



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
У НОВОМ САДУ**



Спасоје Мићић

**ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛ ФРЕКВЕНЦИЈЕ
САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА НА РУРАЛНИМ
ПУТЕВИМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2019



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Докторска дисертација
Аутор, АУ :	дипл. инж. саоб. – мастер Спасоје Мићић
Ментор, МН :	Др Драган Јовановић, редовни професор
Наслов рада, НР :	Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима
Језик публикације, ЈП :	Српски
Језик извода, ЈИ :	Српски / Енглески
Земља публиковања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	АП Војводина
Година, ГО :	2019.
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	9/136/218/23/14/1/2
Научна област, НО :	Саобраћајно инжењерство
Научна дисциплина, НД :	Безбедност саобраћаја
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	Безбедност саобраћаја, Рурални путеви, Предикција, Фреквенција саобраћајних незгода, Уопштени линеарни модели
УДК	
Чува се, ЧУ :	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	Примарни задатак ове докторске дисертације је развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима. Секундарни циљ је процена ефеката саобраћајних и геометријских варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Резултати истраживања су показали да је најбоље перформансе, у погледу слагања са стварним подацима и предвиђања саобраћајних незгода, у односу на друге конкурентске моделе показао НБ модел. Постављено ограничење брзине има највећи релативни утицај на фреквенцију укупног броја саобраћајних незгода и саобраћајних незгода са настрадалим лицима. На фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом највећи релативни утицај има дужина сегмента.
Датум прихватања теме, ДП :	11.12.2018.
Датум одбране, ДО :	
Чланови комисије, КО :	Председник: Др Томаж Толаци, редовни професор Члан: Др Драган Кукољ, редовни професор Члан: Др Светлана Бачкалић, доцент Члан: Др Далибор Пешић, ванредни професор Члан: Др Матјаж Шрамл, редовни професор Члан, ментор: Др Драган Јовановић, редовни професор
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Ph.D. thesis
Author, AU :	M.Sc. Spasoje Mičić
Mentor, MN :	Ph.D. Dragan Jovanović
Title, TI :	Accident frequency prediction model for rural roads
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	AP of Vojvodina
Publication year, PY :	2019
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	9/136/218/23/14/1/2
Scientific field, SF :	Traffic engineering
Scientific discipline, SD :	Road Safety
Subject/Key words, S/KW :	Road Safety, rural roads, Prediction, Accident frequency, generalized linear models
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	The primary objective of this doctoral dissertation is the development of the accident frequency predictive model on rural roads. The secondary objective is to evaluate the effects of traffic and geometric variables on the accident frequency. The results of the research showed that the best performance, in terms of goodness-of-fit measures and predicting accidents, was shown by the NB model in comparison with other competing models. Posted speed limit has the highest relative influence on the accident frequency of the total number of accidents and the fatal and injury accidents. The independent variable segment length has the greatest relative influence on the accidents with property damage frequency.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	11.12.2018.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Ph.D. Tomaž Tollazzi, full professor
	Member: Ph.D. Dragan Kukolj, full professor
	Member: Ph.D. Svetlana Bačkalić, assistant professor
	Member: Ph.D. Dalibor Pešić, associate professor
	Member: Ph.D. Matjaž Šraml, full professor
	Member, Mentor: Ph.D. Dragan Jovanović, full professor
	Mentor's sign

РЕЗИМЕ

Саобраћајне незгоде представљају велики проблем широм свијета узрокујући смртност, физичке повреде, материјалну штету и загушења у саобраћају. По природи, имају карактер случајних догађаја, тако да је тачно мјесто и вријеме њиховог настанка, као и тачну природу њиховог утицаја тешко предвидјети. Иако их је тешко прецизно предвидјети, може се превентивно дјеловати и приближно предвидјети њихов број у неком временском периоду. Примарни задатак ове докторске дисертације је развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима, на основу историје саобраћајних незгода и одабраног сета независних варијабли. Секундарни циљ је процјена ефеката саобраћајних и геометријских варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. За развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода подаци су прикупљени за државни пут ИБ-12 (подаци о саобраћајним незгодама, саобраћајном оптерећењу, геометријским елементима пута итд.), за трогодишњи временски период (2015-2017. године). Након прикупљања података, извршен је процес динамичке сегментације, при чему су коришћена четири критеријума: (1) саобраћајни чворови, (2) обим саобраћаја, (3) постављено ограничење брзине и (4) број саобраћајних трака. Као резултат добијено је 136 хомогених сегмента и то: 77 сегмената се налази у урбаном окружењу, а 59 на руралним деоницама. Укупна дужина руралних сегмената је 199,63 km. Величина узорка је 177 независних опсервација ($n = 177 = 59 * 3$). Моделовање саобраћајних незгода је извршено коришћењем четири статистичка модела тј. Поасоновог, НБ, ЗИП и ЗИНБ модела. Укупан број саобраћајних незгода, саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и саобраћајне незгоде са материјалном штетом су коришћене као зависне промјенљиве у тестираним моделима. Коришћен је сет од 19 независних промјенљивих. Параметри модела су процијењени методом максималне вјеродостојности. Резултати истраживања су показали да је најбоље перформансе, у погледу слагања са стварним подацима и предвиђања будућих саобраћајних незгода, у односу на друге конкурентске моделе (Поасонов, ЗИП и ЗИНБ модел) показао НБ модел. Након завршеног процеса моделовања развијена су три предиктивна модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима на основу НБ модела. Предиктивни модели фреквенције укупног броја саобраћајних незгода и саобраћајних незгода са настрадалим лицима изграђени су користећи шест независних варијабли и то: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, БРКРИВ, ГУСПУТ и ИРИ, док је предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом изграђен користећи четири независне варијабле и то: Л, ПДГС, БРКРИВ и ГУСПУТ. Од 19 тестираних независних промјенљивих утврђено је да на фреквенцију укупног броја саобраћајних незгода и саобраћајних незгода са настрадалим лицима утиче 6 независних промјенљивих, а на фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом 4 независне промјенљиве. Све независне промјенљиве су имале позитиван предзнак. Процјена релативног утицаја независних варијабли извршена је анализом еластичности. Независна варијабла ОГРБРЗ има највећи релативни утицај на фреквенцију укупног броја саобраћајних незгода (1.60) и саобраћајних незгода са настрадалим лицима (4.04). На фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом највећи релативни утицај има независна варијабла Л (0.50). Резултати овог истраживања могу помоћи управљачу пута код доношења одлука о интервенцијама и инвестицијама на путној мрежи, те код пројектовања нових саобраћајница и реконструкције постојећих. Практична примјена развијеног модела спроведена је на државном путу ИБ-12, ради идентификације опасних руралних деоница. Предиктивни модел је представљао основу за

коршћење ЕБ метода у идентификацији опасних деоница и идентификовано је 5%, 10% и 20% опасних деоница. Поред тога, развијени модел је нарочито користан алат код спровођења Пројекте утицаја пута на безбједност саобраћаја (RSIA), јер представља нови метод у предвиђању фреквенције саобраћајних незгода, који може помоћи у доношењу одлуке код избора пројектне варијанте пута. Такође, резултати о утицају густине приступних путева на фреквенцију саобраћајних незгода представљају подршку у спровођењу савремених процедура Ревизија безбједности пута (RSA) и Провјера безбједности пута (RSI).

Кључне ријечи: Безбједност саобраћаја, Рурални путеви, Предикција, Фреквенција саобраћајних незгода, Уопштени линеарни модели

ABSTRACT

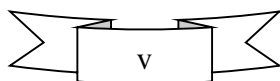
Traffic accidents are a major problem around the world, causing mortality, physical injuries, property damage and traffic congestion. By nature, they have the character of random events, and therefore, it is difficult to estimate the exact place and time of their occurrence, and the true nature of their impact. Although it is difficult to predict them precisely, preventative actions can be taken and their number in a certain period can be approximately predicted. The primary objective of this doctoral dissertation is the development of the accident frequency predictive model on rural roads, based on the traffic accidents history and a selected set of independent variables. The secondary objective is to evaluate the effects of traffic and geometric variables on the accident frequency. For the development of the accident frequency predictive model, data for the state road IB-12 (data on traffic accidents, traffic load, road geometric elements, etc.) are collected for the three-year period (2015-2017). After data collection, a dynamic segmentation process was performed, using four criteria: (1) traffic nodes, (2) traffic volume, (3) posted speed limit and (4) number of traffic lanes. As a result, 136 homogeneous segments were obtained as follows: 77 segments are located in the urban environment, and 59 in rural areas. The total length of the rural segments is 199.63 km. The sample size is 177 independent observations ($n = 177 = 59 * 3$). Modeling of traffic accidents was performed using four statistical models, i.e., Poisson, NB, ZIP and ZINB models. The total number of accidents, accidents with casualties and accidents with property damage were used as dependent variables in the tested models. A set of 19 independent variables is used. The model parameters were estimated using the Maximum likelihood method. The results of the research showed that the best performance, in terms of goodness-of-fit measures and predicting accidents, was shown by the NB model in comparison with other competing models (Poisson, ZIP and ZINB model). Upon completion of the modeling process, three accident frequency predictive models on rural roads were developed based on the NB model. Accident frequency predictive models of the total number of accidents and the fatal and injury accidents were built using six independent variables: L, PDGS, OGRBRZ, BRKRIV, GUSPUT and IRI, while the accident frequency predictive model of accidents with property damage was built using four independent variables as follows: L, PDGS, BRKRIV and GUSPUT. Of the 19 tested independent variables, it was found that 6 independent variables affect the accident frequency of the total number of accidents and the fatal and injury accidents, and 4 independent variables affect the accidents with property damage frequency. All independent variables had a positive sign. Estimation of the relative influence of independent variables was performed by elasticity analysis. The independent variable OGRBRZ has the highest relative influence on the accident frequency of the total number of accidents (1.60) and the fatal and injury accidents (4.04). The independent variable L (0.50) has the greatest relative influence on the accidents with property damage frequency. The results of this research can help the road authorities to make decisions about interventions and investments on the road network, and to design new roads and reconstruct existing ones. The practical application of the developed model was carried out on the state road IB-12, to identify dangerous rural road sections.

The predictive model was the basis for using the EB method in identifying dangerous road sections, and 5%, 10% and 20% of dangerous road sections were identified. In addition, the developed model is a particularly useful tool in implementing the Road Safety Impact Assessment (RSIA), since it represents a new method for predicting the accident frequency, which can help in deciding when choosing a design variant of the road. Also, the results of the impact of the access roads density on the accident frequency represent support in the implementation of modern procedures Road Safety Audit (RSA) and Road Safety Inspection (RSI).

