лица	-48 %	-60 % ; -32 %
Трокраке	Све незгоде	-24 %	-48 % ; +10 %
	Сва повређена лица	-37 %	-52 % ; -18 %
Четворокраке	Све незгоде	-41 %	-52 % ; -27 %
	Сва повређена лица	-72 %	-78 % ; -64 %
Вишекраке	Све незгоде	-26 %	-51 % ; +12 %
	Сва повређена лица	-3 %	-49 % ; +88 %
Једнотрачне	Све незгоде	-45 %	-57 % ; -30 %
Вишетрачне	Све незгоде	-26 %	-41 % ; -8 %

У Табели 4.18 се такође види да су ефекти конверзије за 14-22% бољи на раскрсницама на којима је пре конверзије саобраћај био регулисан хоризонталном и вертикалном саобраћајном сигнализацијом у односу на оне на којима се пре конверзије саобраћајем управљало семафорима. Показало се и да најбоље ефекте носи конверзија четворокраких раскрсница (боље и од трокраких и од оних са пет и више кракова). Такође, процењено је да боље ефекте по безбедност саобраћаја има конверзија код једнотрачних кружних раскрсница у односу на вишетрачне кружне раскрснице за 19%. [Fortuijn \(2005\)](#) је у својој студији показао да су ефекти конверзије раскрсница у вишетрачне турбо кружне раскрснице слични ефектима конверзије у једнотрачне раскрснице.

У Белгији је, користећи опсервациони метод пре и после, на примеру 122 кружне раскрснице, [Antoine \(2005\)](#) утврдио смањење броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 42% након конверзије, а најнефективнија конверзија се показала на раскрсницама у руралним подручјима.

[Elvik \(2017\)](#) је спровео мета-анализу користећи 154 резултата (процењених ефеката конверзије) из 44 различите студије, рађених у периоду од 1975. до 2014. године и дошао до резултата који указују на смањење броја саобраћајних незгода са погинулим лицима од 65%, односно броја саобраћајних незгода са повређеним лицима од 40% након конверзија. Показало се да је процењено смањење броја незгода са настрадалим лицима стабилно у дужем временском периоду, као и да су процењени ефекти бољи у Северној Америци и Аустралији него у осталим регионима.

5.3. ЕФЕКТИ ПРОЦЕЊЕНИ У ИСТРАЖИВАЊИМА У ВЕЗИ РАЊИВИХ УЧЕСНИКА У САОБРАЋАЈУ

Када је реч о рањивим учесницима у саобраћају, више истраживања је спроведено у којима су се рачунали ефекти конверзија раскрсница са директним

укрштањем токова у кружне раскрснице са аспекта безбедности бициклиста или пешака. Међутим, резултати ових истраживања се поприлично разликују па је немогуће изразити неко коначно мишљење о утицају које конверзија има на безбедност рањивих учесника у саобраћају. [Sakshaug et al. \(2010\)](#) такође истичу чињеницу да још увек није сасвим јасно како и у којој мери кружне раскрснице утичу на безбедност бициклиста.

[Schoon and Van Minnen \(1993\)](#) су на узорку од 185 раскрсница у Холандији обичним поређењем пре и после (у којем нису урачунате евентуалне промене у условима саобраћаја) утврдили смањење броја саобраћајних незгода након конверзије од 30% за саобраћајне незгоде са бициклистима, 63% за саобраћајне незгоде са пешацима, и укупним смањењем од 47% за све саобраћајне незгоде.

[Hydén and Várhelyi \(2000\)](#) су на примеру 21 конвертоване раскрснице у граду Ваксјо (*Växjö*) у Шведској опсервацијом пре и после проценили смањење боја саобраћајних незгода са настрадалим лицима у којима су учествовали пешаци за 80%, односно у онима у којима су учествовали бициклисти за 60%.

[Brude and Larsson \(2000\)](#) су спровели истраживање на примеру 72 конвертоване раскрснице у Шведској користећи ЕБ метод. Када је реч о незгодама са бициклистима, процењено је смањење од 21% незгода на једнотрачним раскрсницама, односно повећање од 112% на вишетрачним раскрсницама. Када је реч о незгодама са пешацима, процењено је смањење од 79% незгода на једнотрачним раскрсницама, односно повећање од 12% на вишетрачним раскрсницама.

[Stone et al. \(2002\)](#) су за предвиђање броја саобраћајних незгода са пешацима креирали посебан модел заснован на претходном истраживању приказан у Формули 4.37.

$$C = (4,56 \cdot Peds + 2 \cdot VPH - 3 \cdot Dist) \cdot 10^{-4} \quad (\text{Формула 4.37})$$

где је C – предвиђени годишњи број незгода возило-пешак, $Peds$ – број пешака на једном краку раскрснице у вршном часу, VPH – број возила у конфликтним токовима у вршном часу и $Dist$ – највећа дужина пешачког прелаза на раскрсници. На тај начин предвиђен годишњи број незгода возило-пешак је 1,28, док је забележен број ових незгода 1,37. То значи да је процењено смањење броја саобраћајних незгода са пешацима од 7%.

[De Brabander and Vereeck \(2007\)](#) су на примеру 45 конвертованих раскрсница са ограничењем брзине од 50 km/h на прилазима, у Фландрији, Белгија, применом мета-анализе проценили укупно смањење броја саобраћајних незгода са рањивим учесницима у саобраћају од 14% (95% ИП [од -8% до 32%]). На раскрсницама на којима се саобраћајем пре конверзије управљало семафорима (14 њих) забележено је повећање броја саобраћајних незгода са рањивим учесницима у саобраћају од 28% (95% ИП [од -100% до 18%]), док је на раскрсницама на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом забележено смањење броја саобраћајних незгода са рањивим учесницима у саобраћају од 27% (99% ИП [од 3% до 44%])

[Daniels et al. \(2008\)](#) су на примеру 91 конвертоване раскрснице у Белгији, мета-анализом утврђивали ефекте конверзије на бициклисте. Они су дошли до резултата који указују на повећање броја саобраћајних незгода са бициклистима од 27% за све незгоде (95% ИП [од 0% до 61%]), односно повећања од 46% за незгоде са настрадалим лицима (95% ИП [од -1% до 110%]).

[Jensen \(2012\)](#) је у свом опсервационом истраживању пре и после на примеру 332 конвертоване раскрснице у Данској испитивао и ефекте конверзије на рањиве учеснике у саобраћају, а процењени ефекти су приказани у Табели 4.19. Када је реч о незгодама са пешацима, забележено је смањење свих броја незгода, односно броја незгода са настрадалим лицима за 39%, односно 36%, респективно. С друге стране, број саобраћајних незгода са бициклистима и мотоциклистима је порастао, тако да је процењен укупан број саобраћајних незгода са бициклистима већи за 65%, а са

мотоциклистима за 46%. Број незгода са настрадалим лицима је већи за 31% код бициклиста, односно за 30% код мотоциклиста.

Табела 5.18 Приказ ефеката конверзије на рањиве учеснике у саобраћају, добијених у истраживању [Jensen \(2012\)](#)

Тип података	Са пешацима	Са бициклистима	Са мотоциклистима
Незгоде са настрадалим лицима	-36%	+31%	+30%
Све незгоде	-39%	+65%	+46%
Погинула лица	-100%	-49%	-62%
Тешко повређена лица	+2%	+10%	+25%
Лако повређена лица	-6%	+80%	+50%
Сва настрадала лица	-15%	+40%	+30%

[Jensen \(2013\)](#) је применом мета-анализе на бази резултата студија у Белгији, Холандији, Шведској и Данској утврдио да је на кружним раскрсницама код којих се бициклички саобраћај одвијао заједно са моторним саобраћајем, након конверзије дошло до пораста броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима у којима су учествовали бициклисти за 33% (95% ИП [од 12% до 58%]). С друге стране, код раскрсница са саобраћајним тракама за бициклисте, дошло је до смањења броја незгода са настрадалим лицима у којима су учествовали бициклисти за 26% (95% ИП [од -56% до 24%]), док је смањење од 84% (95% ИП [од -91% до -69%]) забележено за раскрсницама са потпуно одвојеним бицикличким стазама.

6. АНАЛИЗА ЕФЕКТА КОНВЕРЗИЈЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ ТОКОВА У КРУЖНЕ РАСКРСНИЦЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Како би се утврдили ефекти конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице у Републици Србији спроведено је истраживање на узорку од 37 раскрсница приказаних у Табели 5.1.

Табела 6.1 Раскрснице са директним укрштањем токова које су конвертоване у кружне раскрснице коришћене у истраживању

Бр.	Град	Раскрсница	Број трака	Број прилаза	Управљ. пре конверзије	Подручје
1	Ниш	Синђелићев Трг и Николе Пашића	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Градско
2	Ниш	Код наплатне рампе Ниш-југ	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
3	Ниш	Испред улаза у КПД	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
4	Ниш	Димитрија Туцовића и Петра Аранђеловића	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
5	Ниш	Бул. Цара Константина и Булевар Немањића	2	3	Семафор	Градско
6	Ниш	Бул. Цара Константина и Српских јунака	2	3	Семафор	Приградско
7	Ниш	Булевар 12. фебруар и Ваздухопловаца	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
8	Ниш	На улазу у насеље 9.мај	2	4	Семафор	Приградско
9	Ниш	Испред улаза у Метро	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
10	Ниш	Димитрија Туцовића и Бубањских хероја	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
11	Ниш	Византијски Булевар и Бранка Миљковића	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
12	Ниш	Прибојска у Комрену	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
13	Ниш	Булевар Немањића, Сремска и Византијски Булевар	2	4	Семафор	Градско

14	Ниш	Булевар Немањића и Војводе Мишића	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
15	Ниш	Сомборски булевар и Студеничка	2	4	Семафор	Градско
16	Ниш	Булевар Цара Константина и скретање за ЕИ	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
17	Бор	Зеленог Булевара, Николе Пашића и Моше Пијаде	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Градско
18	Бор	Николе Пашића и Мајданпечке	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
19	Бор	Шистекове, Ђорђа Вајферта и Васић Милана Перице и Трг ослобођења	2	4	Семафор	Градско
20	Бор	Моше Пијаде, Ђорђа Вајферта и Николе Пашића	2	3	Хор. и верт. сигнализација	Градско
21	Бор	Генерала Павла Илића и Моше Пијаде	2	4	Семафор	Градско
22	Бор	Зеленог Булевара, Тимочке дивизије, Николе Коперника и Наде Димић	2	4	Семафор	Приградско
23	Чачак	Девет Југовића, Кужељеве и Железничке	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
24	Чачак	Светог Саве и Немањине	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
25	Чачак	Београдске и Првог октобра	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
26	Суботица	Динка Шимуновића, Моравске и Ивана Антуновића	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
27	Суботица	Браће Радић и Бајнатске	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
28	Суботица	Партизанских база, Педесет прве дивизије, Северне и Кирешке	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
29	Суботица	Алеје Маршала Тита, Димитрија Туцовића, Суботе Врлића и Трга Синагоге	1	4	Семафор	Градско
30	Суботица	Шандора Петефија, Трга Лајоша Кошута и Трга Жртва фашизма	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
31	Суботица	Штросмајерове, Матка Вуковића и Рудић	1	4	Семафор	Градско
32	Суботица	Педесет прве дивизије и Мајшанског пута	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско
33	Нови Сад	Приморске и Сентандрејског пута	2	4	Семафор	Приградско
34	Зрењанин	Новосадског пута, Булевара Вељка Влаховића и Меше	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско

		Селимовића, Богдана Годосина				
35	Зрењанин	Булевар Милутина Миланковића, Обала Соње Маринковић и Бригадира Ристића	2	4	Семафор	Градско
36	Зрењанин	Жарка Зрењанина, Македонска и Веселина Маслеше	1	4	Хор. и верт. сигнализација	Градско
37	Крагујевац	Лепеничког Булевар и Миодрага Влајића Шукe	2	4	Хор. и верт. сигнализација	Приградско

Приликом вршења избора раскрсница са директним укрштањем токова које су конвертоване у кружне, које су биле предмет истраживања, вођено је рачуна да исте буду у градовима на целој територији Републике Србије. Тако је идентификовано 7 градова са највише кружних раскрсница у различитим крајевима Републике Србије и то: Ниш, Бор, Суботица, Зрењанин, Нови Сад, Чачак и Крагујевац. У предметним градовима постоји већи број кружних раскрсница, али је на крају укупно 37 њих могло бити предмет истраживања. Одређени број раскрсница је искључен из истраживања углавном из два разлога:

- Раскрснице нису изведене у складу са међународним стандардима и правилима дефинисаним у Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији, у одељку 5.3. (ЈП „Путеви Србије“, 2012), тј. није била обезбеђена одговарајућа дефлексија, и самим тим нису биле упоредиве са другим раскрсницама, нити су се могле груписати при рачунању ефеката група раскрсница;
- Раскрснице су конвертоване у периоду за који нису били доступни потребни подаци.

6.1. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Као основни метод истраживања у циљу утврђивања ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице у Републици Србији употребљен је Емпиријски Бајесов метод детаљно описан у поглављу 4.1.1. ове докторске дисертације.

Индикатори који су у истраживању употребљени као улазни параметар су:

- Просечан годишњи број саобраћајних незгода односно настрадалих лица на 10.000 становника на предметном подручју у којем се налази раскрсница у посматраном временском периоду;
- Укупан просечан годишњи дневни саобраћај у раскрсници у посматраном временском интервалу

На основу тога, креирана је Функција безбедносних перформанси (SPF) која је приказана је у Формули 5.1.

$$P(\text{незгода/година}) = \alpha \cdot \text{Просек}^{\beta_1} \cdot \text{ПГДС}_{\text{Тотал}}^{\beta_2} \quad (\text{Формула 5.1})$$

где су α , β_1 и β_2 – параметри добијени применом регресионе анализе у процесу калибрације модела, *Просек* – просечан годишњи број саобраћајних незгода односно настрадалих лица на 10.000 становника на одређеном подручју у посматраном временском периоду и *ПГДС_{Тотал}* – укупан процењен просечан годишњи дневни саобраћај у раскрсници у посматраном временском интервалу.