Keywords: Road safety, rural roads, Prediction, Accident frequency, generalized linear models

ПОСВЕТА

*Посвећено мојој породици
супрузи Бранки и
кћерима Милицы, Ани и Катарини*



ЗАХВАЛНИЦА

Желио бих искористити ову прилику да се захвалим свима, који су ми помогли у истраживању.

Желио бих се захвалити свом ментору, проф. др. Драгану Јовановићу, што је примјетио мој интерес за науку, додијелио ми изазован пројекат и водио ме. Такође, желио бих му захвалити што је одвојио своје вријеме, како би ми помогао, ријешио недоумице и усмјерио у току истраживања. Увијек је био доступан, па чак и викендом и касним сатима.

Такође, желио бих се захвалити својој породици на стрпљењу и повјерењу које су имали у мене, без којих никада не бих могао завршити докторске студије.

У Новом Саду, 2019.

Спасоје Мићућ

САДРЖАЈ:

РЕЗИМЕ.....	i
АВСТРАСТ	iii
ПОСВЕТА.....	v
ЗАХВАЛНИЦА.....	vi
САДРЖАЈ:.....	vii
СПИСАК СЛИКА.....	x
СПИСАК ТАБЕЛА	xi
СПИСАК ГРАФИКОНА.....	xii
СПИСАК ЈЕДНАЧИНА.....	xiii
ЛИСТА АКРОНИМА И СКРАЋЕНИЦА.....	xv
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1. УВОД.....	1
1.2. САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ КАО ГЛОБАЛНИ ЗДРАВСТВЕНИ И ЕКОНОМСКИ ПРОБЛЕМ	3
1.2.1. Саобраћајне незгоде у Републици Србији	6
1.3. СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ	7
1.4. РЕФЕРЕНЦЕ	7
2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....	11
2.1. ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА.....	11
2.2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА.....	13
2.3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ПОЛАЗНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ.....	14
2.4. ПРИМЈЕЊЕНЕ МЕТОДЕ	15
2.5. НАУЧНА И ДРУШТВЕНА ОПРАВДАНОСТ	17
2.6. РЕФЕРЕНЦЕ	18
3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА НА ПОЉУ АНАЛИЗЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА.....	21
3.1. УВОД.....	21
3.2. ПОАСОНОВ РЕГРЕСИОНИ МОДЕЛ	23
3.3. НЕГАТИВНИ БИНОМНИ МОДЕЛ (НБ МОДЕЛ)	26
3.4. ПОАСОНОВ МОДЕЛ СА ВИШКОМ НУЛА (ЗИП МОДЕЛ).....	30
3.5. НЕГАТИВНИ БИНОМНИ МОДЕЛ СА ВИШКОМ НУЛА (ЗИНБ МОДЕЛ)	32

3.6. ПРЕГЛЕД ОСТАЛИХ СТАТИСТИЧКИХ МОДЕЛА ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА	35
3.7. ДИСКУСИЈА.....	36
3.8. РЕФЕРЕНЦЕ	37
4. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ	43
4.1. УВОД	43
4.2. ОБИМ САОБРАЋАЈА	43
4.3. ЕЛЕМЕНТИ ПУТА.....	44
4.3.1. Дужина деонице	45
4.3.2. Елементи попречног профила и окружења пута	45
4.3.3. Хоризонталне нивелете.....	46
4.3.4. Вертикалне нивелете.....	48
4.3.5. Стање површине коловоза	49
4.3.6. Приступни путеви	50
4.4. БРЗИНА	51
4.5. ВРЕМЕНСКИ УСЛОВИ	52
4.6. ДИСКУСИЈА.....	53
4.7. РЕФЕРЕНЦЕ	54
5. МОДЕЛОВАЊЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА	60
5.1. УВОД	60
5.2. ОДРЕЂИВАЊЕ МОДЕЛА И ПРОЦЈЕНА ПАРАМЕТАРА	60
5.3. ПРОВЈЕРА СЛАГАЊА МОДЕЛА СА ПОДАЦИМА И ПОРЕЂЕЊЕ МОДЕЛА	65
5.4. СТАТИСТИЧКО ЗАКЉУЧИВАЊЕ.....	67
5.5. ОГРАНИЧЕЊА У ПРОЦЕСУ МОДЕЛОВАЊА ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА	67
5.6. АЛГОРИТАМ РАЗВОЈА ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА	71
5.7. РЕФЕРЕНЦЕ	72
6. РАЗВОЈ ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЈЕНУ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА.....	74
6.1. УВОД	74
6.2. ПРИКУПЉАЊЕ И ПРИПРЕМА ПОДАТАКА	77
6.3. СЕГМЕНТАЦИЈА ПУТНИХ ДЕОНИЦА	79
6.4. ПРЕЛИМИНАРНА АНАЛИЗА.....	82
6.4.1. <i>Анализа са једном независном промјенљивом</i>	85

6.5. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ УКУПНОГ БРОЈА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА	88
6.5.1. <i>Једначина модела</i>	91
6.5.2. <i>Анализа еластичности</i>	91
6.6. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА СА НАСТРАДАЛИМ ЛИЦИМА	92
6.6.1. <i>Једначина модела</i>	96
6.6.2. <i>Анализа еластичности</i>	96
6.7. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА СА МАТЕРИЈАЛНОМ ШТЕТОМ.....	97
6.7.1. <i>Једначина модела</i>	100
6.7.2. <i>Анализа еластичности</i>	100
6.8. ДИСКУСИЈА.....	101
6.9. РЕФЕРЕНЦЕ	103
7. ПРИМЈЕНА ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА НА ДРЖАВНОМ ПУТУ ІБ РЕДА ..	107
7.1. УВОД	107
7.2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ.....	109
7.2.1. <i>Прикупљање података</i>	109
7.2.2. <i>Методe идентификације опасних деоница</i>	109
7.3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА.....	112
7.4. ДИСКУСИЈА.....	116
7.5. РЕФЕРЕНЦЕ	117
8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА	119
8.1. ЗАКЉУЧАК	119
8.2. ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА.....	120
9. ЛИТЕРАТУРА	122
ПРИЛОЗИ.....	137
ПРИЛОГ 1. ИСПИС ИЗ ИНТЕГРИСАНЕ БАЗЕ ПОДАТАКА (%ПА, %БУС, %КОМ, ПГДС).....	138
ПРИЛОГ 2. ИСПИС ИЗ ИНТЕГРИСАНЕ БАЗЕ ПОДАТАКА (СНМАТ, СНН, СНТОТАЛ)	148

СПИСАК СЛИКА

Слика 1.1	Фактори који доприносе настанку саобраћајне незгоде.....	2
Слика 1.2	Становништво, број погинулих у саобраћајним незгодама и број регистрованих возила, према статусу прихода земаља у 2013.....	3
Слика 1.3	Процент смртних случајева по типу подручја у ЕУ, 2014.....	5
Слика 1.4	Број погинулих лица у ЕУ, период 2001-2014. година.....	5
Слика 1.5	Број погинулих и повријеђених лица у Републици Србији, период 1981-2017.....	6
Слика 5.1	Извори грешака и губитак података у званичним евиденцијама о саобраћајним незгодама.....	68
Слика 5.2	Алгоритам развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода.....	71
Слика 6.1	Положај АП Војводине, унутар Републике Србије, на мапи Европе.....	74
Слика 6.2	Региони АП Војводине.....	75
Слика 6.3	Траса државног пута ИБ-12.....	77
Слика 6.4	Методe сегментације путних деоница.....	80
Слика 6.5	Путни сегменти државног пута ИБ-12.....	81
Слика 6.6	Хомогени сегменти на руралним деоницама државног пута ИБ-12.....	82
Слика 7.1	Траса државног пута ИБ-12 (рурални путни сегменти).....	109

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 6.1	Број регистрованих возила према типу возила, АП Војводина, 2015-2017.	76
Табела 6.2	Саобраћајне деонице државног пута ИБ-12.....	76
Табела 6.3	Дескриптивна статистика зависних и независних промјенљивих.....	83
Табела 6.4	Прелиминарна анализа – укупан број саобраћајних незгода.....	85
Табела 6.5	Прелиминарна анализа – саобраћајне незгоде са настрадалним лицима...	86
Табела 6.6	Прелиминарна анализа – саобраћајне незгоде са материјалном штетом...	87
Табела 6.7	Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНТОТАЛ.....	88
Табела 6.8	Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНТОТАЛ.....	89
Табела 6.9	Индекси подесности и поређење модела – СНТОТАЛ.....	90
Табела 6.10	Анализа еластичности (НБ модел) – СНТОТАЛ.....	92
Табела 6.11	Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНН.....	93
Табела 6.12	Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНН.....	94
Табела 6.13	Индекси подесности и поређење модела – СНН.....	95
Табела 6.14	Анализа еластичности (НБ модел) – СНН.....	96
Табела 6.15	Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНМАТ.....	97
Табела 6.16	Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНМАТ.....	98
Табела 6.17	Индекси подесности и поређење модела – СНМАТ.....	99
Табела 6.18	Анализа еластичности (НБ модел) – СНМАТ.....	101
Табела 7.1	Рурални хомогени сегменти државног пута ИБ-12.....	112
Табела 7.2	Резултати процјене четири методе за идентификацију првих 5%, 10% и 20% деоница.....	115
Табела 7.3	Тест конзистентности локације.....	116
Табела 7.4	Тест конзистентности методе.....	117
Табела 7.5	Тест укупне разлике ранга.....	117

СПИСАК ГРАФИКОНА

График 6.1	Фреквенција саобраћајних незгода на руралним сегментима.....	84
------------	--------------------------------------------------------------	----

СПИСАК ЈЕДНАЧИНА

Једначина	3.1.....	22
Једначина	3.2.....	24
Једначина	3.3.....	27
Једначина	3.4.....	32
Једначина	5.1.....	61
Једначина	5.2.....	61
Једначина	5.3.....	61
Једначина	5.4.....	61
Једначина	5.5.....	62
Једначина	5.6.....	62
Једначина	5.7.....	62
Једначина	5.8.....	62
Једначина	5.9.....	62
Једначина	5.10.....	63
Једначина	5.11.....	63
Једначина	5.12.....	63
Једначина	5.13.....	63
Једначина	5.14.....	63
Једначина	5.15.....	64
Једначина	5.16.....	64
Једначина	5.17.....	64
Једначина	5.18.....	64
Једначина	5.19.....	64
Једначина	5.20.....	64
Једначина	5.21.....	64
Једначина	5.22.....	65
Једначина	5.23.....	65
Једначина	5.24.....	65
Једначина	5.25.....	65
Једначина	5.26.....	65
Једначина	5.27.....	65
Једначина	5.28.....	65
Једначина	5.29.....	65
Једначина	5.30.....	65
Једначина	5.31.....	66
Једначина	5.32.....	66
Једначина	5.33.....	66
Једначина	5.34.....	66
Једначина	5.35.....	66
Једначина	5.36.....	66
Једначина	5.37.....	66
Једначина	5.38.....	67
Једначина	5.39.....	67
Једначина	6.1.....	91