Већина модела који су раније примењивани у истраживањима овог типа су за контролни параметар у Функцији безбедносних перформанси (SPF) користили само ПГДС (Bonneson and McCoy, 1993 ; Vogt and Bared, 1998 ; Hauer et al., 2002), било као укупни ПГДС или раздвојен на ПГДС на главном и ПГДС на споредном правцу који формирају раскрсницу. Употреба ПГДС-а при оваквим анализама као основног

контролног фактора јесте неопходна како би била укалкулисана корелација између броја саобраћајних незгода и обима саобраћаја (Brüde and Larsson, 2000). Међутим, примена само ПГДС-а као контролног фактора није увек довољна како би се утврдили стварни ефекти конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

Наиме, може се десити да на неком подручју у периоду истраживања буду забележене различите околности које могу директно утицати на смањење или повећање броја саобраћајних незгода и настрадалих лица. Тако се на пример број саобраћајних незгода и настрадалих лица може редуковати усвајањем и применом нових закона и подзаконских аката који регулишу област безбедности саобраћаја, спровођењем различитих кампања на локалном или националном нивоу, појачаним деловањем саобраћајне полиције на откривању саобраћајних прекршаја и друго. Исто тако, лежерношћу власти, медија и заједнице у целини и небригом о безбедности саобраћаја, као и утицаја низа других фактора може се догодити да број саобраћајних незгода и настрадалих лица у неком временском периоду расте. Из наведених разлога, мора се узети у обзир чињеница да применом само ПГДС-а, добијени резултати не би осликавали само ефекте конверзије већ би у исте били урачунати и други споредни ефекти. Зато би било значајно да се приликом калибрације модела употреби још један контролни параметар који би узео у обзир и ове споредне ефекте.

У овом истраживању за још један контролни параметар употребљен је просечан годишњи број саобраћајних незгода односно настрадалих лица на 10.000 становника на предметном подручју у периоду пре и након конверзије сваке појединачне раскрснице с обзиром да овај број осликава стање безбедности саобраћаја на датом подручју и да промене у броју саобраћајних незгода и настрадалих лица на датом подручју могу указати на споредне ефекте претходно описане.

SPF параметри су израчунати на основу података са 74 контролне раскрснице. Наиме, за сваку од анализираних раскрсница, у циљу добијања што прецизнијих

результата, коришћене су по две контролне раскрснице. Подаци о контролним раскрсницама приказани су у Прилогу 1 ове докторске дисертације.

Подаци о свим саобраћајним незгодама и настрадалим лицима на анализираним и контролним раскрсницама су добијени из Јединственог информационог система (ЈИС) Управе саобраћајне полиције. Подаци су били доступни за период 2003-2015 за град Ниш и за период од 2006-2015 за све остале предметне градове.

Просечан годишњи број саобраћајних незгода и настрадалих лица на 10.000 становника израчунат је на основу података о броју саобраћајних незгода и настрадалих лица по годинама и месецима у предметним градовима преузетих из Интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја, Агенције за безбедност саобраћаја, и података о броју становника у предметним градовима према попису становништва из 2011. године преузетих из Извештаја [РЗС \(2012\)](#). У Табели 5.2 приказан је број становника у предметним градовима према попису из 2011. године, а у Табели 5.3 дат је приказ просечног броја саобраћајних незгода и настрадалих лица на 10.000 становника

Табела 6.2 Број становника у предметним градовима према попису из 2011. године

Град	Број становника
Нови Сад	341.625
Ниш	260.237
Крагујевац	179.417
Суботица	141.554
Зрењанин	123.362
Чачак	115.337
Бор	48.615

Генерални проблем за овај вид истраживања представља недостатак података о ПГДС-у, који су неопходни приликом спровођења оваквих истраживања. У Републици Србији постоје електронски бројачи саобраћаја на државним путевима I и II реда, а подаци о ПГДС-у са ових бројача су доступни на интернет сајту Ј.П.

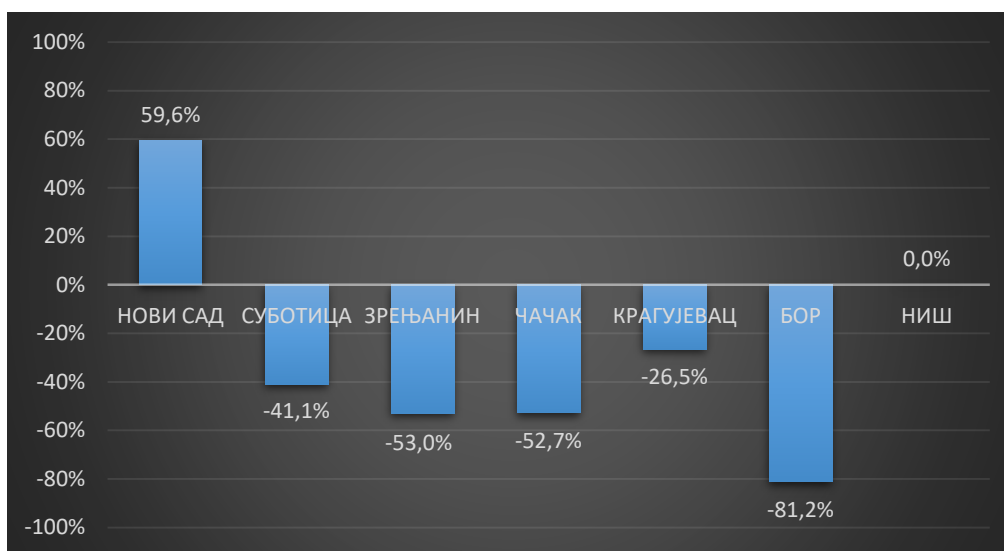
„Путеви Србије“ за период од 2005. године. Међутим, проблем представљају подаци о ПГДС-у у градовима, где се не врши континуирано бројање саобраћаја, већ само спорадична бројања и то само у неким градовима.

Табела 6.3 Подаци о просечном годишњем броју саобраћајних незгода и настрадалих лица на 10.000 становника у предметним градовима у периоду истраживања

Бр.	Град	Просечан годишњи број на 10.000 становника		
		Све СН	СН са настрадалим лицима	Настрадала лица
1	Ниш	78,08	24,40	34,16
2	Бор	97,03	38,82	54,72
3	Чачак	101,18	38,22	56,15
4	Суботица	63,90	23,25	32,64
5	Нови Сад	183,86	50,34	71,00
6	Зрењанин	68,64	35,94	55,15
7	Крагујевац	74,25	30,45	42,57

На проблем недостатка података о ПГДС-у се наишло и у овом истраживању. Подаци о ПГДС-у су били доступни само за град Ниш, а исти су преузети из истраживања [Vujanic et al. \(2016\)](#) на основу података добијених од стране Дирекције за изградњу града Ниша и података добијених бројањем саобраћаја. Како је податак о ПГДС-у био неопходан за формирање модела и прорачун ефеката конверзије раскрсница, извршена је процена ПГДС-а на раскрсницама у другим градовима на основу података о ПГДС-у у граду Нишу. ПГДС на раскрсницама у осталим градовима процењен је тако што су најпре идентификоване раскрснице (односно улице које формирају раскрснице) у тим градовима сличне онима у Нишу (исти број трака, иста категорија саобраћајнице, сличан положај у односу на центар града и слично). Након идентификације сличних раскрсница у граду Нишу, ПГДС је на анализираним и контролним раскрсницама у осталим градовима процењиван тако што се ПГДС на раскрсници у Нишу идентификованој као слична умањиван односно увећаван за разлику у проценту просечног броја регистрованих возила у граду у којем се раскрсница налази у односу на просечан број регистрованих возила у Нишу.

На Слици 5.1 приказан је проценат просечног броја регистрованих возила у осталим предметним градовима у односу на просечан број регистрованих возила у граду Нишу. Подаци о броју регистрованих возила у предметним градовима преузети су из Интегрисане базе података о обележјима безбедности саобраћаја, Агенције за безбедност саобраћаја.



Слика 6.1 Процент разлике просечног броја регистрованих возила у предметним градовима у односу на просечан број регистрованих возила у граду Нишу према подацима [АБС \(2017\)](#)

Сви улазни подаци коришћени у истраживању за сваку анализирану раскрсницу приказани су у Прилогу 2 ове докторске дисертације. SPF параметри за модел примењен у оквиру овог истраживања израчунати су применом стандардне вишеструке линеарне регресије у програму *IBM SPSS Statistics 22*, посебно за једнотрачне, двотрачне, трокраке и четворокраке раскрснице као и одвојено за све саобраћајне незгоде, за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и за настрадала лица. С обзиром да у истраживању није било једнотрачних трокраких раскрсница, за њих нису рачунати SPF параметри. У Табели 5.4. приказани су сви израчунати SPF параметри (α , β_1 и β_2), као и дисперзиони параметар – k .

У циљу верификације разлика између резултата добијених применом новог модела који поред ПГДС-а узима у обзир и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица и раније употребљаваних модела који узимају у обзир само ПГДС, поред модела приказаног у Формули 5.1 при истраживању је примењен и модел који су применили и [Rodegerdts et al. \(2007\)](#), а који је приказан у Формули 5.2. На тај начин су израчунати SPF параметри, (α и β) као и дисперзиони параметар – k , који су приказани у Табели 5.5.

Табела 6.4 Израчунати SPF параметри за модел који узима у обзир просек саобраћајних незгода и настрадалих лица

Тип раскрснице		Врста података	α	β_1	β_2	k
Једно-трачне	4-краке	Све СН	0,000460	0,465	0,590	2,27
		СН са настрадалим лицима	0,001811	0,651	0,351	1,80
		Настрадала лица	0,001490	0,634	0,371	1,84
Дво-трачне	3-краке	Све СН	0,000069	0,348	0,775	2,66
		СН са настрадалим лицима	0,000072	0,517	0,652	1,91
		Настрадала лица	0,000303	0,314	0,596	1,74
	4-краке	Све СН	0,009410	0,321	0,381	1,82
		СН са настрадалим лицима	0,009647	0,005	0,427	1,71
		Настрадала лица	0,013654	0,024	0,425	1,71

$$P(\text{незгода/година}) = \alpha \cdot \text{ПГДС}_{\text{Тотал}}^{\beta} \quad (\text{Формула 5.2})$$

Табела 6.5 Израчунати SPF параметри за модел који узима у обзир само ПГДС

Тип раскрснице		Врста података	α	β	k
Једно-трачне	4-краке	Све СН	0,000322	0,590	2,27
		СН са настрадалим лицима	0,001556	0,351	1,80
		Настрадала лица	0,015216	0,371	1,84
Дво-трачне	3-краке	Све СН	0,000323	0,775	2,66
		СН са настрадалим лицима	0,000412	0,652	1,91
		Настрадала лица	0,000957	0,596	1,74
	4-краке	Све СН	0,040118	0,381	1,82
		СН са настрадалим лицима	0,009819	0,427	1,71
		Настрадала лица	0,014997	0,425	1,71

6.2. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Сви израчунати елементи потребни за процену ефективности конверзије анализираних раскрсница, сумирани су и приказани у Прилогу 3 ове докторске дисертације. У Прилогу 3 је поред тога приказан и апсолутни показатељ разлика у безбедности раскрсница са директним укрштањем токова и кружних раскрсница (δ) који представља разлику броја саобраћајних незгода који се могао очекивати на раскрсницама у периоду након конверзије да нису конвертоване у кружне и броја незгода које су се догодиле у том периоду. Процењено је да је на свим једнотрачним анализираним кружним раскрсницама у периоду након конверзије било 22 саобраћајне незгоде мање у односу на број незгода који би се догодио у истом периоду да раскрснице нису конвертоване у кружне, од чега је 11 незгода са настрадалим лицима, као и 12 настрадала лица мање.

Када је реч о двотрачним кружним раскрсницама, процењено је да је у периоду након конверзије било 117 саобраћајних незгода мање у односу на број незгода који би се догодио у истом периоду да раскрснице нису конвертоване у кружне, од чега је 34 незгода са настрадалим лицима, као и 67 настрадала лица мање.

Показатељ δ , као апсолутни показатељ може указати на ефекте конверзије у смислу повећања или смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица, али не може дати јасну слику о величини ефеката конверзије. Као најбољи показатељи ефеката које конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице има на безбедност у саобраћају, користе се два показатеља. Први је индекс ефективности (θ), који је апроксимативно једнак односу броја незгода које су се догодиле у периоду након конверзије и броја саобраћајних незгода који се могао очекивати на раскрсницама у периоду након конверзије да нису конвертоване у кружне. Други показатељ, најконвенционалнији, је проценат разлике тј. смањења броја саобраћајних незгода. Ови, укупни резултати истраживања по групама раскрсница приказани су у Табели 5.6.

Табела 6.6 Укупни резултати добијени у истраживању

Тип раскрснице	θ			Var(θ)			% разлике		
	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица
Једнотрачне									
Све	0,29	0,26	0,32	0,01	0,02	0,02	70,8	73,7	68,3
Семафорисане	0,31	0,31	0,37	0,02	0,05	0,05	68,5	69,3	62,8
Хор. и верт. сигнализација	0,23	0,21	0,27	0,02	0,02	0,02	76,8	78,5	73,4
Градске	0,28	0,25	0,28	0,01	0,02	0,02	72,2	74,7	71,7
Приградске	0,28	0,25	0,39	0,04	0,06	0,08	71,8	74,5	61,2
Двотрачне									
Све	0,50	0,51	0,40	0,00	0,01	0,00	49,6	49,4	60,2
Трокраке	0,68	0,67	0,56	0,02	0,07	0,04	32,3	33,4	43,7
Четворокраке	0,46	0,47	0,36	0,00	0,01	0,00	53,6	53,2	63,5
Семафорисане	0,56	0,68	0,58	0,01	0,03	0,02	44,1	31,8	41,8
Хор. и верт. сигнализација	0,47	0,39	0,29	0,00	0,01	0,00	53,4	61,3	70,6
Градске	0,50	0,40	0,35	0,00	0,01	0,01	50,2	60,1	64,7
Приградске	0,51	0,65	0,44	0,01	0,03	0,01	49,3	34,9	55,8

6.2.1. РАЗЛИКЕ У РЕЗУЛТАТИМА ДОБИЈЕНИХ ПРИМЕНОМ ДВА МОДЕЛА

Како би се проверила претпоставка да модел који узима у обзир само ПГДС не може дати потпуно прецизне резултате јер не узима у обзир и ефекте других околности које утичу на безбедност саобраћаја (поред ефеката саме конверзије), а како би се уједно и потврдила полазна хипотеза да се избором и моделовањем одговарајућих индикатора може оценити ниво ефективности конверзије раскрсница

са директним укрштањем токова у кружне раскрснице, утврђене су разлике између резултата примене два предметна модела. Поред ефеката конверзије израчунатих применом модела који узима у обзир и ПГДС и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица (приказаних у Табели 5.6), израчунати су ефекти добијени применом модела који узима у обзир само ПГДС, а који су приказани у Табели 5.7.