Једначина	6.2.....	91
Једначина	6.3.....	96
Једначина	6.4.....	100
Једначина	7.1.....	111
Једначина	7.2.....	111
Једначина	7.3.....	111
Једначина	7.4.....	113
Једначина	7.5.....	113

ЛИСТА АКРОНИМА И СКРАЋЕНИЦА

Списак скраћеница на српском језику – ћирилично писмо

АП Војводина	Аутономна покрајина Војводина
БДП	Бруто друштвени производ
ГЛМ	Уопштени линеарни модели
ЕБ метода	Емпиријска Бајесова метода
ЕУ	Европска унија
ЗИНБ модел	Негативни биномни модел са вишком нула
ЗИП модел	Поасонов модел са вишком нула
МЛ метод	Метода максималне вјеродостојности
МУП	Министарство унутрашњих послова
НБ модел	Негативни биномни модел
НМ модел	Негативни мултиномни модел
ОЕЦД	Организација за економску сарадњу и развој
ПГДС	Просјечан годишњи дневни саобраћај
ПДС	Просјечан дневни саобраћај
РЕНБ модел	Негативног биномног модела са случајним ефектима
САД	Сједињене Америчке Државе
СЗО	Свјетска здравствена организација
УН	Уједињене нације
ХНБ модел	Хетерогени негативни биномни модел

Списак скраћеница на српском језику – латинично писмо

AIC	Акаикеов информациони критеријум
BIC	Бајесов информациони критеријум
CCR	Метода критичне стопе саобраћајних незгода
CF	Метода фреквенције саобраћајних незгода
CR	Метода стопе саобраћајних незгода
IRI	Индекс равности пута
PCR	Ранг стања коловоза
PSi	Индекс садашње употребљивости пута
PSI	Потенцијал за унапређење безбједности локације
RTM	Регресија ка средњој вриједности

Списак скраћеница на енглеском језику

CURE method	Cumulative Residuals Method
IDT	The Indiana Department of Transportation
MAD	Mean Absolute Deviation
MSPE	Mean Squared Predictive Error
RSA	Road Safety Audit
RSIA	Road Safety Impact Assessment
RSI	Road Safety Inspection

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

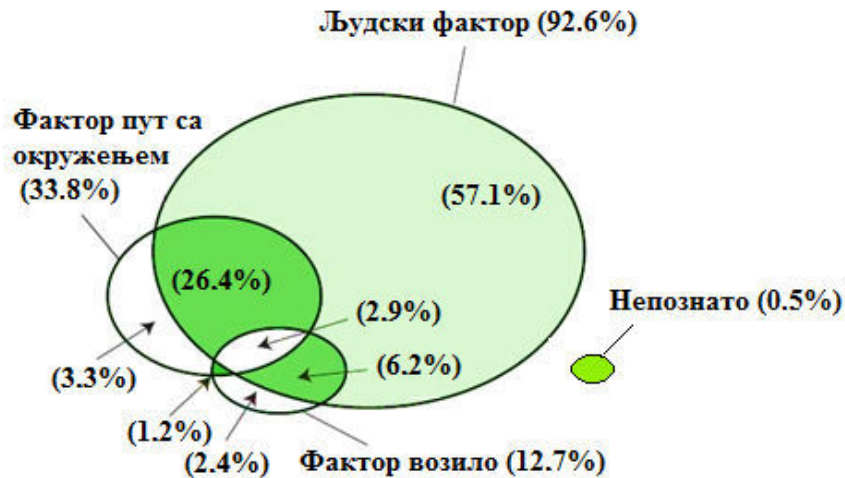
1.1. УВОД

Развој савременог друштва захтјева развој саобраћаја, а посебно друмског саобраћаја, који се у савременом друштву сматра једним од основних стубова развоја. Напредак или слабљење цивилизације, кроз историју су били условљени стањем саобраћаја. Унапређење друмског саобраћаја директно доприноси бољем повезивању људи, те транспорту људи и материјалних добара, а индиректно у обављању привредне дјелатности, трговине, туризма и уопште функционисања савременог човјека. Међутим, напредак друмског саобраћаја има и штетну страну, која се манифестује саобраћајним незгодама, исцрпљивању природних ресурса, загађивањем околине отпадним материјалима, гасовима и буком. Саобраћајне незгоде су препознате широм свијета као глобални, здравствени, друштвени и економски проблем. Економски развој, повећање степена моторизације и урбанизације у ниско и средње развијеним државама производи одређени притисак на путну инфраструктуру, која није спремна да се носи са таквим повећањем броја возила и људи. Због тога, УН, СЗО, Глобално партнерство за безбједност саобраћаја и Свјетска банка припремиле су низ резолуција, директива, планова, стратегија и препорука чији је циљ смањивање страдања на путевима широм свијета, а посебно у земљама у развоју.

Безбједност саобраћаја је научна дисциплина, која се бави изучавањем негативних ефеката и последица саобраћаја, те методама њиховог смањивања ([Lipovac et al., 2014](#)). С обзиром да су саобраћајне незгоде најзначајнији негативни ефекат саобраћаја, њима је потребно посветити посебну пажњу. Саобраћајне незгоде су повезане са бројним проблемима, а сваком утицајном фактору потребно је посветити посебну пажњу. Фактори човјек, возило, пут са окружењем играју значајну улогу прије, током и након саобраћајне незгоде ([Baker & Haddon, 1974](#)). Ефикасно управљање безбједношћу саобраћаја постиже се директим утицајем на три најзначајнија утицајна фактора. Највећи број саобраћајних незгода на путевима настаје усљед људске грешке (Слика 1.1). [Treat et al. \(1979\)](#) су идентификовали људски фактор као могући узрок у 92,6% саобраћајних незгода (у 57,1% саобраћајних незгода могући узрок је био само људски фактор, а у 35,5% саобраћајних незгода у комбинацији са факторима возило и пут са окружењем). Фактор пута са окружењем у свакој трећој саобраћајној незгоди има бар неки утицај, док је фактор возило могући узрок у 12,7% саобраћајних незгода.

Један од послова истраживача, стручњака и инжењера безбједности саобраћаја је анализа саобраћајних незгода и разумјевање утицајних фактора. [Mannering & Bhat \(2014\)](#) су направили мета-анализу постојећих аналитичких метода у истраживању саобраћајних незгода. Аутори су дали преглед фундаменталних питања, која нису у потпуности рјешена и често су превиђена од стране истраживача. Претходних година развијени су разни модели за предвиђање фреквенције саобраћајних незгода, који су истраживали ефекте различитих варијабли, које доприносе настанку саобраћајних незгода ([Lord & Mannering, 2010](#)). За анализу фреквенције саобраћајних незгода углавном се користе статистички модели, који користе податке да изразе безбједност „јединице“ пута у функцији њихових карактеристика (обима саобраћаја, елемената геометрије пута, временских услова и сл.). Под појмом јединице пута подразумјева се деоница пута, раскрсница, возило или учесник у саобраћају ([Hauer, 2015](#)). Претходна истраживања су показала да недоследност у геометријским

елементима пута ([Shankar et al., 1995](#); [Qin et al., 2004](#); [Cafiso et al., 2010](#); [Vayalamkuzhi & Amirthalingam, 2016](#)), операцијама (мјешовити саобраћај, обим саобраћаја и брзина) ([Milton & Mannering, 1998](#); [Qin et al., 2004](#); [Cafiso et al., 2010](#); [Ayati & Abbasi, 2014](#)), окружењу ([Shankar et al., 1995](#); [Cafiso et al., 2010](#)) и понашању возача ([Wouters & Bos, 2000](#); [Jovanović et al., 2011](#); [Strawderman et al., 2015](#)) представљају факторе, који значајно доприносе настанку саобраћајних незгода. Утицај ових фактора је могуће предвидјети и превентивно дјеловати.



Слика 1.1: Фактори који доприносе настанку саобраћајне незгоде (адаптирано према: [Treat et al., 1979](#))

Предиктивни модели саобраћајних незгода дају процјену очекиване фреквенције саобраћајних незгода у функцији карактеристика саобраћајног тока и геометријских елемената пута. Модели представљају математичку формулу, која описује однос између броја саобраћајних незгода и различитих предиктивних варијабли (саобраћајни ток, геометријски елементи пута, временске прилике и сл.). Они користе историју саобраћајних незгода за утврђивање релације ([Eenink et al., 2008](#)). Регресиона једначина која повезује фреквенцију саобраћајних незгода са саобраћајем, геометријским условима и сл. се увелико користи у савременој анализи безбједности пута ([Hauer, 1997](#)). У претходном периоду ови модели су коришћени за процјену безбједности пута, ради идентификовања црних тачака и спровођењу „прије и после“ студије. [Persaud \(2001\)](#) тврди да предиктивни модели треба да обухвате шири спектар предиктивних варијабли. Поред узрочних варијабли, треба да се обухвате и варијабле повезане са саобраћајним незгодама тј. категоричке варијабле (нпр: контрола саобраћаја, врста пута, раздвојен/не раздвојен саобраћај и сл.).

Модели предвиђања фреквенције саобраћајних незгода првенствено дају процјену безбједности, кроз анализу утицаја различитих експлораторних варијабли (предиктора). Дјеловањем на поједине предикторе може се утицати на стање безбједности саобраћаја. Предиктивни модели се могу користити у бенчмаркинг некоег пута. На примјер, ако је очекиван број саобраћајних незгода на посматраном путу знатно мањи од онога који је утврђен у претходном периоду, очиглено је да постоје неки недостаци у пројекту пута. Ови модели омогућавају управљачу пута да изабере пројектне стандарде који су најпогоднији са аспекта безбједности пута и омогућавају поређење између пројекта и алтернатива, како би се оптимизирала укупна безбједност саобраћајног система под ограниченим ресурсима и

другим ограничењима. Поред тога, ови модели се могу користити за тестирање осјетљивости стопе саобраћајних незгода на промјене у одређеним варијаблима (геометријским, саобраћајним и сл.). Такође, њихова употреба може помоћи управљачу пута код доношења одлука о интервенцијама на путној мрежи, те код реконструкције постојећих саобраћајница.

1.2. САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ КАО ГЛОБАЛНИ ЗДРАВСТВЕНИ И ЕКОНОМСКИ ПРОБЛЕМ

Саобраћајне незгоде представљају велики проблем широм свијета узрокујући смртност, физичке повреде, материјалну штету и загушења у саобраћају. Налазе се на осмом мјесту узрока смртности у свијету, а предвиђа се да ће до 2030. године бити на петом мјесту ([WHO, 2013](#)). Више од 1.2 милиона људи годишње, широм свијета, погине у саобраћајним незгодама. Сваки дан преко 3.000 живота се изгуби и стотине хиљада људи буде повријеђено у саобраћајним незгодама. Већина погинулих се догоди у ниско и средње развијеним земљама, гдје је економски раст праћен повећањем степена моторизације и броја становника. У периоду 2010-2013. године свјетска популација се повећала за 4%, а број регистрованих возила за 16% ([WHO, 2015](#)).



Слика 1.2: Становништво, број погинулих у саобраћајним незгодама и број регистрованих возила, према статусу прихода земаља у 2013. (адаптирано према: [WHO, 2015](#))

У ниско и средње развијеним земљама живи 82% популације, а у саобраћајним незгодама је погинуло 90% од укупног броја погинулих лица у саобраћајним незгодама широм свијета. Ове земље имају несразмјеран број погинулих у односу на њихов степен моторизације, јер се у њима региструје само 54% моторних возила (Слика 1.2). Само у САД-у током 2015. године догодило се 6,296.000 саобраћајних незгода у којима је погинуло 35.092 људи и повријеђено око 2,443.000 људи. Просјечно око 96 људи дневно погине у саобраћајним незгодама односно један људски живот буде угашен сваких 15 минута ([NHTSA, 2017a](#)). У 2014. години на путевима ЕУ у саобраћајним незгодама погинуло је око 26.000 људи, док је више од 1.3 милиона људи повријеђено ([ЕС, 2016](#)). Ипак највећи јавни ризик има афрички регион, који је са 24,1 погинулих на 100.000 становника у 2010. години ([Peden et al., 2013](#)) порастао на 26,6 погинулих на 100.000 становника у 2013. години (WHO, 2015). Најмањи

ризик од страдања у саобраћајним незгодама има европски регион (9,3 погинулих на 100.000 становника), који је далеко од глобалног просјека од 17,4 погинулих на 100.000 становника ([Jackisch et al., 2016](#)).

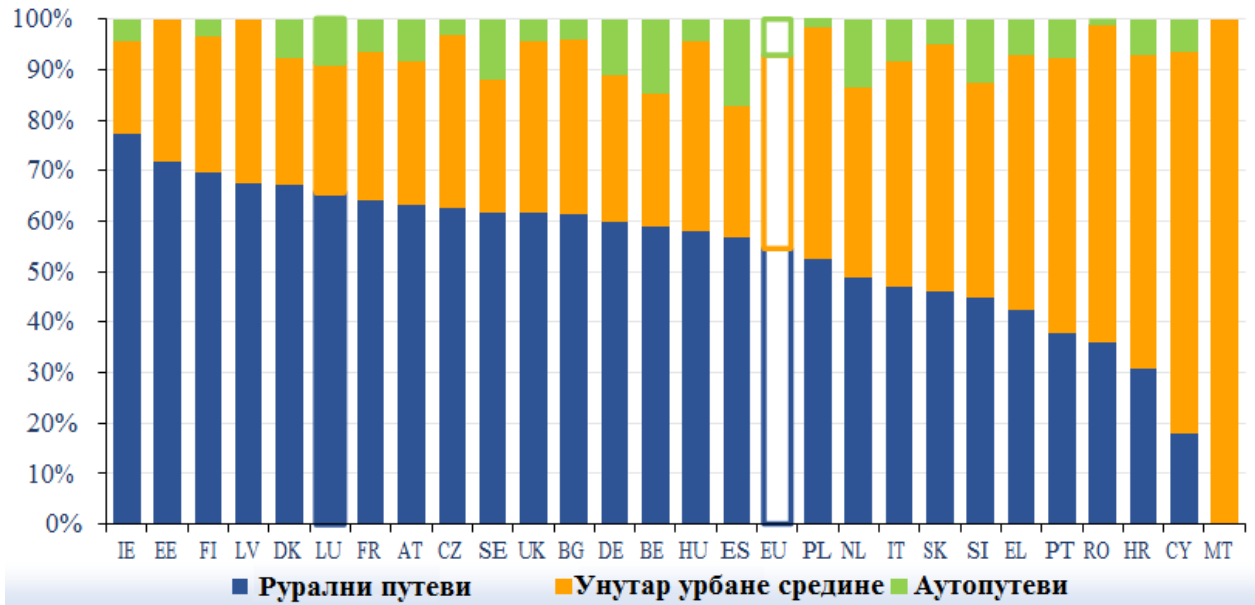
Саобраћајне незгоде узрокују значајне социјалне и економске трошкове. Процијењено је да су економски губици због саобраћајних незгода, страдања и повреде у друмском саобраћају од 2% до 5% БДП-а у ниско и средње развијеним земљама ([Raffo et al., 2014](#)). Генерално, процијењено је да се 3% БДП-а губи због смртних страдања и повреда у друмском саобраћају ([WHO, 2015](#)). Трошкови саобраћајних незгода у ниско и средње развијеним земљама су око 100 милијарди долара годишње ([WHO, 2013](#)). Груба процјена је да трошкови саобраћајних незгода у свијету износе око 518 милијарди долара годишње ([Aeron-Thomas et al., 2000](#)). У свом истраживању [Elvik \(2000\)](#) је идентификовао три главне компоненте трошкова саобраћајних незгода. Прва компонента су директни трошкови саобраћајних незгода, који укључују трошкове здравствених услуга, трошкове поправке и замјене оштећених возила и објеката, те административне трошкове. У другу компоненту спадају индиректни трошкови саобраћајних незгода, који укључују губитке због преране смрти, трошкове усљед трајних оштећења и инвалидности и трошкове усљед привременог одсуства са посла због саобраћајне незгоде. Трећу компоненту чини губитак квалитета живота жртава саобраћајних незгода, у којој је садржана бол и патња жртава саобраћајних незгода и некомпензована бол и недостатак жртве родбини. Анализа коју је спровео [iRAP \(2014\)](#) на основу студија случаја широм свијета, показала је да се проценат погинулих и тешко повријеђених лица може смањити са примјеном адекватних и исплативих инжењерских рјешења.

У претходном периоду велика пажња је посвећена утицају урбане и руралне средине на саобраћајне незгоде. Пuteви у овим срединама се међусобно разликују по геометрији пута, окружењу, брзини и проблемима безбједности саобраћаја ([Lipovac et al., 2014](#)). Ризик од страдања на руралним путевима по пређеном километру генерално је већи него код путева у урбаним срединама, а четири до шест пута је већи него код аутопутева. Руралне путеве карактеришу велике варијације у геометрији пута и обиму саобраћаја ([OECD, 1999](#)). Саобраћајне незгоде на руралним путевима у САД-у однијеле су 18.590 људских живота односно 50% од укупног броја погинулих у 2016. години. На руралним путевима се догодило 16.736 (48%) саобраћајних незгода са погинулим лицима широм САД ([NHTSA, 2018](#)).

На аутопутевима ЕУ, у 2014. години, погинуло је 7% од укупног броја погинулих, 55% на руралним путевима и 38% унутар урбаних подручја (Слика 1.3). Посматрајући руралне путеве по државама ЕУ, онда видимо да процентуално највише погинулих имају Ирска (77,13%), Естонија (71,79%) и Финска (69,43%). Најмање погинулих на руралним путевима имали су Малта (0%), Кипар (17,78%) и Хрватска (30,84%). У земљама ОЕЦД-а 60% од укупног броја погинулих чине погинули на руралним путевима. Резултујући социо-економски трошкови износе око 135 милијарди долара годишње ([OECD, 1999](#)).

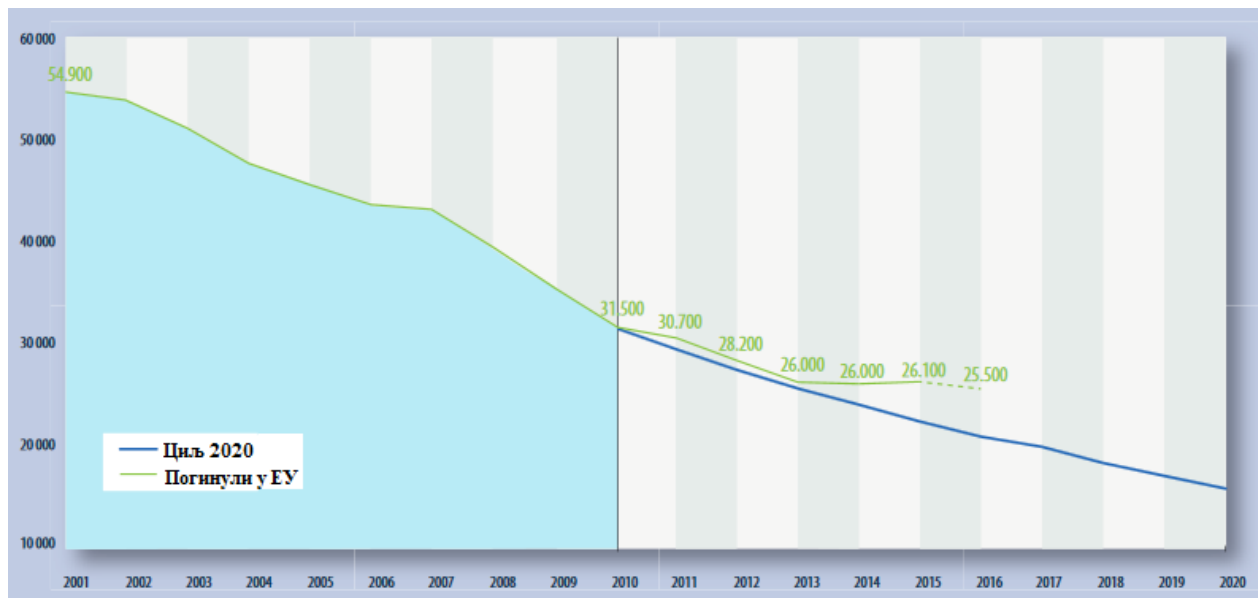
Тренд пораста броја саобраћајних незгода и настрадалих лица се може промијенити системским приступом проблему, предузимањем адекватних мјера и координацијом активности кључних субјеката у систему безбједности саобраћаја. Широм свијета земље се на различите начине супротстављају овом проблему. Позитивне примјере представљају активности у САД-у и ЕУ. У периоду 2001-2015. године у САД-у број саобраћајних незгода са погинулим смањен је за 15%, док је број погинулих смањен за 16,8%. У истом периоду јавни ризик је смањен са 14,81 на 10,92 погинулих на 100.000 становника ([NHTSA, 2017b](#)). ЕУ има тренд смањења броја погинулих у периоду 2001-2014. године (Слика 1.4).