Табела 6.7 Резултати добијени применом модела који узима у обзир само ПГДС

Тип раскрснице	θ			Var(θ)			% разлике		
	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица
Једнотрачне - четворокраке	0,21	0,22	0,24	0,01	0,01	0,01	78,6	78,0	76,4
Двотрачне - све	0,42	0,49	0,39	0,00	0,01	0,00	57,7	51,0	60,5
Двотрачне - трокраке	0,55	0,57	0,54	0,01	0,05	0,03	45,4	42,6	45,7
Двотрачне - четворокраке	0,39	0,46	0,36	0,00	0,01	0,00	60,7	53,5	63,6

Табела 6.8 Разлике у резултатима приликом примене модела који узима у обзир и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица и модела који узима у обзир само ПГДС

Тип раскрснице	% разлике		
	СН све	СН наст.	Наст. лица
Једнотрачне - четворокраке	-7,8	-4,3	-8,1
Двотрачне - све	-8,1	-1,6	-0,3
Двотрачне - трокраке	-13,1	-9,1	-2,1
Двотрачне - четворокраке	-7,1	-0,3	-0,1

Поређењем резултата добијених применом модела који узима у обзир и ПГДС и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица и модела који узима у обзир само

ПГДС могу се приметити разлике које су приказане у Табели 5.8, из које се може видети да разлике иду и до 13% за све саобраћајне незгоде код двотрачних трокраких кружних раскрсница. Разлике су приказане само за групе раскрсница за које су посебно израчунати SPF параметри и у свим групама приметни су мањи проценти смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у случају примене модела који узима у обзир и ПГДС и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица. Овакви резултати управо указују на чињеницу да су у ефектима добијеним применом модела који узима у обзир само ПГДС садржани и ефекти споредних околности које су утицале на опште смањење броја саобраћајних незгода.

6.2.2. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА КОД ЈЕДНОТРАЧНИХ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

За све анализиране једнотрачне кружне раскрснице индекс ефективности је 0,29 за све саобраћајне незгоде, односно 0,26 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 0,32 за настрадала лица. То практично значи да је смањење броја саобраћајних незгода на свим анализираним једнотрачним кружним раскрсницама процењено на 71% за све саобраћајне незгоде, односно 74% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 68% за настрадала лица.

У истраживању је посебно испитана ефективност конверзије код различитих група раскрсница. С обзиром да су све анализиране једнокраке раскрснице биле четворокраке, испитивање и поређење ефективности трокраких и четворокраких једнотрачних кружних раскрсница није било могуће. Из групе једнотрачних кружних раскрсница посебно је испитана ефективност раскрсница подељених у групе према начину управљања саобраћајем пре конверзије, као и према подручју на којем се налазе.

На једнотрачним кружним раскрсницама на којима се пре конверзије саобраћајем управљало уз помоћ семафора, индекс ефективности износи 0,31 како за

све саобраћајне незгоде тако и за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, док је за настрадала лица 0,37. То значи да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода, али и броја незгода са настрадалим лицима од 69% тј. смањење броја настрадалих лица од 63%. На једнотрачним кружним раскрсницама на којима је пре конверзије саобраћај регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом израчунат је индекс ефикасности од 0,23 за све саобраћајне незгоде, односно 0,21 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 0,40 за настрадала лица. Из тога произилази да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода од 77% тј. броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 79%, као и броја настрадалих лица од 60%.

Када је реч о групи једнотрачних кружних раскрсница на градском подручју, индекс ефикасности износи 0,28 за све саобраћајне незгоде, 0,25 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 0,28 за настрадала лица. То подразумева смањење броја саобраћајних незгода од 72% за све саобраћајне незгоде, 75% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 72% за настрадала лица. Код једнотрачних кружних раскрсница на приградском подручју, индекс ефикасности износи 0,28 за све саобраћајне незгоде, 0,25 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 0,78 за настрадала лица. То подразумева смањење броја саобраћајних незгода од 72% за све саобраћајне незгоде, 75% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 22% за настрадала лица.

6.2.3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА КОД ДВОТРАЧНИХ КРУЖНИХ РАСКРСНИЦА

За све анализиране двотрачне кружне раскрснице израчунат је индекс ефикасности 0,50 за све саобраћајне незгоде, односно 0,51 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 0,40 за настрадала лица. То значи да је смањење броја саобраћајних незгода на свим анализираним двотрачним кружним раскрсницама

процењено на 50% за све саобраћајне незгоде, односно 49% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 60% за настрадала лица.

Као и у случају једнотрачних кружних раскрсница, посебно је испитана ефективност конверзије код различитих група раскрсница, с тим што је код двотрачних кружних раскрсница посебно испитана и ефективност код трокраких и код четворокраких раскрсница.

На трокраким двотрачним кружним раскрсницама индекс ефективности износи 0,68 за све саобраћајне незгоде, односно 0,67 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 0,56 за настрадала лица. То значи да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода од 32% тј. броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 33%, као и самог броја настрадалих лица од 44%. На четворокраким двотрачним кружним раскрсницама израчунат је индекс ефективности од 0,46 за све саобраћајне незгоде, а 0,47 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима. За настрадала лица у саобраћајним незгодама на четворокраким двотрачним кружним раскрсницама израчунат је индекс ефективности од 0,36. Овакви резултати подразумевају да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода од 54%, броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 53%, тј. броја настрадалих лица од 64%.

На двотрачним кружним раскрсницама на којима се пре конверзије саобраћајем управљало уз помоћ семафора, индекс ефективности износи 0,56 за све саобраћајне незгоде, 0,68 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, док је за настрадала лица 0,58. То подразумева да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода од 44%, броја незгода са настрадалим лицима од 32% и броја настрадалих лица од 42%. На двотрачним кружним раскрсницама на којима је пре конверзије саобраћај био регулисан хоризонталном и вертикалном сигнализацијом израчунат је индекс ефективности од 0,47 за све саобраћајне незгоде, односно 0,39 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 0,29 за настрадала лица. Из тога произилази да је на овим раскрсницама процењено смањење укупног

броја саобраћајних незгода од 53% тј. броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 61%, као и броја настрадалих лица од 71%.

Када је реч о групи двотрачних кружних раскрсница на градском подручју, израчунат је индекс ефективности 0,50 за све саобраћајне незгоде, 0,40 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 0,35 за настрадала лица. То значи да је процењено смањење броја саобраћајних незгода од 50% за све саобраћајне незгоде, 60% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 65% за настрадала лица. Код двотрачних кружних раскрсница на приградском подручју, индекс ефективности износи 0,51 за све саобраћајне незгоде, 0,65 за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 0,44 за настрадала лица. То подразумева смањење броја саобраћајних незгода од 49% за све саобраћајне незгоде, 35% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и 56% за настрадала лица.

6.2.4. КОМБИНОВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Комбиновањем и груписањем кружних раскрсница према више различитих критеријума могуће је детаљније утврдити ефекте које свака од група (типова) раскрсница има на безбедност саобраћаја. У Табели 5.9 приказани су резултати истраживања који указују на ефективност конверзије код различитих група кружних раскрсница.

Када је реч о једнотрачним кружним раскрсницама, због непостојања четворокраких, приградских, пре конверзије семафорисаних раскрсница, није било могуће испитати ефективност ове групе раскрсница.

Најбоље ефекте на смањење броја незгода и настрадалих лица код једнотрачних кружних раскрсница показале су раскрснице из групе четворокраких, градских на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, код којих је забележено смањење укупног броја саобраћајних незгода, као и броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од по 83%, односно

броја настрадалих лица од 85%. Након тога следе четворокраке, градске раскрснице на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, код којих је забележено смањење укупног броја саобраћајних незгода од 72%, броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 75%, као и броја настрадалих лица од 61%. На крају, у групи четворокраких, градских, пре конверзије семафорисаних раскрсница, смањење укупног броја саобраћајних незгода као и броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима процењено је на 69%, док је смањење броја настрадалих лица у саобраћајним незгодама процењено на 63%.

Табела 6.9 Комбиновани резултати истраживања

Тип раскрснице	Број рас.	θ			Var(θ)			% разлике		
		СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица
Једнотрачне										
Четворокраке/ Семафорисане/ Градске	2	0,31	0,31	0,37	0,02	0,05	0,05	68,5	69,3	62,8
Четворокраке/ Семафорисане/ Приградске	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Четворокраке/ Хор. и вер. сиг/ Градске	3	0,17	0,17	0,15	0,01	0,03	0,02	82,7	83,2	84,7
Четворокраке/ Хор. и вер. сиг/ Приградске	3	0,28	0,25	0,39	0,04	0,06	0,08	71,8	74,5	61,2
Двотрачне										
Трокраке/ Семафорисане/ Градске	1	0,17	0,29	0,18	0,01	0,07	0,03	82,7	71,4	82,0
Трокраке/ Семафорисане/ Приградске	1	0,64	-	-	0,20	-	-	35,7	-	-
Трокраке/ Хор. и вер. сиг/ Градске	3	0,99	0,82	0,90	0,12	0,21	0,17	1,4	17,9	10,0
Трокраке/ Хор. и вер. сиг/ Приградске	5	0,92	0,78	0,61	0,12	0,23	0,13	8,2	22,0	39,0

Четворокраке/ Семафорисане/ Градске	5	0,63	0,54	0,43	0,02	0,05	0,03	37,0	45,5	56,5
Четворокраке/ Семафорисане/ Приградске	3	0,63	0,94	0,93	0,02	0,12	0,08	37,0	5,7	6,9
Четворокраке/ Хор. и вер. сиг/ Градске	8	0,40	0,21	0,18	0,01	0,01	0,01	60,3	78,7	81,8
Четворокраке/ Хор. и вер. сиг/ Приградске	3	0,29	0,36	0,21	0,01	0,03	0,01	71,1	64,0	79,3

Код двотрачних кружних раскрсница, у групи трокраких, пре конверзије семафорисаних раскрсница, како градских тако и приградских, постојала је само по једна раскрсница, па се њихови резултати морају пажљиво тумачити. Такође у групи трокраких, приградских, пре конверзије семафорисаних раскрсница није било саобраћајних незгода са настрадалим лицима након конверзије, па с тим у вези и није било могуће прецизно утврдити ефекте конверзије на незгоде са настрадалим лицима и сама настрадала лица на овим раскрсницама. На јединој оваквој раскрсници утврђено је смањење укупног броја саобраћајних незгода од 36%.

Када је реч о двотрачним трокраким кружним раскрсницама на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, на њима су забележени значајно слабији ефекти конверзије у односу на просечне. Код приградских су забележени нешто бољи резултати – 8% смањења укупног броја саобраћајних незгода, 22% смањења саобраћајних незгода са настрадалим лицима и 39% смањења броја настрадалих лица. Код оваквих кружних раскрсница у градским срединама забележено је смањење укупног броја саобраћајних незгода од свега 1%, броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 18%, као и броја настрадалих лица од 10%.

Четворокраке кружне раскрснице су показале најбоље резултате и међу двотрачним раскрсницама. Треба изузети само четворокраке, приградске, пре конверзије семафорисане раскрснице, које пре свега имају значајно мањи проценат

смањења броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од просечног (6%), односно броја настрадалих лица (7%), док је укупан број саобраћајних незгода на овим раскрсницама мањи за 37%, колико је забележено и код четворокраких, градских, пре конверзије семафорисаних раскрсница, само што код ове групе раскрсница процењено смањење броја незгода са настрадалим лицима износи 46%, а броја настрадалих лица 57%.

Код двотрачних четворокраких, градских кружних раскрсница на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом забележено је смањење укупног броја саобраћајних незгода од 60%, броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 79%, као и броја настрадалих лица од 82%. Код истих раскрсница, само у приградском подручју, процењено је смањење укупног броја саобраћајних незгода од 71%, броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима од 64%, као и броја настрадалих лица од 79%.

6.3. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Поредећи резултате у виду израчунатих ефеката конверзије добијених применом модела који узима у обзир и ПГДС и просек саобраћајних незгода и настрадалих лица и модела који узима у обзир само ПГДС уочене су разлике. Наиме, како је и претпостављено, модел који узима у обзир само ПГДС даје резултате који указују на веће ефекте конверзије тј. даје већи проценат смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица.

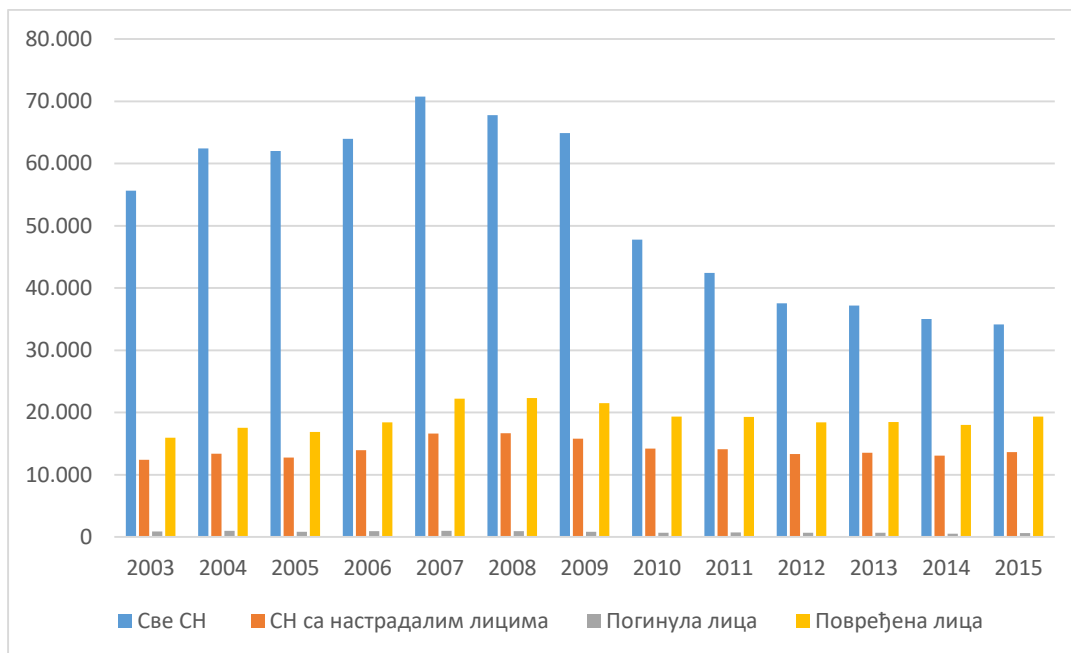
Примећено је да модел који узима у обзир само ПГДС не узима у обзир могућност да на посматраном простору и времену буду забележене различите околности које могу директно утицати на смањење или повећање броја саобраћајних незгода и настрадалих лица. Из тог разлога, у истраживању у склопу ове докторске дисертације, формиран је нови модел који је, поред ПГДС-а, у обзир узео и још један контролни параметар – просечан годишњи број саобраћајних незгода односно

настрадалих лица на 10.000 становника на предметном подручју у периоду пре и након конверзије сваке појединачне раскрснице. Овај индикатор осликава стање безбедности саобраћаја на датом подручју с обзиром да промене у броју саобраћајних незгода и настрадалих лица на датом подручју могу указати на друге ефекте, различите од ефеката које конверзија сама по себи има.