1. Уводна разматрања



Слика 1.3: Процент смртних случајева по типу подручја у ЕУ, 2014.
(извор података: [CARE, 2016](#))

У 2000. години врло мало држава чланица ЕУ је имало стопу смртности мању од 80 погинулих на 1,000.000 становника. У 2014. години само пет држава чланица ЕУ имало је стопу смртности изнад тога, а просјек ЕУ је 51 погинули на 1,000.000 становника. За период 2010-2020. године ЕУ је поставила амбициозан циљ да се број погинулих на европским путевима преполови, али тај план иде нешто споријом динамиком, јер је у периоду 2010-2014. године постигнуто смањење од 18% ([ЕС, 2016](#)).



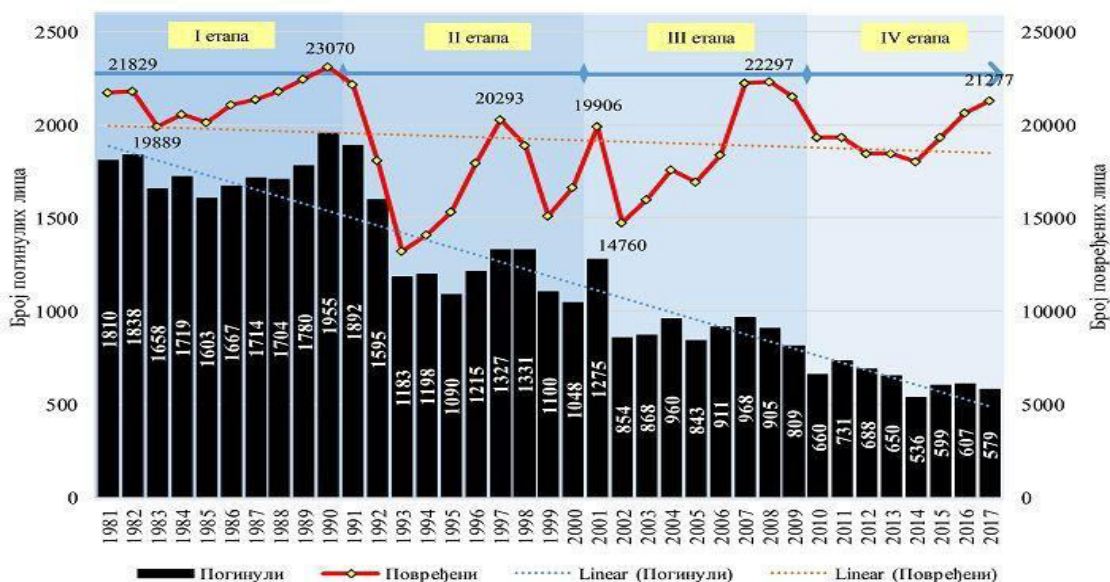
Слика 1.4: Број погинулих лица у ЕУ, период 2001-2014.
(извор података: [CARE, 2016](#))

Сви кључни субјекти у систему безбједности саобраћаја (владе држава, управљачи путне инфраструктуре, саобраћајна полиција и сл.) треба да предузму одговарајуће кораке и мјере за подизање нивоа безбједности саобраћаја и смањења броја саобраћајних незгода и настрадалих. Ефикасне интервенције укључују изградњу капацитета и системско управљање безбједношћу саобраћаја, пројектовање безбједније путне инфраструктуре и примјена савремених процедура за унапређење безбједности пута, примјена и уграђивање безбједносних елемената у процесу планирања намјене површина и транспорта, побољшање безбједносних карактеристика возила, побољшање заштите рањивих учесника у саобраћају и побољшање збрињавања након саобраћајне незгоде.

1.2.1. Саобраћајне незгоде у Републици Србији

Република Србија спада у ред средње развијених земаља са БДП-ом од US\$ 6,050 по становнику (WHO, 2015). У периоду 2001-2017. године у саобраћајним незгодама погинуло је 13.443 лица, а повријеђено преко 275.000 лица. На путевима Републике Србије у просјеку годишње погине око 782 лица, а повријеђено буде преко 19.095 лица. Број погинулих лица у саобраћајним незгодама има тренд пада, а у периоду 2001-2017. године број погинулих лица је смањен за 54,59%. Са друге стране, у истом периоду број повријеђених лица у саобраћајним незгодама се повећао за 6,44% (Слика 1.5). Директни и индиректни трошкови саобраћајних незгода у Републици Србији достижу суму од најмање 470.000.00 € по глави смртно страдалог у саобраћају (Sl. glasnik RS, 2015).

Хијерархијско уређење путне мреже према значају саобраћајног повезивања у Републици Србији представља подјелу путева на: државне путеве I реда, државне путеве II реда, општинске путеве и улице (Sl. glasnik RS, 2005). Са аспекта безбједности саобраћаја, путеви се дијеле у три категорије: аутопутеви или брзи путеви (државни путеви IA реда), рурални или отворени путеви (државни путеви IB, IIA и IIB реда) и општински (градски) путеви и улице (ABS, 2017).



Слика 1.5: Број погинулих и повријеђених лица у Републици Србији, период 1981-2017. (извор података: ABS, 2018)

Према истраживањима које је спровела [ABS \(2017\)](#) у 2015. години највише саобраћајних незгода са погинулим било је на руралним – отвореним државним путевима (48,7%), затим на општинским путевима (25,9%) и 17,7% на аутопутевима. Саобраћајне незгоде са повређеним лицима (49,3%) и материјалном штетом (62,5%) се највише догађају на општинским путевима и улицама, а најмање на аутопутевима (8,6% и 7,8% респективно).

1.3. СТРУКТУРА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација је организована у осам поглавља, и то:

I Поглавље даје уводна разматрања о саобраћајним незгодама као глобалном проблему. Такође, у оквиру овог поглавља дат је предлед стања безбедности саобраћаја у свијету, са посебним освртом на стање у Републици Србији.

II Поглавље дефинише проблем и предмет истраживања докторске дисертације. Поред тога, дате су примјењене методе у реализацији истраживања. Дефинисан је циљ истраживања и хипотезе. На крају овог поглавља дата је научна и друштвена оправданост докторске дисертације.

III Поглавље описује досадашња истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода. Посебан осврт направљен је за групу статистичких модела тзв. модела пребројивих догађаја. Анализирани су Поасонов регресиони модел, Негативни биномни модел, Поасонов модел са вишком нула и Негативни биномни модел са вишком нула. Истакнуте су предности и недостаци ових статистичких модела.

IV Поглавље даје преглед литературе у вези утицајних фактора на фреквенцију саобраћајних незгода. Идентификовани су најзначајнији фактори везани за одвијање саобраћаја и пут, а који доприносе настанку саобраћајних незгода.

V Поглавље описује процес моделовања фреквенције саобраћајних незгода. У оквиру овог поглавља објашњени су кораци у процесу моделовања и представљена је математичка интерпретација коришћених статистичких модела. На крају поглавља су обрађена потенцијална ограничења у процесу моделовања.

VI Поглавље описује резултате истраживања и процес прикупљања података. Прво је објашњен процес прикупљања података, а затим је дата дескриптивна анализа прикупљених података. Након тога су представљени резултати моделовања и дата је дискусија добијених резултата. На крају су представљени развијени предиктивни модели фреквенције саобраћајних незгода.

VII Поглавље даје примјену развијеног предиктивног модела, за укупан број саобраћајних незгода, у поступку идентификације опасних деоница на путу. Представљено је и дискутовано неколико мјера идентификације опасних деоница, са посебним освртом на ЕБ методу.

VIII Поглавље даје најзначајније закључке на основу спроведеног истраживања и препоруке за даља истраживања.

1.4. РЕФЕРЕНЦЕ

[ABS, 2017. Pregledni izveštaj, Uticaj puta na bezbednost saobraćaja. Agencija za bezbednost saobraćaja, Beograd.](#)

[ABS, 2018. Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2017. godini. Agencija za bezbednost saobraćaja, Beograd.](#)

- [Aeron-Thomas, A., Astrop, A., & Jacobs, G. \(2000\). Estimating global road fatalities. TRL REPORT 445.](#)
- [Ayati, E., & Abbasi, E. \(2014\). Modeling Accidents on Mashhad Urban Highways. Open Journal of Safety Science and Technology, 4\(01\), 22.](#)
- [Baker, S. P., & Haddon Jr, W. \(1974\). Reducing injuries and their results: the scientific approach. The Milbank Memorial Fund Quarterly. Health and Society, 377-389.](#)
- [Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. \(2010\). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. Accident Analysis & Prevention, 42\(4\), 1072-1079.](#)
- [Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., & Stefan, C. \(2008\). Accident prediction models and road safety impact assessment: recommendations for using these tools. Institute for Road Safety Research, Leidschendam.](#)
- [Elvik, R. \(2000\). How much do road accidents cost the national economy?. Accident Analysis & Prevention, 32\(6\), 849-851.](#)
- [European Commission, 2016. Annual Accident Report. European Commission, Directorate General for Transport](#)
- [Hauer, E. \(1997\). Observational before-after studies in road safety--estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety.](#)
- [Hauer, E. \(2015\). The art of regression modeling in road safety \(Vol. 38\). Springer.](#)
- [iRAP \(2014\), Business Case for Safer Roads, International Road Assessment Programme \[www.irap.org/en/about-irap-2/a-business-case-for-safer-roads\]\(http://www.irap.org/en/about-irap-2/a-business-case-for-safer-roads\)](#)
- [Jackisch, J., Sethi, D., Mitis, F., Szymański, T., & Arra, I. \(2016\). European facts and the global status report on road safety 2015. Injury Prevention, 22\(Suppl 2\), A29-A29.](#)
- [Jovanović, D., Lipovac, K., Stanojević, P., & Stanojević, D. \(2011\). The effects of personality traits on driving-related anger and aggressive behaviour in traffic among Serbian drivers. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 14\(1\), 43-53.](#)
- [Lipovac, K., Jovanović, D., & Vujanić, M. \(2014\). Osnove bezbednosti saobraćaja. JP „Službeni glasnik“, Beograd. ISBN 978-86-7020-301-3.](#)
- [Lord, D., & Mannering, F. \(2010\). The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44\(5\), 291-305.](#)
- [Mannering, F. L., & Bhat, C. R. \(2014\). Analytic methods in accident research: methodological frontier and future directions. Analytic Methods in Accident Research, 1, 1-22.](#)
- [Milton, J., & Mannering, F. \(1998\). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. Transportation, 25\(4\), 395-413.](#)

National Center for Statistics and Analysis. (2017a, February). Summary of motor vehicle crashes (Early edition): 2015 data. (Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 376). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

National Center for Statistics and Analysis. (2017b). A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System: 2015 data. (Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 384). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

National Center for Statistics and Analysis. (2018, April). Rural/urban comparison of traffic fatalities: 2016 data. (Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 521). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

OECD (1999), Safety Strategies for Rural Roads, OECD Publishing, Paris.