С обзиром да се показало да постоји разлика у резултатима истраживања приликом примене два различита модела, утврђена разлика се управо може приписати споредним ефектима, а не ефектима саме конверзије. У конкретном случају, споредни ефекти представљају ефекте које је произвео рад на унапређењу система управљања безбедношћу саобраћаја на националном нивоу. Наиме, у децембру 2009. године, донет је Закон о безбедности саобраћаја на путевима (ЗОБС, 2009), који је поред поштрења санкција за саобраћајне прекршаје, створио подлогу за даљи рад на унапређењу безбедности саобраћаја у Републици Србији. ЗОБС (2009) је предвидео формирање Тела за координацију безбедности саобраћаја Владе Републике Србије, формирање Агенције за безбедност саобраћаја и могућност формирања Савета безбедност на нивоу локалних заједница. ЗОБС-ом је дефинисано и финансирање активности усмерених ка унапређењу безбедности саобраћаја. Након усвајања ЗОБС-а интензивирани су активности свих надлежних институција ка успостављању система управљања безбедношћу саобраћаја, па је и резултат свих активности пад броја саобраћајних незгода.

На Слици 5.2 и у Табели 5.10 приказано је кретање броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у Републици Србији у периоду 2003-2015 година, тј. у периоду истраживања у оквиру ове докторске дисертације. Евидентан је пад броја саобраћајних незгода у годинама након усвајања и интензивне примене ЗОБС-а.

Резултати овог истраживања и претходно приказани показатељи указују на чињеницу да приликом прорачуна ефеката конверзије, али и било које друге саобраћајно-техничке или регулаторно-режимске мере, обавезно треба водити рачуна о ефектима других мера и активности забележеним у периоду истраживања.



Слика 6.2 Приказ броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у саобраћајним незгодама у Републици Србији у периоду 2003-2015 година (АБС, 2014б ; 2016)

Табела 6.10 Приказ броја саобраћајних незгода и настрадалих лица у саобраћајним незгодама у Републици Србији у периоду 2003-2015 година (АБС, 2014б ; 2016)

Година	Све СН	СН са настрадалим лицима	Погинула лица	Повређена лица
2003	55.660	12.415	868	15.953
2004	62.434	13.374	960	17.557
2005	62.036	12.769	843	16.890
2006	63.954	13.923	910	18.411
2007	70.789	16.594	968	22.209
2008	67.786	16.672	905	22.297
2009	64.877	15.814	810	21.511
2010	47.757	14.179	660	19.326
2011	42.438	14.119	731	19.312
2012	37.559	13.333	688	18.406
2013	37.162	13.526	650	18.475
2014	35.013	13.044	536	17.995
2015	34.171	13.654	599	19.343

Резултати истраживања указују да је на анализираним једнотрачним кружним раскрсницама процењено смањење од 71% за све саобраћајне незгоде, односно 74% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 68% за настрадала лица. На свим анализираним двотрачним кружним раскрсницама процењено је смањење од 50% за све саобраћајне незгоде, односно 49% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 60% за настрадала лица. У Стратегији безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије за период од 2015. до 2020. године (Влада РС, 2015) се истиче да услед саобраћајних незгода настају трошкови који увелико превазилазе трошкове улагања у безбедност саобраћаја. Иако у Републици Србији још увек није званично усвојен модел за процену трошкова саобраћајних незгода, процена Ross et al. (2012) на примеру Републике Српске може указати на финансијски значај конверзије. Наиме, према процени Ross et al. (2012), трошкови једне саобраћајне незгоде са погинулим лицима износе 317.317 €, једне саобраћајне незгоде са тешко повређеним лицима 34.094 €, а једне саобраћајне незгоде са лако повређеним лицима 3.181 €. На основу прорачуна смањења броја саобраћајних незгода након конверзије може се проценити и финансијски ефекат конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

Поредећи резултате у виду укупних ефеката конверзије код једнотрачних и код двотрачних кружних раскрсница добијених у истраживању може се јасно видети да једнотрачне кружне раскрснице имају боље ефекте када је безбедност саобраћаја у питању. Наиме, код једнотрачних кружних раскрсница је процењено смањење укупног броја саобраћајних незгода за 21% више у односу на двотрачне кружне раскрснице. Такође, смањење броја саобраћајних незгода са настрадалим лицима је за 25%, а броја настрадалих лица за 8% веће код једнотрачних у односу на двотрачне кружне раскрснице. Оваква разлика не изненађује с обзиром да више фактора указује на већу безбедност једнотрачних кружних раскрсница у односу на било које вишетрачне.

Пре свега, број конфликтних тачака се на вишетрачним кружним раскрсницама вишеструко повећава у односу на једнотрачне кружне раскрснице на којима нпр.

нема преплитања конфликтних токова, као код вишетрачних кружних раскрсница. Иако [Simodynes et al. \(1998\)](#) нису успели да нађу једноставну директну везу између смањења броја конфликтних тачака и смањења броја саобраћајних незгода на некој локацији, постоји општи став да је број саобраћајних незгода на раскрсницама условљен бројем конфликтних тачака и обимом саобраћаја на конфликтним токовима ([Saccomanno et al., 2008](#) ; [Rodegerdts et al., 2010](#) ; [Šenk and Ambros, 2011](#)).

Вишетрачне кружне раскрснице се у суштини и граде на саобраћајницама са већим обимом саобраћаја. Иако се са порастом броја трака у кружном току повећава капацитет ([Lindenmann, 2006](#)), контрола брзина кретања возила, као и понашања и маневрисања возача се смањује ([Bastos Silva et al., 2006](#) ; [St- Aubin et al., 2013](#)). С тим у вези, добијени резултати који указују на већу безбедност једнотрачних кружних раскрсница у односу на двотрачне, нису изненађујући.

Укупни безбедносни ефекти једнотрачних четворокраких кружних раскрсница добијени у овом истраживању су јако слични резултатима добијеним у истраживањима која су користила ЕБ метод попут истраживања [Bonneson and McCoy \(1993\)](#) и [Rodegerdts et al., \(2007\)](#). Због непостојања трокраких раскрсница које су конвертоване у једнотрачне кружне у Републици Србији, није било могуће испитати ефективност оваквих кружних раскрсница, па тако ни упоредити резултате са резултатима сличних истраживања рађених у свету, што представља својеврсно ограничење у истраживању ове докторске дисертације.

Код једнотрачних четворокраких кружних раскрсница генерално се показало да боље резултате даје конверзија раскрсница на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом у односу на семафорисане раскрснице, као и да нешто боље резултате даје конверзија градских у односу на приградске раскрснице.

Када се сагледају резултати појединачних група једнотрачних четворокраких кружних раскрсница, најбоље ефекте конверзија постиже на раскрсницама у граду,

на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, а одмах за њима је иста група раскрсница само у приградском подручју. Када је реч о семафорисаним раскрсницама, оваквих раскрсница које се налазе у приградском подручју није било па није било могуће извршити компарацију ове групе раскрсница са осталим групама.

У литератури се могу пронаћи слични резултати код истраживања [Rodegerdts et al. \(2007\)](#) где су код једнотрачних кружних раскрсница на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом са приоритетним правцем забележени бољи ефекти код градских него код приградских раскрсница, када су у питању саобраћајне незгоде са настрадалим лицима.

Резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације указују да је код двотрачних кружних раскрсница забележено укупно смањење броја свих саобраћајних незгода од 50%, односно 49% за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима, као и 60% за настрадала лица. Истраживање [Vujanić et al. \(2016\)](#) показало је нешто веће смањење укупног броја саобраћајних незгода након конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у двотрачне кружне раскрснице.

Међутим, [Vujanić et al. \(2016\)](#) су у свом истраживању, применили модел приказан у Формули 4.36 (који узима у обзир само ПГДС), односно модел који су, у идентичном облику или са мањим модификацијама, користили бројни аутори, а који је и у овој докторској дисертацији употребљен као контролни модел. Како се показало да овај модел не раздваја споредне ефекте од ефеката саме конверзије, разлике између резултата истраживања [Vujanić et al. \(2016\)](#) и резултата добијених у истраживању у оквиру ове докторске дисертације се у највећој мери могу приписати управо споредним ефектима.

Четворокраке двотрачне кружне раскрснице су се показале ефективнијим, када је реч о безбедности саобраћаја, у поређењу са трокраким двотрачним кружним раскрсницама. Показало се да четворокраке кружне раскрснице имају за 20% бољу

ефективност од трокраких кружних раскрсница. До сличних резултата дошао је и [Jensen \(2013\)](#) применом мета-анализе. Као и у случају разлике између једнотрачних и двотрачних кружних раскрсница, овакви резултати се могу објаснити различитим бројем конфликтних тачака. Наиме, на четворокраким раскрсницама конверзијом долази до значајно већег смањења броја конфликтних тачака него код трокраких, што резултира и већим смањењем броја саобраћајних незгода на четворокраким кружним раскрсницама ([Rodegerdts et al., 2010](#)).

Као и код једнотрачних кружних раскрсница, и код двотрачних се испоставило да боље ефекте по безбедност саобраћаја има конверзија раскрсница на којима је пре конверзије саобраћај био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом у односу на раскрснице на којима се саобраћајем управљало уз помоћ семафора. Овакви резултати су у складу и са резултатима добијеним у студијама [De Brabander and Vereeck \(2007\)](#) и [Jensen \(2013\)](#). Објашњење оваквих резултата треба потражити у чињеници да је управљање семафорима на раскрсницама већ уведено као саобраћајно-техничка мера за унапређење ефикасности и безбедности саобраћаја на раскрсницама са већим обимом саобраћаја или безбедносно ризичним раскрсницама. С обзиром да семафори у већој мери доприносе споразумевању између возача него што то чини само хоризонтална и вертикална сигнализација, и очекивано је било да се на раскрсницама на којима је пре конверзије саобраћај био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом забележи веће смањење броја саобраћајних незгода и настрадалих лица након конверзије, него код семафорисаних раскрсница.

На градским двотрачним кружним раскрсницама је забележено веће смањење броја саобраћајних незгода и настрадалих лица (посебно незгода са настрадалим лицима) након конверзије у поређењу са приградским двотрачним кружним раскрсницама. Увидом у резултате светских истраживања не могу се у већој мери пронаћи упоредиви резултати с обзиром да је већина њих испитивала разлике између урбаних и руралних, али не и градских и ванградских кружних раскрсница. У готово свим истраживањима попут [Rodegerdts et al. \(2007\)](#) и [Jensen \(2012 ; 2013\)](#) показало се

да су бољи ефекти конверзије постигнути на руралним раскрсницама у односу на урбане. Међутим како су предмет истраживања у оквиру ове докторске дисертације биле кружне раскрснице у урбаним срединама, могуће је било испитати само разлику између кружних раскрсница у градским и у приградским подручјима.

С обзиром да се и у случају једнотрачних и у случају двотрачних кружних раскрсница показало да су безбедносни ефекти бољи код раскрсница у градским срединама у односу на оне у приградским, претпоставка је да је узрок томе већи обим саобраћаја на градским саобраћајницама, услед чињенице да са порастом ПГДС-а на раскрсницама расте и број незгода (Rodegerdts et al., 2010). Наиме, анализирајући податке о ПГДС-у и броју саобраћајних незгода у Прилогу 2 ове докторске дисертације може се закључити да је на градским саобраћајницама, на којима је и већи ПГДС, забележен значајно већи број саобраћајних незгода у периоду пре конверзије у односу на раскрснице у приградским подручјима, као и да је смањење броја саобраћајних незгода након конверзије значајније код градских него код приградских раскрсница.

Када се у групи двотрачних кружних раскрсница сагледају резултати појединачних група раскрсница дефинитивно најбољи безбедносни ефекти се постижу на четворокраким раскрсницама на којима је пре конверзије саобраћај био регулисан само хоризонталном и вертикалном саобраћајном сигнализацијом. Изузетак представља група трокраких градских, пре конверзије семафорисаних раскрсница. Међутим, с обзиром да ову „групу“ чини само једна раскрсница, на којој је забележен значајно већи број саобраћајних незгода пре конверзије и коју су Vujanić et al. (2013) означили као опасно место, ове резултате би требало узети са резервом јер представљају ефекте само једне кружне раскрснице, али не и целе групе кружних раскрсница.

7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

У овој докторској дисертације је систематизовано и приказано знање о кружним раскрсницама са аспекта безбедности у саобраћају на основу релевантне литературе из предметне области. Уколико се сагледа комплетан садржај ове докторске дисертације може се извести закључак да више није питање јесу ли кружне раскрснице безбедније за саобраћај од раскрсница са директним укрштањем токова, јер оне то *de facto* јесу, већ у којој мери су безбедније, и још важније, која врста кружних раскрсница је безбеднија од које и на којим местима изградња кружних раскрсница даје најбоље резултате у погледу безбедности саобраћаја.

Да би уопште било речи о томе како су кружне раскрснице безбедније од раскрсница са директним укрштањем токова, сваки њихов елемент мора бити изведен на начин како је то описано у Поглављу 3 ове докторске дисертације. Пре свега неопходно је обезбедити одговарајућу дефлексију како би се било омогућено да возила улазе у кружну раскрсницу, крећу се истом и напуштају је смањеним брзинама кретања у односу на брзине којим су се кретали пре наиласка на кружну раскрсницу. Дефлексија се обезбеђује адекватном комбинацијом геометријских елемената кружне раскрснице као што су уливни и изливни радијуси, пречник централног острва, прилази раскрсници и остало. Стога посебан значај има прописно пројектовање и извођење сваке кружне раскрснице, јер у противном, лоше изведена кружна раскрсница може произвести озбиљне безбедносне ризике по саобраћај (SETRA, 2002 ; Rodegerdts et al., 2010).

Из претходно описаног разлога, предмет истраживања у оквиру ове докторске дисертације јесу управо само кружне раскрснице изведене у складу са међународним стандардима и правилима дефинисаним у Приручнику за пројектовање путева у Републици Србији, у одељку 5.3. (ЈП „Путеви Србије“, 2012). Кружне раскрснице за које је утврђено да не одговарају претходно наведеним правилима нису разматране.

У свету је рађено више истраживања о безбедности кружних раскрсница, која се најбоље може измерити на примеру раскрсница са директним укрштањем токова које су конвертоване у кружне. Просто поређење броја саобраћајних незгода пре и после конверзије не даје праву слику о реалним ефектима конверзије с обзиром да не узима у обзир нити различите промене које су се догодиле у ова два периода, а које су имале утицај на безбедност саобраћаја на конкретној локацији, нити статистички феномен регресије ка просеку. Из тих разлога, развијени су различити статистички методи који су погодни за рачунање ефеката примене неке саобраћајно-техничке или регулаторно-режимске мере, у шта спада и конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

У литератури се најчешће среће примена емпиријског Бајесовог (ЕБ) метода, опсервационог метода пре и после, као и мета-анализе. Ипак, као најпоузданији, уједно и најпримењиванији метод показао се ЕБ метод. ЕБ метод има више предности као што су коректно рачунање при регресији ка просеку, превазилажење проблема при коришћењу стопе саобраћајних незгода нормализацијом обима саобраћаја у периоду пре и после, већа поузданост у одређивању ефеката у безбедности, посебно приликом груписања различитих раскрсница по одређеном критеријуму ([Hauer et al., 2002](#) ; [Persaud and Lyon, 2007](#) ; [Persaud et al., 2010](#) ; [Gross et al., 2013](#) ; [Park et al., 2016](#)). Једини недостатак овог метода је тај што примена истог захтева већи број улазних података, па у случајевима када су исти недоступни, ЕБ метод није могуће применити.

Увидом у светску литературу и студије које су у истраживањима користиле ЕБ метод примећено је да је свака од њих користила искључиво и једино ПГДС као параметар за узимање у обзир промена у периодима пре и после, које су могле имати утицаја на безбедност саобраћаја. Међутим, примена само ПГДС-а као контролног фактора није увек довољна како би се утврдили стварни ефекти конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

Заправо, може се десити да на неком подручју у периоду истраживања буду забележене различите околности које могу директно утицати на смањење или повећање броја саобраћајних незгода и настрадалих лица. Тако се на пример број саобраћајних незгода и настрадалих лица може редуковати усвајањем и применом нових закона и подзаконских аката који регулишу област безбедности саобраћаја, спровођењем различитих кампања на локалном или националном нивоу, појачаним деловањем саобраћајне полиције на откривању саобраћајних прекршаја и друго. Исто тако, лежерношћу власти, медија и заједнице у целини и небригом о безбедности саобраћаја, као и утицаја низа других фактора може се догодити да број саобраћајних незгода и настрадалих лица у неком временском периоду расте.

Због свега наведеног, мора се узети у обзир чињеница да применом само ПГДС-а, добијени резултати не би осликавали само ефекте конверзије већ би у исте били урачунати и други споредни ефекти. Зато је било значајно да се приликом калибрације модела употреби још један контролни параметар који би узео у обзир и ове споредне ефекте. Управо је полазна хипотеза ове докторске дисертације била та да се избором и моделовањем одговарајућих индикатора може се оценити ниво ефективности конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

У истраживању у оквиру ове докторске дисертације, поред ПГДС-а, за још један контролни параметар употребљен је просечан годишњи број саобраћајних незгода односно настрадалих лица на 10.000 становника на предметном подручју у периоду пре и након конверзије сваке појединачне раскрснице с обзиром да овај број осликава стање безбедности саобраћаја на датом подручју и да промене у броју саобраћајних незгода и настрадалих лица на датом подручју могу указати на споредне ефекте који су на те промене и утицали. На тај начин креиран је нови модел чија је сврха била прорачун ефеката саме конверзије изузимајући све споредне ефекте.

Поређењем резултата добијених применом новог модела и раније примењиваног модела који узима у обзир само ПГДС, утврђене су разлике које управо указују на чињеницу да модел који узима у обзир само ПГДС показује веће смањење броја саобраћајних незгода и настрадалих лица на предметним раскрсницама, у које међутим, поред смањења које је последица саме конверзије, спада и генерално смањење броја саобраћајних незгода и настрадалих лица на путевима у Србији које је последица континуираног системског деловања на унапређењу безбедности саобраћаја у Републици Србији. На овај начин потврђена је полазна хипотеза да се избором одговарајућих индикатора и њиховим моделовањем може оценити ниво ефикасности саме конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице.

У последњим годинама приметно је да се доносиоци одлука у саобраћају на локалном нивоу све чешће опредељују за конверзију раскрсница са директним укрштањем токова у кружне, најчешће користећи конверзију као меру за унапређење безбедности саобраћаја на раскрсницама на којима се бележи повећани број саобраћајних незгода у односу на остале раскрснице на мрежи (опасна места). Неки аутори попут [Newstead and Corben \(2001\)](#) и [Geurts et al., \(2005\)](#) управо и препоручују конверзију раскрсница са директним укрштањем токова у кружне као меру за санацију опасних места у саобраћају. Међутим, с обзиром да су буџети локалних самоуправа ограничени, а сама конверзија изискује одређена средства (пре свега за извођење грађевинских радова и друго), готово је немогуће извршити све потребне конверзије у краћем временском периоду. Из тог разлога, од велике је важности што прецизније предвидети која би од потребних конверзија дала најбоље ефекте у погледу смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица, како би се обезбедила правилна алокација расположивих средстава.

У овој докторској дисертацији креиран је модел за рачунање ефеката конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице у Републици Србији (Формула 5.1 и Табела 5.4) чијом применом су израчунати ефекти конверзије 37 урбаних кружних раскрсница из седам градова. Резултати овог истраживања,

приказани у Табели 5.6, указују на позитивне ефекте конверзије чиме је потврђена и додатна хипотеза ове докторске дисертације да конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице има позитивни ефекат у погледу смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица. Поред ове, потврђене су и остале додатне хипотезе да је ефективност конверзије у кружне раскрснице трокраких раскрсница мања него код четворокраких раскрсница, да конверзија раскрсница регулисаних светлосним сигнаlima показује слабије ефекте него конверзија раскрсница регулисаних само хоризонталном и вертикалном саобраћајном сигнализацијом, као и да се у градским срединама конверзијом у кружне раскрснице постижу бољи ефекти у безбедности саобраћаја него код раскрсница у приградским срединама.

Резултати истраживања у склопу ове докторске дисертације имају веома практичан значај с обзиром да су груписањем конкретних група кружних раскрсница добијени ефекти које конверзија сваке од њих има на безбедност саобраћаја. На овај начин, доносиоци одлука у саобраћају на локалном нивоу могу користити ове резултате приликом доношења одлука коју раскрсницу би било најбоље конвертовати у кружну односно на којој раскрсници би ефекти у погледу смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих лица били најбољи.

Оно што је свакако сигурно је да боље ефекте постижу једнотрачне кружне раскрснице, него двотрачне, што је резултат који није изненадио с обзиром да кружне раскрснице са мањим бројем трака у кружном коловозу имају мањи број конфликтних тачака. Најбоље ефекте на смањење броја незгода и настрадалих лица код једнотрачних кружних раскрсница показале су раскрснице из групе четворокраких, градских на којима је саобраћај пре конверзије био регулисан само хоризонталном и вертикалном сигнализацијом, а иста група раскрсница показала се најнефективнијом и међу двотрачним кружним раскрсницама.

Међутим, приликом доношења одлуке коју од раскрсница планираних за конверзију треба прво конвертовати, доносиоци одлука треба најпре да утврде којој

од дефинисаних група изабране раскрснице припадају, као и да утврде просечан годишњи број саобраћајних незгода и/или настрадалих лица на предметним раскрсницама. Након тога, коришћењем жељеног критеријума (укупан број незгода, број незгода са настрадалим лицима или број настрадалих лица) може се утврдити очекивано смањење броја незгода и/или настрадалих лица. Раскрснице на којима се покаже највеће очекивано смањење броја саобраћајних незгода и/или настрадалих лица, би требало прве конвертовати.

Предложени модел и добијени резултати истраживања у оквиру ове докторске дисертације имају велику практичну примену јер недвосмислено указују доносиоцима одлука у саобраћају које раскрснице је потребно конвертовати како би се унапредила безбедност у саобраћају на предметном подручју и могу спречити паушално доношење одлука при избору мера за унапређење безбедности саобраћаја. Стога је потребно радити на унапређењу прецизности и ажурирању представљеног модела, односно улазних параметара. То практично значи да би правци будућих истраживања у овој области требало бити усмерени ка отклањању свих ограничења овог истраживања.

Пре свега, у будућим истраживањима треба повећати број анализираних кружних раскрсница из свих група, а посебно оних које су у истраживању у оквиру ове докторске дисертације недостајале или их није било довољно. То се пре свега односи на све једнотрачне трокраке кружне раскрснице али и на групе једнотрачних, четворокраких, пре конверзије семафорисаних као и двотрачних, трокраких, пре конверзије семафорисаних раскрсница.

Такође, као ограничење у истраживању у оквиру ове докторске дисертације појавило се непостојање података о ПГДС-у на градским саобраћајницама у предметним градовима. С обзиром да је ПГДС податак који је често неопходан за било какве анализе везане за безбедност саобраћаја, али и за регулисање и управљање саобраћајем, потребно је у што већем броју постављати електронске бројаче саобраћаја и на градским саобраћајницама (за почетак макар на значајнијим

тачкама на градској мрежи), онако како је то тренутно пракса на државним путевима. Коришћењем реалних података о ПГДС-у, а не процењених, би се свакако повећала прецизност коначних резултата.

Поред ПГДС-а, главни улазни подаци за моделирање и рачунање ефеката конверзије јесу и подаци о броју саобраћајних незгода и настрадалих лица. Прецизан податак о броју саобраћајних незгода и настрадалих лица је од изузетне важности за коректно рачунање ефеката конверзије. Стога је неопходно да база Управе саобраћајне полиције о саобраћајних незгодама (ЈИС) буде унапређена, редовно ажурирана и доступна за коришћење.

У истраживању у склопу ове докторске дисертације због недовољног броја саобраћајних незгода са рањивим учесницима у саобраћају није било могуће посебно испитати ефективност конверзије на ову категорију учесника у саобраћају (посебно за пешаке, посебно за бициклисте), већ су ефекти које конверзија раскрсница са директним укрштањем токова у кружне има по рањиве учеснике у саобраћају приказани кроз укупне израчунате ефекте. С обзиром да поједини аутори истичу да конверзија нема толики позитивни ефекат на рањиве учеснике у саобраћају (пре свега на бициклисте) у односу на ефекат који има на моторни саобраћај ([Herslund and Jørgensen, 2003](#)) потребно је да се овај аспект безбедности кружних раскрсница посебно испита у неким будућим истраживањима која би укључила већи број конвертованих раскрсница (самим тим и већи број саобраћајних незгода са рањивим учесницима).

Препорука је да се неким будућим истраживањима посебно испита и ефективност конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице и са других аспеката, пре свега са аспекта капацитета и еколошког аспекта. Комбиновањем резултата таквих истраживања и резултата истраживања у оквиру ове докторске дисертације могао би се креирати модел којим би се узели у обзир сви најзначајнији фактори чиме би се доносиоцима одлука недвосмислено презентовали сви ефекти конверзије.