Peden, M., Kobusingye, O., & Monono, M. E. (2013). Africa's roads-the deadliest in the world. *SAMJ: South African Medical Journal*, 103(4), 228-229.

Persaud, B. N. (2001). *Statistical methods in highway safety analysis* (No. Project 20-5 FY 1999).

Raffo, V., Bose, D., & Shotten, M. (2014). *Measuring Road Safety Performance Through Regional Observatory in Latin America* (No. 87824).

Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.

Sl. glasnik RS (2005). Zakon o javnim putevima. Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije, 101/2005.

Sl. glasnik RS (2015). Strategija bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije za period od 2015. do 2020. godine. Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije, 64/2015.

Strawderman, L., Rahman, M. M., Huang, Y., & Nandi, A. (2015). Driver behavior and accident frequency in school zones: assessing the impact of sign saturation. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 118-125.

Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Executive summary.

Vayalamkuzhi, P., & Amirthalingam, V. (2016). Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*.

World Health Organization, 2013. Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

World Health Organization, 2015. Global Status Report on Road Safety 2015. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

[Wouters, P. I., & Bos, J. M. \(2000\). Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders. Accident Analysis & Prevention, 32\(5\), 643-650.](#)

2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

2.1. ПРОБЛЕМ ИСТРАЖИВАЊА

Друмски саобраћајни систем је комплексан динамички систем састављен од различитих елемената који су међусобно повезани и остварују међусобну интеракцију. [Sterman \(2000\)](#) тврди да динамичка комплексност настаје због сталног мијењања система, снажне међусобне интеракције актера у систему и интеракције са окружењем, постојања повратних информација унутар система, нелинеарности комплексних система (посљедица је ријетко пропорционална узроку), историјске зависности, самоорганизовања система, способности прилагођавања комплексног система и политике отпора комплексног система (многа наизглед очигледна рјешења подбаце или заправо погоршају проблем). Саобраћајни систем се веома брзо развија, а при томе ствара контрадикторности код основних елемената система. Контрадикторности између човјека, возила и пута са окружењем у друмском саобраћајном систему узрокују све више и више саобраћајних незгода и других проблема у систему, те постају уска грла у развоју саобраћаја. Као одговор, неопходно је изградити систем превентивног дјеловања и разних мјера за спречавање и смањивање штетних посљедица.

Успостављање, управљање и одржавање заштитног система унутар саобраћајног система је један од основних задатака безбједности друмског саобраћаја. Она представља мултидисциплинарну област пред којом се постављају сложени задаци на теоријском, феноменолошком, етиолошком, превентивном и терапеутском плану ([Inić, 2001](#)). Процес управљања безбједношћу саобраћаја има важну улогу у напорима државе како би се побољшала безбједност саобраћаја на путевима. Ефикасно управљање подразумјева организован заштитни систем и успјешно спровођење управљања у пракси, са тендецијом сталног смањења броја саобраћајних незгода и страдања у саобраћају. Један од недостатака у систему управљања безбједношћу саобраћаја је непостојање поузданог метода за процјену броја саобраћајних незгода и безбједносних перформанси на постојећим или планираним путевима. Систем прикупљања и евидентирања саобраћајних незгода је развијен у многим државама и омогућава праћење безбједносних перформанси пута у претходном периоду. Управљање безбједношћу саобраћаја захтјева проактивно дјеловање, јер инжењери, задужени за безбједност саобраћаја у управљачима путева, не треба да знају какве су безбједносне перформансе пута биле у далекој или недавној прошлости, него какве су данас и шта их очекује у будућности у зависности од спроведених акција и предузетих мјера.

Најзначајнији негативни ефекат друмског саобраћајног система су саобраћајне незгоде. Саобраћајне незгоде по природи имају карактер случајних догађаја ([Elvik et al., 2009](#)), тако да је тачно мјесто и вријеме њиховог настанка, као и тачну природу њиховог утицаја тешко предвидјети. Иако их је тешко прецизно предвидјети, може се превентивно дјеловати и приближно предвидјети њихов број у неком временском периоду. Доступност података о саобраћајним незгодама је један од предуслова за сваки ефикасан систем управљања безбједношћу саобраћаја. Идентификовање и дефинисање релевантних проблема заједно са знањем (извучено из доступних података) и параметрима који описују проблем је кључно за успјешно рјешавање проблема. Свеобухватни и ажурни подаци о саобраћајним незгодама су неопходни за препознавање обима проблема безбједности саобраћаја. Поуздани и релевантни подаци омогућавају препознавање утицајних фактора. Ипак, подаци о

саобраћајним незгодама нису довољни за адекватну реакцију система, јер њих карактерише висока варијабилност. С обзиром на ову високу варијабилност, тешко је дугорочно процијенити очекиван број саобраћајних незгода користећи само податке о саобраћајним незгодама у кратком временском периоду (нпр. у току једне или двије године). Ово је нарочито изражено на руралним путним деоницама гдје су саобраћајне незгоде веома ријетки догађаји, а на многим деоницама уопште није било саобраћајних незгода или је било врло мало у претходних неколико година. Ако на некој деоници није било саобраћајних незгода у претходним годинама, то сигурно не значи да у наредном периоду на тој деоници пута неће бити саобраћајних незгода, што би био логичан слијед догађаја ако се користе само подаци о саобраћајним незгодама. Због тога је неопходно, поред података о саобраћајним незгодама, користити и податке који се односе на пут и окружење, возила и учеснике у саобраћајним незгодама.

Један од циљева анализе саобраћајних незгода је идентификовање, спречавање и рјешавање највећих проблема на пољу безбједности саобраћаја. Ефикасност превенције саобраћајних незгода у великој мјери зависи од поузданости прикупљања и процјене података и употребе адекватних метода анализе. У претходном периоду развијен је одређен број модела и метода анализе саобраћајних незгода, а избор најподеснијег модела зависи од доступних података и питања на које се жели дати одговор. Генерално, издвојила су се два главна приступа у анализи саобраћајних незгода ([Mannering & Bhat, 2014](#)): анализа фреквенције саобраћајних незгода и анализа тежине посљедица саобраћајних незгода. [Lord & Mannering \(2010\)](#) су направили резиме најважнијих претходних истраживања на пољу анализе фреквенције саобраћајних незгода, а [Savolainen et al. \(2011\)](#) на пољу анализе тежине посљедица саобраћајних незгода. Поред избора методе за анализу саобраћајних незгода, претходних година велика пажња је била посвећена идентификацији и разумјевању утицајних фактора. За моделовање фреквенције саобраћајних незгода бројне студије су истраживале утицај и ефекте обима саобраћаја ([Hadi et al., 1995](#); [Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Hauer et al., 2004](#); [Caliendo et al., 2007a](#); [Chen & Xie, 2016](#)), геометријских елемената пута ([Miaou, 1994](#); [Milton & Mannering, 1998](#); [Cafiso et al., 2010](#); [Anastasopoulos & Mannering, 2011](#)) и временских прилика ([Fridstrøm et al., 1995](#); [Shankar et al., 1995](#); [Eisenberg, 2004](#)). Идентификовање и разумјевање утицајних фактора може помоћи управљачу пута код доношења одлука о интервенцијама на путној мрежи, те код пројектовања нових саобраћајница и реконструкције постојећих.

Статистички модели се користе у области моделовања саобраћајних незгода за проучавање фактора који изазивају саобраћајне незгоде у циљу имплементације потенцијалних контрамјера и смањења броја саобраћајних незгода и посљедица. Поред тога они се користе за идентификацију опасних локација на путној мрежи и предвиђање броја саобраћајних незгода и посљедица у наредном периоду. Ови модели се веома често називају предиктивни модели саобраћајних незгода. Велики дио безбједносних проблема у саобраћају отпада на проблеме на руралним путевима. У циљу побољшања безбједности саобраћаја неопходно је идентификовати стварне опасности и проблеме, развити адекватне предиктивне моделе, а мјере усмјерити на рјешавање проблема безбједности саобраћаја. Од средине 1990-их година предиктивни модели саобраћајних незгода се користе у идентификацији и процјени питања безбједности саобраћаја на руралним путевима ([Miaou, 1994](#); [Hadi et al., 1995](#); [Shankar et al., 1995](#); [Vogt & Bared, 1998](#); [Abbas, 2004](#); [Qin et al., 2004](#); [Caliendo et al., 2007a](#); [Lord et al., 2008](#); [Cafiso et al., 2010](#); [Jovanović et al., 2011](#); [Ye et al., 2013](#)) и раскрсницама ([Vogt & Bared, 1998](#); [Abdel-Aty & Keller, 2005](#); [Lord et al., 2008](#)) и урбаним путевима ([Hadi et al., 1995](#); [Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Greibe, 2003](#); [Persaud et al., 2013](#); [Ayati](#)

& Abbasi, 2014) и раскрсницама (Brüde & Larsson, 1993; Poch & Mannering, 1996; Lord & Persaud, 2000; Greibe, 2003; Das et al., 2008). Између осталих предности, предиктивни модели су користан алат за процјену ризика на постојећим путевима, као и за процјену користи од било каквих промјена на путној мрежи.

Преглед и анализа деоница путне мреже представља један од кључних корака у укупном процесу управљања безбједношћу саобраћаја. Према пројекту [Harwood et al. \(2010\)](#) у коме су представљени потенцијали софтвера *SafetyAnalyst*, процес анализе укључује шест корака: (1) преглед и анализа путне мреже, (2) дијагностика безбједносних проблема на одређеним локацијама, (3) избор одговарајућих контрамјера на тим локацијама, (4) економске процјене изабраних контрамјера, (5) приоритетно рангирање пројеката за унапређење безбједности локација и (6) евалуација ефеката имплементираних контрамјера. Идентификација деоница путне мреже се може извести примјеном традиционалних метода као што су фреквенција саобраћајних незгода ([AASHTO, 2010](#); [Srinivasan et al., 2016](#)) и стопа саобраћајних незгода ([AASHTO, 2010](#); [Srinivasan et al., 2016](#)) или употребом емпиријске Бајесове методе ([Hauer et al., 2002](#); [Elvik, 2007](#); [Srinivasan et al., 2016](#)). За методу фреквенције саобраћајних незгода потребан је само укупан број саобраћајних незгода у неком временском периоду на посматраним локацијама. Деонице путне мреже се једноставно сортирају у опадајућем редослиједу према укупном броју саобраћајних незгода. Ова метода је лако примјенљива и разумљива, али не узима у обзир разлике у ПГДС-у и геометријским елементима пута између деоница путне мреже. Такође карактерише је грешка због регресије према средњој вриједности (*RTM – енгл. regression-to-the-mean*). Метода стопе саобраћајних незгода рјешава проблем у вези промјена у ПГДС-у. Овај метод мјери безбједносне ефекте кроз фреквенцију саобраћајних незгода нормализовану ПГДС-ом. Такође, лако је примјенљива и разумљива, али остаје проблем са регресијом према средњој вриједности и проблем код процјене локација са ниском вриједношћу ПГДС-а. Емпиријска Бајесова метода (ЕБ метода) рјешава проблем регресије према средњој вриједности, ПГДС-а и геометријских елемената пута комбинујући предвиђени број саобраћајних незгода са бројем саобраћајних незгода који се догодио на некој деоници пута. Овај метод захтјева употребу регресионе једначине односно предиктивног модела саобраћајних незгода.