Иако је фактор безбедности, описан и истражен у оквиру ове докторске дисертације, сам по себи најзначајнији и можда и довољан за доношење одлука, сагледавањем и осталих фактора (капацитета, животне средине, трошкова и слично) остварио би се комплетан увид у ефективност конверзије раскрсница са директним укрштањем токова у кружне раскрснице

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aagaard, P. E. (1995). Methods for choice of traffic control at crossroads. Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark
- [2] AASHTO (2001). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA
- [3] AASHTO (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., USA
- [4] Akçelik, R. (2008). Roundabouts in Australia. TRB National Roundabout Conference, Kansas City, MO, USA, 18-21 May 2008
- [5] Al-Omari, B., Ghuzlan, K., Al-Helo, L. (2014). Modeling through Traffic Speed at Roundabouts along Urban and Suburban Street Arterials. Journal of the Transportation Research Forum 53, pp. 7-19
- [6] Ambros, J., Novák, J., Borsos, A., Hóz, E., Kiec, M., Machciník, Š., Ondrejka, R. (2016). Central European comparative study of traffic safety on roundabouts. Transportation Research Procedia 14, pp. 4200 – 4208
- [7] Antoine, D. (2005) The Safety of Roundabouts and Traffic Lights in Belgium. Transportation Research Board. International Conference on Roundabouts. Compendium of Papers. Vail, USA
- [8] Antov, D., Abel, K., Surje, P., Rouk, H., Roivas, H. (2009). Speed Reduction Effects of Urban Roundabouts. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 4, pp. 22-26
- [9] Aparidian, R., Alam, M. B. (2015). Methods of Crossing at Roundabouts for Visually Impaired Pedestrians: Review of Literature. International Journal of Transportation Science and Technology 4, pp. 313-134
- [10] Arndt, O. K. (1998). Relationship between roundabout geometry and accident rates. Queensland Department of Main Roads, report ETD02, Brisbane, Australia

- [11] Arndt, O. K. (2008). Speed control at roundabouts - Use of maximum entry path radii. Proceedings of the 23rd ARRB Conference, Adelaide, Australia
- [12] Arndt, O. K., Troutbeck, R. (2005). Relationship between unsignalised intersection geometry and accident rates. 3rd TRB International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, USA
- [13] Bassani, M., Sacchi, E. (2011). Experimental investigation into speed performance and consistency of urban roundabouts: an Italian case study. Presented at the 3rd International Conference on Roundabouts, Transportation Research Board, Carmel, Indiana (US), May 18–20
- [14] Bassani, M., Sacchi, E. (2012). Calibration to Local Conditions of Geometry-based Operating Speed Models for Urban Arterials and Collectors. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53, pp. 822 – 833
- [15] Bastos Silva, A., Santos, S., Vasconcelos, L., Seco, A., Pedro Silva, J. (2014b). Driver behavior characterization in roundabout crossings. *Transportation Research Procedia* 3, pp. 80 – 89
- [16] Bastos Silva, A., Seco, A. J. M., Silva, J. P. C. (2006). Characterization of trajectories adopted at roundabout crossings. European Transport Conference (ETC), Association for European Transport, Strasbourg, France
- [17] Bastos Silva, A., Vasconcelos, L., Santos, S. (2014a). Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111, 137 – 146
- [18] Bonneson, J., Mc Coy, P. (1993). Estimation of safety at two-way STOP-controlled intersections on rural highways. *Transportation Research Record* 1401, 83-89
- [19] Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. T., Rothstein, H. (2009). *Introduction to Meta-analysis*. John Wiley and Sons, New York, USA
- [20] 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
- [21] Brilon, W. (2005). Roundabouts: A State of the Art in Germany. In *National Roundabout Conference*. Vail, Colorado, USA

- [22] Brown, M. (1995) TRL State of the Art Review—The Design of Roundabouts. London, United Kingdom
- [23] Brüde, U., Larsson, J. (1999). Traffic safety of roundabouts for cyclists and pedestrians. VTI, Report 864, Linköping, Sweden
- [24] Brüde, U., Larsson, J. (2000). What roundabout design provides the highest possible safety? Nordic Road Transport Res. 2, pp. 17–21
- [25] Campbell, D., Jurisich, I., Dunn, R (2012). Improved multi-lane roundabout designs for urban areas. NZ Transport Agency, research report 476, Wellington, New Zealand
- [26] Campbell, D., Jurisich, I., Dunn, R. (2012) Improved multi-lane roundabout designs for urban areas. NZ Transport Agency research report 476, Wellington, New Zealand
- [27] Chen, Y., Persaud, B., Lyon, C. (2011). Effect of speed on roundabout safety performance - Implications for use of speed as a surrogate measure. Proceedings of the TRB 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [28] Chen, Y., Persaud, B., Sacchi, B., Bassani, M. (2013). Investigation of models for relating roundabout safety to predicted speed. Accident Analysis and Prevention 50, pp. 196–203
- [29] Conway, H., Roenisch, R. (2006). Understanding Architecture: An Introduction to Architecture and Architectural History
- [30] CROW (2008). Turborotondes. Publicatie 257, Ede, The Netherlands
- [31] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. Wets, G. (2011). Extended prediction models for crashes at roundabouts. Safety Science 49, pp. 198-207
- [32] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. (2009). Injury crashes with bicyclists at roundabouts: Influence of some location characteristics and the design of cycle facilities. Journal of Safety Research 40, pp. 141–148
- [33] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. (2010). Explaining variation in safety performance of roundabouts. Accident Analysis and Prevention 42, pp. 393–402

- [34] Daniels, S., Nuyts, E. Wets, G. (2008). The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study. *Accident Analysis and Prevention* 40, pp. 518–526
- [35] Daniels, S., Wets, G. (2005). Traffic Safety Effects Of Roundabouts: A Review With Emphasis On Bicyclist’s Safety. 18th ICTCT workshop, Helsinki, Finland
- [36] De Brabander, B., Nuyts, E., Vereeck, L. (2005). Road safety effects of roundabouts in Flanders. *Journal of Safety Research* 36, pp. 289–296
- [37] De Brabander, B., Vereeck, L. (2007). Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users. *Accident Analysis and Prevention* 39, 591–599
- [38] Elvik, R. (2001). Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis and Prevention* 33, pp. 327–336
- [39] Elvik, R. (2017). Road safety effects of roundabouts: A meta-analysis. *Accident Analysis and Prevention* 99, pp. 364–371
- [40] Elvik, R., Høyve, A., Vaa, T., Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures*, second edition. Bingley, United Kingdom
- [41] FHWA (2010). *Mini Roundabouts - Technical Summary*. U.S. Department of Transportation, The Federal Highway Administration
- [42] Figueroa, A. M. (2012). *Modern Roundabout Geometric Design Guidelines*. ITE-Puerto Rico Spring Meeting. Puerto Rico
- [43] Fitzpatrick, K., Shamburger, C. B., Krammes, R. A., Fambro, D. B. (1997). Operating Speed on Suburban Arterial Curves. *Journal of the Transportation Research Board*, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 1579, pp. 55-60
- [44] Fleiss, J. L. (1981). *Statistical Methods for Rates and Proportions*, second edition. Wiley, New York, USA
- [45] Fortuijn, L. G. H. (2005). Safety impacts of turbo roundabouts compared to single-lane roundabouts. CROW, The Netherlands

- [46] Fortuijn, L.G.H. (2009). Turbo Roundabouts - Design Principles and Safety Performance. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2096, pp. 16–24
- [47] Gallelli, V., Vaiana, R., Iuele, T. (2014). Comparison between simulated and experimental crossing speed profiles on roundabout with different geometric features. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 111, pp. 117 – 126
- [48] Garrick, N. W., Wang, J. (2005). New Concepts for Context-Based Design of Streets and Highways. *Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 1912*, pp. 57–64
- [49] Geurts, K., Thomas, I., Wets, G. (2005) Understanding spatial concentrations of road accidents using frequent item sets. *Accident Analysis and Prevention* 37, pp. 787–799
- [50] Giæver, T. (2000). Roundabouts – Relations between geometry and accidents. SINTEF, report STF22 A00558, Trondheim, Norway
- [51] Gingrich, M., Waddell, E., (2008). Accommodating trucks in single and multilane roundabouts. *Proceedings of the National Roundabout Conference Transportation Research Board, Kansas City, Missouri, USA*
- [52] Giuffrè, O., Granà, A., Tumminello, M. L. (2016). Methodological Frontier in Operational Analysis for Roundabouts: A Review. *Frontiers in Built Environment, Volume 2, Article 28*
- [53] Godavarthy, R. P., Russell, E. (2015). Low-clearance truck’s vertical requirements at roundabouts. *Journal of Transportation Technologies* 5, pp. 214–222
- [54] Godavarthy, R. P., Russell, E., Landman, D. (2016). Using vehicle simulations to understand strategies for accommodating oversize, overweight vehicles at roundabouts. *Transportation Research Part A* 87, pp. 41–50
- [55] Grant, T., Nicholson, A. (2003). Rural roundabouts and their application in New Zealand. *Proceedings of the Technical Conference of the Institution of Professional Engineers, New Zealand*

- [56] Gross, F., Lyon, C., Persaud, B., Srinivasan, R. (2013). Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 50, pp. 234-241
- [57] Guichet, B. (2005). Evolution of roundabout in France and new uses. *Transportation Research Circular E-C083: National Roundabout Conference*, Transportation Research Board, Washington DC, USA
- [58] Guido, G., Saccomanno, F. F., Astarita, V., Vitale, A. (2009). Measuring Safety Performance at Roundabout Using Videotaped Vehicle Tracking Data. *Proceedings of TRB 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington DC, USA
- [59] Gustafson, J. (2012). Two Years Later: Safety, Operations and Education Lessons from Minnesota's First Two-Lane Roundabout. *APWA Minnesota Chapter – Fall Conference*
- [60] Hanscom F. R. (2010). Drivers' Understanding of Innovative Roundabout Traffic Control Devices. *ITE Journal*, Institute of Transportation Engineers, Washington DC
- [61] Harper, N. J., Dunn, R. C. M. (2005). Accident prediction models at roundabouts. *Proceedings of 75th ITE Annual Meeting*, Melbourne, Australia
- [62] Hauer, E. (1997). *Observational Before–After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom
- [63] Hauer, E., Harwood, D. W., Council, F. M., Griffith, M. S. (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method. *Transportation Research Record* 1784, pp. 126-131
- [64] Hels, T., Møller, M. (2007). *Bicycle safety at roundabouts*. Danmarks Transportforskning, Report 4, Lyngby, Denmark
- [65] Hels, T., Orozova-Bekkevold. I. (2007). The Effect of Roundabout Design Features on Cyclist Accident Rate. *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 300-307
- [66] Herslund, M. B., Jørgensen, N. O. (2003). Looked-but-failed-to-see-errors in traffic. *Accident Analysis and Prevention* 35, pp. 885–89

- [67] Highways Agency (2007). Design Manual For Roads And Bridges Volume 6, Section 2, TA 16/07 Roundabouts. London, United Kingdom
- [68] Hourdos, J., Richfield, V., Shauer, M. (2012). Investigation of Pedestrian and Bicyclist Risk in Minnesota Roundabout Crossings. Office of Policy Analysis, Research and Innovation, Minnesota Department of Transportation, USA
- [69] http://www.axiomimages.com/aerial-stock-footage/view/AX114_354, *poseћeno 28.08.2016.*
- [70] http://www.virginiadot.org/info/resources/round/Differences_between_Modern_Roundabouts_and_Old_Traffic_Circles.pdf, *poseћeno 25.08.2016*
- [71] <https://alchetron.com/Eugene-Henard-976470-W>, *poseћeno 26.07.2017.*
- [72] https://en.wikipedia.org/wiki/Columbus_Circle, *poseћeno 26.07.2017.*
- [73] https://en.wikipedia.org/wiki/Eug%C3%A8ne_H%C3%A9nard, *poseћeno 26.07.2017.*
- [74] <https://visitbath.co.uk/things-to-do/the-circus-p56201>, *poseћeno 26.07.2017.*
- [75] <https://www.gaplaning.com/traffic-engineering-roundabouts/>, *poseћeno 28.06.2016.*
- [76] https://www.reddit.com/r/CitiesSkylines/comments/3v30k2/can_we_get_the_turbo_roundabout_modded_into_the/
- [77] Hydén, C., Várhelyi, A. (2000). The effects on safety time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. Accident Analysis and Prevention 32, pp. 11–23
- [78] Inoue, S. (2014). Walking San Jose's Rose Garden Area
<http://twofeet.weebly.com/walking-blog/the-five-circles-of-hanchett-park>, *poseћeno 19.08.2016.*
- [79] Isebrands, H (2009). Crash Analysis of Roundabouts at High Speed Rural Intersections. Journal of the Transportation Research Board 2096, pp. 1-7
- [80] Isebrands, H (2011). Quantifying safety and speed data for rural roundabouts with high-speed approaches. Graduate Teses and Dissertations. Paper 10378. Iowa State University

- [81] ITE (2004). Roundabouts - A proven safety solution that reduces the number and severity of intersection crashes. Institute of Transportation Engineers
- [82] Jensen, S. U. (2013). Evaluation of effects of roundabouts with various design. Trafitec, Lyngby, Denmark
- [83] Jensen, S. U. (2014). Safety Effects of Height of Central Islands, Sight Distances, Markings and Signage at Single-lane Roundabouts. Trafitec, Lyngby, Denmark
- [84] Jensen, S. U. (2016). Safe roundabouts for cyclists. Accident Analysis and Prevention 105, pp. 30-37
- [85] Jørgensen, E. (1981). Road safety effect. Road Directorate, Copenhagen, Denmark
- [86] Jørgensen, E., Jørgensen, N. O. (1994). Safety at 82 Danish roundabouts. Road Directorate, report 4, Copenhagen, Denmark
- [87] Jørgensen, E., Jørgensen, N. O. (2002). Road safety at roundabouts in Denmark. Road Directorate, report 235, Copenhagen, Denmark
- [88] Kennedy, J. (2005). Review of Accident Research at Roundabouts, Monograph Title: Roundabout National Conference: 2005, sponsored by Transportation Research Board, Federal Highway Administration, Colorado, USA
- [89] Kennedy, J. (2007). International comparison of roundabout design guidelines. Transportation Research Laboratory PPR 206. Crowthorne, United Kingdom
- [90] Kennedy, J. V., Hall, R. D., Barnard, S. R. (1998). Accidents at urban mini-roundabouts. Transport Research Laboratory, TRL report 281, Crowthorne, United Kingdom
- [91] Larimer County (2013). Roundabout Design Manual. Larimer County - LCUASS Appendix I. Colorado, USA
- [92] Lay, Maxwell G. (1992). *Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles That Used Them*. Rutgers University Press. ISBN 978-0-8135-2691-1. pp. 187
- [93] Lindenmann, H. P. (2006). Capacity of Small Roundabouts with Two-Lane Entries. Transportation Research Record 1988, pp. 119–126

- [94] Liu, Y., Guo, X., Kong, D., Liang, H. (2013). Analysis of Traffic Operation Performances at Roundabouts. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96, pp. 741 – 750
- [95] Mandavilli, S., Russell, E. R., Rys, M. J. (2003). Impact of Modern Roundabouts on Vehicular Emissions. *Proceedings of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Ames, IA, USA
- [96] Mauro, R., & Branco, F. (2010). Comparative Analysis of Compact Multilane Roundabouts and Turboroundabouts. *Journal of Transportation Engineering* 136, pp. 316–322
- [97] Maycock, G. and Hall, R. D. (1984). Accidents at 4-arm roundabouts. Transport and Road Research Laboratory, TRRL report 1120, Crowthorne, United Kingdom
- [98] MDOT (2011). Evaluating the Performance and Safety Effectiveness of Roundabouts. The Michigan Department of Transportation, West Bloomfield, Michigan, USA
- [99] Misaghi, P., Hassan, Y. (2005). Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads. *Journal of Transportation Engineering*, 131, 408–417
- [100] Møller, M., Hels, T. (2008). Cyclists' perception of risk in roundabouts. *Accident Analysis and Prevention* 40, pp. 1055–1062
- [101] Montella, A. (2007). Roundabout In-Service Safety Reviews: Safety Assessment Procedure. *Transportation Research Record* 2019, pp. 40-50
- [102] Montella, A. (2011). Identifying crash contributory factors at urban roundabouts and using association rules to explore their relationships to different crash types. *Accident Analysis and Prevention* 43, pp. 1451–1463
- [103] Montella, A., Turner, S., Chiaradonna, S., Aldridge, D. (2012). Proposals for Improvement of the Italian Roundabout Geometric Design Standard. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53, pp. 189 – 202
- [104] Mussone, L. (2013). The analysis of roundabouts through visibility. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 87, pp. 250 – 268
- [105] Neuman, T. R., Pfefer, R., Slack, K. L., Hardy, K. K., Harwood, D. W., Potts, I. B., Torbic, D.J., Kohlman Rabbani, E. R. (2003). NCHRP Report 500: Guidance for

Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan, vol. 5: A Guide for Addressing Unsignalized Intersection Collisions. Transportation Research Board, Washington DC, USA

- [106] Newstead, S., Corben, B. F. (2001). Evaluation of the 1992–1996 Transport Accident Commission funded accident blackspot treatment program in Victoria. Monash University, Accident Research Centre, Report 182, Australia
- [107] Omazić, I., Dimter, S., Barišić, I. (2010). Kružna raskrižja – suvremeni način rješavanja prometa u gradovima. Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek, E-gfos 1, pp. 54-66
- [108] Park, J., Abdel-Aty, M., Lee, J. (2016). Use of empirical and full Bayes before–after approaches to estimate the safety effects of roadside barriers with different crash conditions. *Journal of Safety Research* 58, pp. 31–40
- [109] Pecchini, D., Roncella, R., Forlani, G., Giuliani, F. (2017). Measuring driving workload of heavy vehicles at roundabouts. *Transportation Research Part F* 45, pp. 27–42
- [110] Pellecuer, L., St-Jaques, M. (2008). Last advance about roundabouts. *Canadian Journal of Civil Engineering* 35, pp. 542-553
- [111] Persaud, B., Lan, B., Lyon, C., Bhim, R. (2010). Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before–after road safety evaluations. *Accident Analysis and Prevention* 42, pp. 38–43
- [112] Persaud, B., Lyon, C. (2007). Empirical Bayes before–after safety studies: lessons learned from two decades of experience and future directions. *Accident Analysis and Prevention* 39, pp. 546–555
- [113] Persaud, B., Retting, R., Garder, P., Lord, D. (2001). *Crash Reductions Following Installation of Roundabouts in the United States*. Insurance Institute for Highway Safety, Arlington, USA
- [114] Polus, A., Vlahus, E. (2005). *Evaluation of Roundabouts versus Signalized and Unsignalized Intersections in Delaware*. The Delaware Department of Transportation, Delaware, USA

- [115] Pratelli, A. (2006). Design of modern roundabouts in urban traffic systems. 12th International Conference on urban transport and the environment in the 21st century "Urban transport XII". Ashurst, Southampton, United Kingdom
- [116] Qin, X., Bill, A., Chitturi, M., Noyce, D.A. (2013). Evaluation of roundabout safety. In: Transportation Research Board Annual Meeting: Compendium of Papers, Washington, D.C.
- [117] Queensland Department of Main Roads – QDMR (1998). Relationships between Roundabout Geometry and Accident Rates. Infrastructure Design of the Technology Division of QDMR, Queensland, Australia
- [118] Ritchie, S., Lenters, M. (2005). High Speed Approaches at Roundabouts – Report. Roundabouts & Traffic Engineering, Truckee, California, USA
- [119] Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E. (2010). Roundabouts: An informational guide. Report 672 - Second Edition. Transportation Research Board – National Cooperative Highway Research Program. Washington DC, USA
- [120] Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., Persaud, B., Lyon, C., Harkey, D., Carter, D. (2007). NCHRP Report 572: Roundabouts in the United States. Transportation Research Board. Washington, DC
- [121] Ross, A., Lipovac, K., Rodić, R., Stanetić, V., Kremenović, B., Radović, D., Simić, M., Rodić, J. (2012). Troškovi saobraćajnih nezgoda u Republici Srpskoj. Ekonomski institut Banja Luka, Republika Srpska
- [122] Saccomanno, F. F., Cunto, F., Guido, G., Vitale, A. (2008). Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-End Conflicts. Journal of the Transportation Research Board 2078, pp. 90-95
- [123] Sakshaug, L., Laureshyn, A., Svensson, A., Hydén, C. (2010). Cyclists in roundabouts – Different design solutions. Accident Analysis and Prevention 42, pp. 1338–1351
- [124] Schoon, C., Van Minnen, J. (1993). Accidents on roundabouts II: second investigation into the safety of roundabouts especially for cyclists and moped riders. Foundation for Road Safety Research (SWOV), rapport R-93-16. Leidschendam

- [125] Schurr, K. S. and J. A. Sanchez (2007). Operational and safety effects of central island landscaping at single-lane roundabouts. European Transport Conference, Leiden, The Netherlands
- [126] SETRA (2002). The design of interurban intersections on major roads. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Bagneux, France
- [127] Shadish, W. R., Haddock, C. K. (1994). Combining estimates of effect size. The Handbook of Research Synthesis. Russell Sage Foundation, New York, USA
- [128] Simodynes, T., Welch, T., Kuntmeyer, M. (1998). Effects of Reducing Conflict Points on Reducing Accidents. Third National Access Management Conference. Fort Lauderdale, Florida, USA
- [129] Spacek, P. (2004). Basis of the Swiss Design Standard for Roundabout. Transportation Research Record 1881, pp. 27-35
- [130] Spahn, V., Bäumlner, G. (2007). Safety of roundabouts and signalized intersections in Bavaria. Strassenverkehrstechnik 7, pp. 357-362
- [131] St-Aubin, P., Saunier, N., Miranda-Moreno, L.F., Ismail, K. (2013). Detailed Driver Behaviour Analysis and Trajectory Interpretation at Roundabouts Using Computer Vision Data. Transportation Research Board - 92nd Annual Meeting, Washington D.C., USA
- [132] Stone, J.R., Chae, K., Pillalamarri, S. (2002). The effects of roundabouts on pedestrian safety. Southeastern Transportation Center, University of Tennessee – Knoxville
- [133] Šenk, P., Ambros, J. (2011). Estimation of Accident Frequency at Newly-built Roundabouts in the Czech Republic. Transactions on Transport Sciences 4, pp. 199–206
- [134] Šurdonja, S., Deluka-Tibljaš, A., Babić, S. (2013). Optimization of roundabout design elements. Tehnički vjesnik 20, pp. 533-539
- [135] Thai Van, M., Balmeffrezol, P. (2000). Design of roundabouts in France. Historical context and state of the art. Transportation Research Record 1737, pp. 92-97
- [136] Tian, Z. Z., F. Xu, L. A. Rodegerdts, W. E. Scarbrough, B. L. Ray, W. E. Bishop, T. C. Ferrara, and S. Mam. *Roundabout Geometric Design Guidance*. Report No.

- F/CA/RI-2006/13. Division of Research and Innovation, California Department of Transportation, Sacramento, CA, June 2007
- [137] Tracz, M., Chodur, J. (2009). Research on some specific aspects of polish small roundabouts operation. 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA
- [138] Trueblood, M., Dale, J. (2003). Simulating Roundabouts With VISSIM. Proceedings of the 2nd Urban Street Symposium, Anaheim, California, USA
- [139] Turner, S. A., Roozenburg, A. P., Smith, A. W. (2006). Roundabout crash prediction models. New Zealand Transport Agency, Report 386, New Zealand
- [140] Vaiana, R., Gallelli, V., Iuele, T. (2013). Methodological Approach for Evaluation of Roundabout Performances through Microsimulation. Applied Mechanics and Materials, 253-255, pp. 1956-1966
- [141] Veneziano, D., Ewan, L., Stephens, J. (2013). Information/Educational Synthesis on Roundabouts. FHWA/MT-13-007/8117-042, Western Transportation Institute, College of Engineering, Montana State University - Bozeman, Montana, USA
- [142] Vogt, A., Bared, J. (1998). Accident models for two lane rural segments and intersections. Transportation Research Record 1635, pp.18-29
- [143] Vujanić M, Antić B, Pešić D, Savićević M. (2013). Application of objective methods for black spot identification and classification. XIII International Conference Road Safety in Local Communities. Divčibare, Serbia
- [144] Vujanić, M., Antić, B., Pešić, D., Savićević, M. (2016). Safety Effectiveness of Converting Conventional Intersections to Roundabouts: Case Study in the City of Niš. Promet – Traffic & Transportation 28, pp. 529-537
- [145] Waddel, E., Lenters, M., Gingrich, M. (2009). Trucks in roundabouts: Pitfalls in design and operations. Institute of Transportation Engineers Journal 79, pp. 40–45
- [146] Zhang, Y., Ye, Z., Lord, D. (2007). Estimating the Dispersion Parameter of the Negative Binomial Distribution for Analyzing Crash Data Using a Bootstrapped Maximum Likelihood Method. *Transportation Research Record* 2019, pp. 15-21
- [147] Zirkel, B., Park, S., McFadden, J., Angelastro, M., McCarthy, L. (2013). Analysis of Sight Distance, Crash Rate, and Operating Speed Relationships for Single Lane

Roundabouts in the United States. 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., USA

- [148] АБС (2014а). Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2013. години. Агенција за безбедност саобраћаја, Београд, Србија
- [149] АБС (2014б). Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2012. години. Агенција за безбедност саобраћаја, Београд, Србија
- [150] АБС (2016). Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2015. години. Агенција за безбедност саобраћаја, Београд, Србија
- [151] АБС (2017). Интегрисана база података о обележјима безбедности саобраћаја. Агенција за безбедност саобраћаја, <http://bazabs.abs.gov.rs>
- [152] Влада РС (2015). Стратегија безбедности саобраћаја на путевима Републике Србије за период од 2015. до 2020. године. Службени гласник РС, бр. 64/2015
- [153] ЗОБС (2009). Закон о безбедности саобраћаја на путевима. Службени гласник Републике Србије број 41/2009
- [154] ЈП „Путеви Србије“ (2012). Приручник за пројектовање путева у Републици Србији, Одељак 5.3 – Кружне раскрснице. Београд, Србија
- [155] Правилник о саобраћајној сигнализацији (2014). Службени гласник РС, бр. 134/2014
- [156] РЗС (2012). Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Републички завод за статистику, ISBN 978-86-6161-025-7
- [157] Чабаркапа, М., Вукановић, С. (2015). Контрола улаза елиминише конфликт возила на излазу из двотрачне кружне раскрснице. Техника – Саобраћај 62 (5), 839-844
- [158] Шеница, Г., Милошевић, Д. (2002). Савремене раскрснице са кружним током – процес планирања. Институт за путеве, Београд

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1. Подаци о контролним раскрсницама коришћени у истраживању

Бр.	Град	Раскрсница	Број кракова	Просечан број по години			ПГДС тотал
				Све СН	СН са настрадалим лицима	Настрадала лица	
1	Ниш	Трг Павла Стојковића, Душанова и Обреновићева	3	2,92	0,54	0,54	15.686
2	Ниш	Душанова и Војводе Вука	3	0	0,46	0,77	34.194
3	Ниш	Булевар 12. фебруар (крак) и Булевар Николе Тесле	3	1,15	0,23	0,38	15.405
4	Ниш	Димитрија Туцовића и Гоце Делчева	3	1,92	0,46	0,62	27.122
5	Ниш	Димитрија Туцовића и Алексе Ненадовића	3	2,69	1,15	1,54	36.400
6	Ниш	Димитрија Туцовића и Лазе Лазаревића	3	0	0	0	13.968
7	Ниш	Димитрија Туцовића и Шантићева	3	0	0	0,08	13.908
8	Ниш	Димитрија Туцовића и Корнелија Станковића	3	0,92	0,46	0,92	13.087
9	Ниш	Димитрија Туцовића и Кајмакчаланска	3	0,15	0	0	9.822
10	Ниш	Димитрија Туцовића и Војводе Путника	3	0,15	0	0	8.560
11	Ниш	Булевар 12. фебруар (крак) и Београдска	3	2,08	0,77	0,92	22.392
12	Ниш	Булевар Николе Теселе и Александра Медведева	3	3,38	1,38	2,77	37.565
13	Ниш	Булевар 12. фебруар и Хумске	3	0,85	0,31	0,38	20.472
14	Ниш	Димитрија Туцовића и Никодија Стојановића Татка	3	2,00	0,85	1,15	16.900
15	Ниш	Јована Ристића, Шумадисјке и Обилићев венац	4	0,23	0	0,08	11.377
16	Ниш	Булевар Медијана, Књажевачка и Матејевачки пут	4	0,92	0,38	0,46	13.800
17	Ниш	Стефана Првовенчаног, Пантелејска, Јадранска и Булевар Николе Тесле	4	0,2	0	0	3.103
18	Ниш	Византијски булевар и Романијска	4	0,2	0,1	0,1	2.139

19	Ниш	Булевар Зорана Ђинђића, Сремске и Војислава Илића	4	0,2	0,1	0,1	2.139
20	Ниш	Цара Душана и 9. бригаде	4	0,9	0,3	0,5	4.210
21	Ниш	Хиландарска, Доситеја Обрадовића и Станка Власотинчанина	4	0,6	0,1	0,1	3.177
22	Ниш	Душана Поповића и Зетске	4	0,9	0,3	0,4	5.099
23	Ниш	Прибојска, Сјеничка и Подунавска	4	0,3	0,1	0,3	7.062
24	Ниш	Прибојска, Бјеласичка и Инжењера Бирвиша	4	0,4	0,2	0,2	4.210
25	Ниш	Вождова, Стефана Првовенчаног и Синђелићев трг	4	2,2	0,7	1	17.768
26	Ниш	Војводе Мишића, Вождова и Булевар Зорана Ђинђића	4	1	0	0	12.829
27	Ниш	Седмог јула и Краља Стефана Првовенчаног	4	1,2	0,8	1	9.683
28	Ниш	Генерала Милојка Лешјанина и Кнегиње Љубице	4	3,6	2,1	3,1	17.217
29	Ниш	Књажевачка, Пролетерска и Жикице Шпанца	4	2	1	1,4	10.591
30	Ниш	Сомборска и Косовке девојке	4	0,1	0	0	7.837
31	Ниш	Булевар Зорана Ђинђића и Михајла Пупина	3	5,2	1,5	2,5	32.673
32	Ниш	Булевар Цара Константина и Доситеја Обрадовића	3	8,7	1,7	2,3	40.738
33	Бор	Мајданпечка и Васић Милана Перице	4	2,5	0,8	1	12.775
34	Бор	Николе Пашића и Васић Милана Перице	3	4	2,2	3,2	13.821
35	Бор	Николе Пашића и Пензионерска	4	1,8	1,1	2,4	12.502
36	Бор	Николе Пашића и 1. маја	4	5,9	3,4	5	17.618
37	Бор	Николе Пашића и Пионирска	3	0,4	0	0,3	22.993
38	Бор	Моше Пијаде и Пионирска	3	2,1	0,4	0,6	27.573
39	Бор	Николе Пашића и 7. јула	4	2,92	0,54	0,54	15.686
40	Бор	Моше Пијаде, 7. јула и Ђорђа	4	0	0,46	0,77	34.194