На основу прегледа литературе из области моделовања саобраћајних незгода уочено је да подручје које није довољно истражено у области безбједности саобраћаја, а односи се на предиктивне моделе фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима. Такође, уочено је да код нас и у окружењу нема сличних истраживања које би могли примјенити у нашим условима. То је била полазна основа за реализацију истраживања у овој докторској дисертацији и развијању предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода.

2.2. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање саобраћајних незгода је у фокусу бројних истраживача у посљедњих двадесет година због алармантног великог броја саобраћајних незгода широм свијета. Велика пажња је усмјерена на проналажење могућих узрока и мјера предострожности како би се спријечило настајање саобраћајних незгода. Бројне студије су довеле до развоја и откривања нових модела, који предвиђају фреквенцију саобраћајних незгода и њихових посљедица са све већом и већом прецизношћу. Иако је у претходном периоду реализован значајан број истраживања у овом сегменту управљања безбедности саобраћаја, још увијек многе земље нису у стању да смање страдања у саобраћајним незгодама на својим путевима. Стога, потребно је развијање нових предиктивних модела у области безбједности и

планирања саобраћаја, а уједно оправдава потребу оваквог једног истраживања у оквиру докторске дисертације.

Предмет истраживања докторске дисертације је анализа и моделовање саобраћајних незгода на руралним путевима. За моделовање саобраћајних незгода у раду су коришћене статистичке технике из породице уопштених линеарних модела (ГЛМ). Коришћени су Поасонов регресиони модел, негативни биномни модел, Пасаонов модел са вишком нула и негативни биномни модел са вишком нула. Примјеном ових модела повезаће се број саобраћајних незгода са доступним независним варијаблама. Подаци у раду су анализирани са просторног и временског аспекта. Основна просторна једница је дужина деонице пута, а основна временска једница за тестирање модела је година. На основу резултата моделовања предложити се начин побољшања безбједности саобраћаја у виду идентификације опасних деоница, како би се усмјерила пажња на критичне деонице.

Улазне параметре за тестирање модела чине подаци о саобраћајним незгодама (укупан број саобраћајних незгода, број саобраћајних незгода са настрадалим лицима и број саобраћајних незгода одређеног типа), подаци о саобраћајном току (ПГДС, проценат учешћа комерцијалних возила, проценат путничких возила и сл.), и геометријски подаци деонице пута (дужина деонице, ширина коловоза, хоризонталне кривине, ограничења брзине итд.). Излазни резултати моделовања су: предвиђени број саобраћајних незгода, очекивани број саобраћајних незгода и рангирање деоница пута.

Методолошки поступак анализе саобраћајних незгода има за циљ унапређење постојећег приступа у систему управљања безбједношћу саобраћаја развојем нових предиктивних модела саобраћајних незгода и метода за идентификацију и рангирање опасних деоница.

Основни предмет истраживања докторске дисертације је анализа фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима и развој нових предиктивних модела коришћењем савремених статистичких методологија и идентификовање и рангирање руралних деоница.

2.3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА И ПОЛАЗНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ

Истраживање настоји да попуни неке празнине у знању, с обзиром на ниво знања и стање праксе у безбједности саобраћаја на руралним путевима. Посебно се фокусира на двотрачне руралне путеве. Главни циљ рада је развијање предиктивних модела за руралне путеве у Републици Србији, користећи податке о саобраћајним незгодама у претходном периоду. Поред тога, извршиће се процјена ефеката неколико саобраћајних и геометријских варијабли на безбједност пута, како би помогли у разумјевању постојећих безбједносних проблема. Предиктивни модели ће служити као помоћни алат за рангирање деоница пута са аспекта безбједности саобраћаја и као помоћни алат управљачу пута приликом доношења одлука у фазама планирања, пројектовања, управљања и одржавања. За испуњење ових циљева користиће се неколико статистичких модела од којих ће се изабрати најподеснији модел за израду предиктивних модела фреквенције саобраћајних незгода. Поред тога, за испуњење планираних циљева, потребно је реализовати следеће задатке:

1. Детаљно истражити и анализирати литературу (свјетску и домаћу), која се односи на фреквенцију саобраћајних незгода и предиктивне моделе;
2. Разумјети ограничења постојећих предиктивних модела саобраћајних модела и могућност примјене модела из различитих географских региона и различитих временских периода;

3. Развити интегрисану базу података из три одвојене базе (база података о саобраћајним незгодама, база података о саобраћајном оптерећењу и базе података о путу и путним елементима), која је погодна за развој предиктивних модела на руралним путевима;
4. Идентификовање саобраћајних и геометријских фактора, који доприносе настанку саобраћајних незгода на путевима (државни путеви ИБ);
5. Развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода за укупан број саобраћајних незгода за руралне путеве;
6. Развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима за руралне путеве;
7. Развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода за саобраћајне незгоде одређеног типа за руралне путеве;
8. Провјера валидности развијених предиктивних модела;
9. Идентификовати деонице и рангирати их на основу односа предвиђеног и очекиваног броја саобраћајних незгода;
10. На основу добијених резултата моделовања изнијети закључке и правце даљих истраживања.

Основна хипотеза **H₁**: Фреквенција саобраћајних незгода на руралним путевима може се предвидјети употребом предиктивног модела.

Помоћна хипотеза H₁₁: Могуће је развити предиктивни модел на основу постојећих статистичких модела, који ће омогућити утврђивање предвиђеног и очекиваног броја саобраћајних незгода на руралним деоницама пута.

Помоћна хипотеза H₁₂: Фреквенција саобраћајних незгода је у функцији саобраћајних и геометријских варијабла, које доприносе настанку саобраћајних незгода.

Помоћна хипотеза H₁₃: Могуће је анализирати фреквенцију саобраћајних незгода на основу историје саобраћајних незгода.

Основна хипотеза **H₂**: Идентификовање и рангирање деоница руралних путева може се извршити примјеном ЕБ метода.

Помоћна хипотеза H₂₁: Могуће је идентификовати деонице руралног пута са највећим бројем предвиђених и очекиваних саобраћајних незгода.

Помоћна хипотеза H₂₂: Деонице руралног пута се могу рангирати према потенцијалу за побољшања безбједности пута.

2.4. ПРИМЈЕЊЕНЕ МЕТОДЕ

У истраживању, приликом израде дисертације коришћене су сљедеће опште методе научног истраживања:

1. Истраживачке технике које ће бити коришћене за преглед досадашњих истраживања:
 - *Анализа литературе* – техника која се примењује у поступку изучавања доступне литературе из области безбједности саобраћаја, фактора који утичу на настанак саобраћајних незгода и модела предвиђања догађаја;

2. Методологија истраживања

- *Квантитативна истраживања* – техника прикупљања бројчаних података, у циљу објашњења, истраживања веза између варијабли, успостављања узрочно посљедичних веза између посматраних појава;
 - *Квалитативна истраживања* – техника истраживања која је заснована на небројчаним (описним) подацима, добијеним у природном окружењу (посматране појаве) екстензивним посматрањем, чији је примарни задатак да објасни значење или интерпретира посматрану појаву.
2. Методе који ће бити коришћене за анализу досадашњих истраживања:
- *Метода индукције* – системска примјена индуктивног начина закључивања којим се на основу анализе појединачних чињеница долази до закључка о општем суду, од запажања конкретних појединачних случајева долази до општих закључака;
 - *Метода дедуције* – системска примјена дедуктивног начина закључивања у коме се из општих судова изводе посебни и појединачни закључци;
 - *Метода анализе* – поступак научног истраживања рашчлањивањем сложених појмова, судова и закључака на њихове једноставније саставне дијелове и елементе;
 - *Метода синтезе* – поступак научног истраживања и објашњавања стварности путем синтезе једноставних цјелина у сложеније форме;
 - *Метода апстракције* – мисаони поступак било каквог одвајања, било одвајање општег и елиминисање посебног, било мисаони поступак одвајања посебног и индивидуалног, занемаривање општег;
 - *Метода конкретизације* – поступак схватања јединства апстрактно-општег у посебном и индивидуалном, схватање јединства апстрактно-посебног с општим у сваком предмету или појави;
 - *Метода генерализације* – мисаони поступак уопштавања којим се од једног посебног појма долази до уопштенијег који је по степену виши од осталих појединачних. Од појединачних опажања изводе се уопштени закључци, који су реални само ако имају ослонац у стварности;
 - *Метода класификације* – поступак систематске и потпуне подјеле општег појма на посебне, у оквиру обима појма (уочавање скупова са сличним својствима).
3. Опште научне и техничке методе научног истраживања које ће бити коришћене за прикупљање и обраду података:
- *Метода доказивања* (полазне хипотезе) – поступак утврђивања тачности неке спознаје;
 - *Метода моделовања* – истраживачки поступак помоћу кога се генерише модел који може: замијенити стварну појаву и који се може експериментално или симулацијом истраживати, те преносити добијене податке са модела на реалну појаву;
 - *Статистичка метода* – поступак помоћу кога анализирамо појаве које нас окружују, тако да помоћу графикона и израчунатих показатеља откривамо њихове структуре, карактеристике и законитости у појединим временским интервалима, те узрочно-посљедичне везе између тих појава;
 - *Математичка метода* – научни и системски поступак, који се састоји у примјени математичке логике, математичких релација, математичких симбола и математичких операција у научноистраживачком раду.

Као помоћ у раду биће коришћени програми Microsoft Excel и Microsoft Visio, те савремени статистички софтвери ArcGIS, STATA и R statistics, у којима ће се спроводити анализа и обрада података. Поред наведених метода научног истраживања, за анализу података користиће се и слjedeће методе:

- *Компаративна метода* – поступак упоређивања истих и сродних појава или утврђивања њихове сличности у понашању и интензитету и разлика међу њима;
- *Емпиријска метода* – поступак који се заснива на искуству ради објашњења неких појава, судова и закључака;
- *Метода узорака* – поступак испитивања дијела скупа на основу случајног избора јединица;
- *Метода студије случаја* – метода у којој се изучавању друштвених феномена приступа кроз анализе индивидуалних случајева.