		Андрејевића Куна					
41	Бор	Зелени булевар и Краља Петра Првог	3	1,15	0,23	0,38	15.405
42	Бор	Наде Димић и Цара Лазара	4	1,92	0,46	0,62	27.122
43	Бор	Зелени Булевар, 9. бригаде и Петра Кочића	4	2,69	1,15	1,54	36.400
44	Бор	Генерала Павла Илића и 3. октобра	4	0	0	0	13.968
45	Чачак	Цара Душана, Господар Јованова, Жупана Страцимира и Бате Јанковића	4	0	0	0,08	13.908
46	Чачак	Ломина и Мутапова	4	0,92	0,46	0,92	13.087
47	Чачак	Хајдук Вељкова и Ломина	4	0,15	0	0	9.822
48	Чачак	Немањина и Кнеза Милоша	4	0,15	0	0	8.560
49	Чачак	Кнеза Милоша и Стефана Првовенчаног	4	2,08	0,77	0,92	22.392
50	Чачак	Булевар Вука Караџића и Милице Вучетић	4	3,38	1,38	2,77	37.565
51	Суботица	Ивана Антуновића и Владимира Гортана	4	0,85	0,31	0,38	20.472
52	Суботица	Лазара Бачића и Игманске	4	2,00	0,85	1,15	16.900
53	Суботица	Бајнатске и Далматинске	4	0,23	0	0,08	11.377
54	Суботица	Бајнатске и Масарикова	4	0,92	0,38	0,46	13.800
55	Суботица	Партизанских база, Петрињска и Вука Мандушића	4	0,2	0	0	3.103
56	Суботица	Браће Радић и Наде Димић	4	0,2	0,1	0,1	2.139
57	Суботица	Кирешка и Банијска	4	0,2	0,1	0,1	2.139
58	Суботица	Кирешка и Саве Ковачевића	4	0,9	0,3	0,5	4.210
59	Суботица	Змај Јовина, Партизанска и Арсенија Чарнојевића	4	0,6	0,1	0,1	3.177
60	Суботица	Алеја Маршала Тита и Петра Лековића	4	0,9	0,3	0,4	5.099
61	Суботица	Алеја Маршала Тита и Милоша Обилића	4	0,3	0,1	0,3	7.062
62	Суботица	Жарка Зрењанина и Атиле Јожефа	4	0,4	0,2	0,2	4.210
63	Суботица	Мајшанског пута, Луизе Блаха и Арпадове	4	2,2	0,7	1	17.768
64	Суботица	Педесетпрве дивизије и Милутина	4	1	0	0	12.829

		Ускоковића					
65	Нови Сад	Отокара Кершованија и Сентандрејског пута	4	1,2	0,8	1	9.683
66	Нови Сад	Новосадског партизанског одреда, Теодора Мандића и Сентандресјког пута	4	3,6	2,1	3,1	17.217
67	Зрењанин	Булевар Вељка Влаховића, Бригадира Ристића и Милана Станивуковића	4	2	1	1,4	10.591
68	Зрењанин	Булевар Вељка Влаховића и Стражиловска	4	0,1	0	0	7.837
69	Зрењанин	Булевар Вељка Влаховића и Здравка Челара	4	5,2	1,5	2,5	32.673
70	Зрењанин	Булевар Милутина Миланковића и Цара Душана	4	8,7	1,7	2,3	40.738
71	Зрењанин	Жарка Зрењанина, Личке и Елемирског друма	4	2,5	0,8	1	12.775
72	Зрењанин	Жарка Зрењанина и 7. јула	4	4	2,2	3,2	13.821
73	Крагујевац	Лепенички Булевар, 27. марта и Косовска	4	1,8	1,1	2,4	12.502
74	Крагујевац	Лепенички Булевар, Града Сирена и Војислава Калановића	4	5,9	3,4	5	17.618

ПРИЛОГ 2. Подаци о анализираним конвертованим раскрсницама коришћени у истраживању

Бр.	Број незгода				Број настрадалих лица		Просечан годишњи број незгода*				Просечан годишњи број настрадалих лица*		Број месеци		Процењени ПГДС тотал	
	Пре		После				Пре		После							
	Све СН	СН са наст. лиц.	Све СН	СН са наст. лиц.	Пре	После	Све СН	СН са наст. лиц.	Све СН	СН са наст. лиц.	Пре	После	Пре	После	Пре	После
1	3	1	1	1	1	1	79,07	25,87	23,62	18,39	35,38	27,57	78	42	5.216	5.289
2	2	1	2	1	2	2	100,63	29,07	54,71	21,79	38,43	31,20	24	96	4.627	4.729
3	1	1	0	0	1	0	83,88	26,73	37,77	18,70	36,42	27,71	68	52	5.486	5.607
4	7	2	2	1	3	2	98,22	28,99	49,19	20,79	38,36	30,19	36	84	18.331	18.606
5	4	2	0	0	2	0	98,17	28,03	52,47	21,65	37,05	31,18	30	90	15.561	15.791
6	1	0	4	1	0	1	82,37	22,89	62,93	23,27	28,99	32,80	5	115	5.306	5.385
7	10	5	0	0	7	0	64,76	23,46	30,24	14,98	32,85	24,58	117	3	6.633	6.787
8	24	14	1	0	15	0	71,21	36,56	40,37	29,18	56,22	43,29	110	10	16.726	16.977
9	3	1	2	0	1	0	85,28	21,20	76,07	25,30	29,89	35,34	34	122	6.233	6.375
10	2	0	0	0	0	0	96,20	25,13	57,99	23,60	35,31	32,87	82	74	4.892	4.997
11	5	1	2	0	1	0	93,31	24,13	66,60	24,61	34,02	34,26	67	89	7.624	7.791
12	2	0	2	1	0	1	94,62	24,49	63,14	24,33	34,30	34,03	74	82	8.120	8.299
13	51	8	3	1	14	1	90,11	25,08	53,31	23,01	35,27	31,86	105	51	32.430	32.928
14	2	1	2	0	1	0	95,29	24,85	60,41	23,95	34,96	33,33	79	77	16.790	17.041
15	12	3	3	1	6	1	83,73	24,66	53,30	23,26	34,73	31,66	127	28	6.817	6.831
16	8	3	3	1	5	1	83,73	24,66	53,30	23,26	34,73	31,66	127	29	13.110	13.309
17	27	7	11	4	8	6	107,44	40,66	77,69	35,38	56,61	50,60	78	42	6.097	6.190
18	11	4	2	0	5	0	112,18	40,67	79,12	36,62	56,16	53,00	65	55	4.244	4.308
19	4	2	2	1	2	1	93,46	24,27	66,19	24,51	34,17	34,14	68	88	11.280	11.543
20	1	0	2	1	0	1	93,31	24,13	66,60	24,61	34,02	34,26	67	89	7.869	8.042

21	1	0	1	0	0	0	95,29	24,85	60,41	23,95	34,96	33,33	79	77	8.870	8.995
22	5	0	5	1	0	1	96,20	25,13	57,99	23,60	35,31	32,87	82	74	39.243	39.831
23	1	0	1	0	0	0	94,03	24,73	56,88	23,96	34,81	33,29	89	67	4.675	4.766
24	65	16	9	3	25	3	87,28	24,62	53,89	23,83	35,29	31,37	113	43	35.664	36.198
25	49	14	12	3	17	3	87,28	24,62	53,89	23,83	35,29	31,37	113	43	41.265	41.884
26	10	2	1	1	1	1	88,31	24,74	52,50	22,78	34,83	30,93	129	27	13.121	13.151
27	4	0	2	1	0	1	110,18	41,62	77,29	34,61	58,35	49,26	72	48	1.641	1.677
28	6	2	1	0	2	0	111,15	41,25	77,92	35,55	57,20	51,35	69	51	3.792	3.845
29	8	4	8	1	5	2	111,70	40,97	78,48	36,09	57,07	51,74	67	53	6.705	6.805
30	42	9	11	3	11	3	112,54	40,65	79,30	36,72	56,08	53,16	64	57	7.758	7.874
31	51	13	3	0	14	0	130,39	40,79	62,99	34,85	59,24	52,10	68	52	18.562	18.840
32	19	5	4	0	5	0	141,38	41,31	67,16	35,60	59,89	52,98	55	65	13.510	13.710
33	3	1	1	0	1	0	143,56	41,38	67,66	35,72	60,17	52,97	63	67	5.486	5.607
34	66	14	14	7	20	10	199,14	51,12	97,26	45,96	72,23	64,01	102	18	42.251	42.730
35	19	12	4	3	21	4	71,21	36,56	40,37	29,18	56,22	43,29	110	10	14.622	14.841
36	45	25	3	2	39	2	71,21	36,56	40,37	29,18	56,22	43,29	110	10	19.353	19.644
37	31	7	9	1	19	2	101,21	32,37	60,28	28,86	45,39	41,26	38	82	24.422	24.789

* Просечан годишњи број саобраћајних незгода и настрадалих лица на 10.000 становника на мрежи у граду у којем се налази предметна раскрсница, у периоду пре и после конверзије предметне раскрснице.

ПРИЛОГ 3. Резултати добијени у истраживању

Тип раскрснице	$\lambda = \text{Var}(\lambda)$			π			$\text{Var}(\pi)$			δ			$\text{Var}(\delta)$		
	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица	СН све	СН наст.	Наст. лица
Једнограчне															
Све	10	4	6	43,97	17,46	25,01	119,79	12,07	10,97	33,97	13,46	19,01	129,79	16,07	16,97
Семафорисане	6	2	3	21,70	6,97	10,48	78,51	4,93	4,21	15,70	4,97	7,48	84,51	6,93	7,21
Хор. и верг.	4	2	3	22,27	10,49	14,53	41,28	7,14	6,76	18,27	8,49	11,53	45,28	9,14	9,76
Градске	8	3	4	36,30	13,36	18,38	102,85	9,21	8,18	28,30	10,36	14,38	110,85	12,21	12,18
Приградске	2	1	2	7,66	4,10	6,63	16,94	2,87	2,78	5,66	3,10	4,63	18,94	3,87	4,78
Двограчне															
Све	123	36	44	289,88	72,76	111,03	246,04	50,01	51,88	166,88	36,76	67,03	369,04	86,01	95,88
Трокраке	30	8	10	54,13	13,22	18,01	43,78	9,39	7,49	24,13	5,22	8,01	73,78	17,39	17,49
Четворокраке	93	28	34	235,75	59,54	93,02	202,26	40,61	44,39	142,75	31,54	59,02	295,26	68,61	78,39
Семафорисане	54	19	23	112,32	27,97	39,48	59,61	18,94	19,34	58,32	8,97	16,48	113,61	37,94	42,34
Хор. и верг. сигнализација	69	17	21	177,56	44,79	71,55	184,86	30,74	32,15	108,56	27,79	50,55	253,86	47,74	53,15
Градске	69	17	20	166,41	43,20	56,67	107,19	29,67	26,44	97,41	26,20	36,67	176,19	46,67	46,44
Приградске	54	19	24	123,47	29,56	54,36	138,85	20,34	25,44	69,47	10,56	30,36	192,85	39,34	49,44

Биографија аутора

Милан Савићевић рођен је 03.09.1988. године у Нишу, где је завршио основну школу и гимназију. Носилац је Вукових диплома и титуле Ученик генерације. Основне академске студије на Саобраћајном факултету у Београду уписао је 2007. године на одсеку за друмски и градски саобраћај и транспорт, смер: безбедност друмског саобраћаја. Завршни рад на тему „Утврђивање употребе сигурносних појасева у Србији у зависности од врсте саобраћајнице“ одбранио је 2011. године са оценом 10 и завршио основне академске студије просечном оценом 9,78. Мастер академске студије уписао је 2011. године такође на Саобраћајном факултету у Београду на модулу за безбедност друмског саобраћаја. Мастер рад на тему „Упоредна анализа објективних и субјективног метода за идентификацију опасних места на саобраћајницама“ одбранио је 2012. године са оценом 10 и завршио мастер академске студије са просечном оценом 10,00. Носилац је дипломе Саобраћајног факултета за изузетан успех на мастер академским студијама. Године 2012. је уписао докторске академске студије на Саобраћајном факултету у Београду. Аутор је два научна рада објављених у часописима на СЦИ листи, као и више радова презентованих на научном скупу у земљи.

Од децембра 2012. године запослен је у компанији НИС а.д. Нови Сад у сектору за транспорт где ради на пословима безбедности саобраћаја. У току основних и мастер студија био је стипендиста Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта Владе Републике Србије. Течно говори енглески језик, а служи се и руским, грчким и немачким језиком.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милан И. Савићевић

Број индекса ДС 12 011

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ЕФЕКТИВНОСТ ЗАМЕНЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ
ТОКОВА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ
САОБРАЋАЈА

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милан И. Савићевић

Број индекса ДС 12 011

Студијски програм Саобраћај

Наслов рада ЕФЕКТИВНОСТ ЗАМЕНЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ
УКРШТАЊЕМ ТОКОВА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА СА АСПЕКТА
БЕЗБЕДНОСТИ САОБРАЋАЈА

Ментор Редовни професор у пензији др Милан Вујанић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ЕФЕКТИВНОСТ ЗАМЕНЕ РАСКРСНИЦА СА ДИРЕКТНИМ УКРШТАЊЕМ
ТОКОВА КРУЖНИМ РАСКРСНИЦАМА СА АСПЕКТА БЕЗБЕДНОСТИ
САОБРАЋАЈА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.