2.5. НАУЧНА И ДРУШТВЕНА ОПРАВДАНОСТ

Посљедњих десетак година актуелно је успостављање системског приступа у управљању безбједношћу саобраћаја широм свијета. Овакав концепт захтјева употребу података, студија и истраживања у разумијевању саобраћајних незгода и ризика у саобраћају, развој стратегија, стандарда и прописа у области путева, те квалитетно одржавање и управљање путном мрежом. Ефикасан систем управљања безбједношћу саобраћаја омогућује смањења у броју саобраћајних незгода, броју смртно страдалих и повријеђених у саобраћајним незгодама и трошкова у вези саобраћајних незгода, а доприноси и повећању мобилности свих учесника у саобраћају. Развијање и примјена предиктивних модела у анализи и моделовању саобраћајних незгода је један од сегмената за успостављање адекватног система управљања безбједношћу саобраћаја.

Употребом развијених предиктивних модела, са научног аспекта, првенствено се даје објашњење процеса. Наиме, развијени предиктивни модел пружа информације о процесу односно систему из кога су подаци извучени. Затим, омогућује се идентификација утицајних фактора. Модел у ствари представља регресиону једначину која повезује број саобраћајних незгода са одређеним независним варијаблама, чије дјеловање доприноси настанку саобраћајних незгода. Идентификоване су статистички значајне варијабле саобраћајног тока и геометријске варијабле деонице пута. Предиктивни модели омогућују и процјену потенцијалне фреквенције саобраћајних незгода. Истраживачи и аналитичари безбједности саобраћаја моћи ће предвиђати фреквенцију саобраћајних незгода на основу историје саобраћајних незгода, параметара саобраћајног тока и геометријских елеманата пута. Поред тога, могуће је извршити процјену ефеката идентификованих независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Такође, развијени предиктивни модели пружају могућност идентификовања потенцијално опасних руралних деоница и рангирање руралних деоница.

Предиктивни модели развијени у докторској дисертацији имају и практичну примјену, јер се могу користити за истраживање нивоа безбједности руралних путева. Ако су управљачу пута познате вриједности експлораторних варијабли, коришћених у развијеним моделима, модели се могу користити за израчунавање предвиђеног броја саобраћајних незгода на сличним путним деоницама. Такође, предиктивни модели фреквенције саобраћајних незгода могу представљати основу за избор одговарајућих контрамјера ради смањивања фреквенције саобраћајних незгода на појединим руралним деоницама пута.

Идентификовање варијабли саобраћајног тока и геометријских варијабли деоница пута, које доприносе настанку саобраћајних незгода, обезбеђује важан корак ка развоју системског приступа за идентификовање потенцијалних побољшања на руралним путевима.

2.6. РЕФЕРЕНЦЕ

[AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.](#)

[Abbas, K. A. \(2004\). Traffic safety assessment and development of predictive models for accidents on rural roads in Egypt. Accident Analysis & Prevention, 36\(2\), 149-163.](#)

[Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. \(2000\). Modeling traffic accident occurrence and involvement. Accident Analysis & Prevention, 32\(5\), 633-642.](#)

[Abdel-Aty, M., & Keller, J. \(2005\). Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. Accident Analysis & Prevention, 37\(3\), 417-425.](#)

[Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. \(2011\). An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash-and non-crash-specific injury data. Accident Analysis & Prevention, 43\(3\), 1140-1147.](#)

[Ayati, E., & Abbasi, E. \(2014\). Modeling Accidents on Mashhad Urban Highways. Open Journal of Safety Science and Technology, 4\(01\), 22.](#)

[Brüde, U., & Larsson, J. \(1993\). Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit?. Accident Analysis & Prevention, 25\(5\), 499-509.](#)

[Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. \(2010\). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. Accident Analysis & Prevention, 42\(4\), 1072-1079.](#)

[Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. \(2007a\). A crash-prediction model for multilane roads. Accident Analysis & Prevention, 39\(4\), 657-670.](#)

[Chen, C., & Xie, Y. \(2016\). Modeling the effects of AADT on predicting multiple-vehicle crashes at urban and suburban signalized intersections. Accident Analysis & Prevention, 91, 72-83.](#)

[Das, A., Pande, A., Abdel-Aty, M., & Santos, J. \(2008\). Characteristics of urban arterial crashes relative to proximity to intersections and injury severity. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(2083\), 137-144.](#)

[Eisenberg, D. \(2004\). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. Accident analysis & prevention, 36\(4\), 637-647.](#)

[Elvik, R. \(2007\). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. Transportøkonomisk institutt.](#)

Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., & Sørensen, M. (Eds.). (2009). The handbook of road safety measures. Emerald Group Publishing Limited.

Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. Accident Analysis & Prevention, 27(1), 1-20.

Greibe, P. (2003). Accident prediction models for urban roads. Accident Analysis & Prevention, 35(2), 273-285.

Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L. F., & Wattleworth, J. A. (1995). Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression. Transportation Research Record, 1500, 169.

Harwood, D. W., Torbic, D. J., Richard, K. R., & Meyer, M. M. (2010). SafetyAnalyst: Software tools for safety management of specific highway sites (No. FHWA-HRT-10-063).

Hauer, E., Council, F., & Mohammedshah, Y. (2004). Safety models for urban four-lane undivided road segments. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1897), 96-105.

Hauer, E., Harwood, D., Council, F., & Griffith, M. (2002). Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1784), 126-131.

Inić, M.: Bezbednost drumskog saobraćaja, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2001

Jovanović, D., Bačkalić, T., & Bašić, S. (2011). The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. Safety science, 49(8), 1246-1251.

Lord, D., & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(5), 291-305.

Lord, D., & Persaud, B. (2000). Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1717), 102-108.

Lord, D., Guikema, S. D., & Geedipally, S. R. (2008). Application of the Conway–Maxwell–Poisson generalized linear model for analyzing motor vehicle crashes. Accident Analysis & Prevention, 40(3), 1123-1134.

Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (2014). Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. Analytic methods in accident research, 1, 1-22.

Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. Accident Analysis & Prevention, 26(4), 471-482.

2. Методологија истраживања

- Milton, J., & Mannering, F. (1998). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. Transportation, 25(4), 395-413.
- Persaud, B., Lyon, C., Bagdade, J., & Ceifetz, A. (2013). Evaluation of safety performance of passing relief lanes. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2348), 58-63.
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. Journal of transportation engineering, 122(2), 105-113.
- Qin, X., Ivan, J. N., & Ravishanker, N. (2004). Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. Accident Analysis & Prevention, 36(2), 183-191.
- Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D., & Quddus, M. A. (2011). The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. Accident Analysis & Prevention, 43(5), 1666-1676.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. Accident Analysis & Prevention, 27(3), 371-389.
- Srinivasan, R., Gross, F., Lan, B., & Bahar, G. (2016). Reliability of Safety Management Methods: Network Screening (No. FHWA-SA-16-037).
- Sterman, J. (2002). System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.
- Vogt, A., & Bared, J. (1998). Accident models for two-lane rural segments and intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1635), 18-29.
- Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. C. (2013). A simultaneous equations model of crash frequency by severity level for freeway sections. Accident Analysis & Prevention, 57, 140-149.

3. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА НА ПОЉУ АНАЛИЗЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

3.1. УВОД

У овом поглављу тестиране су **помоћне хипотезе**:

- **H₁₁**, која гласи: „*Могуће је развити предиктивни модел на основу постојећих статистичких модела, који ће омогућити утврђивање предивиђеног и очекиваног броја саобраћајних незгода на руралним деоницама пута*“.
- **H₁₃**, која гласи: „*Могуће је анализирати фреквенцију саобраћајних незгода на основу историје саобраћајних незгода*“.

Дат је преглед најзначајних статистичких метода у области моделовања саобраћајних незгода, које су коришћене за развој предиктивних модела фреквенције саобраћајних незгода. Велики број истраживања је спроведен у претходном периоду, користећи разне статистичке методе у циљу идентификовања и квантификовања веза између фреквенције саобраћајних незгода и утицајних фактора. Било би их немогуће све споменути у оквиру овог рада, али направити се кратак резиме да би се уједно нагласила неопходност овог истраживања.

У претходном периоду статистичка анализа саобраћајних незгода је коришћена као основа за развој политика безбједности саобраћаја, акција и мјера, које су спасиле велики број људских живота и смањиле посљедице саобраћајних незгода ([Mannering & Bhat, 2014](#)). Развој и примјена аналитичких метода за анализу фреквенције саобраћајних незгода је неопходан корак ка подизању нивоа безбједности и смањењу броја и посљедица саобраћајних незгода. Постоји неколико техника за процјену броја саобраћајних незгода. У ранијим истраживањима везе између саобраћајних незгода и других варијабли, које доприносе настанку саобраћајних незгода, истраживане су примјеном конвенционалних техника вишеструке линеарне регресије. [Jovanis and Chang \(1986\)](#) и [Joshua and Garber \(1990\)](#) су показали да конвенционални линеарни регресиони модели нису погодни за моделовање догађаја као што су саобраћајне незгоде и да резултати добијени примјеном ових техника воде ка погрешним закључцима. Они закључују да је у моделовању саобраћајних незгода адекватнији алат за моделовање Поасонов регресиони модел. Узимајући у обзир недостатке линеарних регресионих модела може се закључити да је примјена уопштених линеарних модела нашла све већу примјену у моделовању и анализи саобраћајних незгода.

Уопштени линеарни модели (ГЛМ) представљају уопштење линеарног модела. Њих чини велики број статистичких модела за повезивање зависне промјенљиве са линеарном комбинацијом независних промјенљивих. Сврха ГЛМ-а је изражавање везе између посматране зависне промјенљиве Y_i и независних промјенљивих X_i , које се називају предиктори. Зависна промјенљива Y_i припада тзв. експоненцијалној фамилији расподеле, у коју спадају биномна, гама, Поасонова, Негативна биномна и сл. Варијанса промјенљиве Y_i

не мора да буде константна као код класичног линеарног модела, већ је допуштено да варира са промјенама средње вриједности. Ови модели се састоје из три компоненте ([Nelder & Wedderburn, 1972](#)) и то:

- Компонента случајности;
- Компонента систематичности;
- Функција везе.

[Agresti & Kateri \(2011\)](#) су утврдили да се компонента случајности идентификује са зависном променљивом Y_i и њеном функцијом вјероватноће. Реализације зависне променљиве се означавају са Y_1, Y_2, \dots, Y_n , а међусобно су независне. Реализације од Y_i могу бити дихотомне, са само два могуће исхода (успјех или неуспјех) и тада зависна промјенљива има биномну расподјелу или се реализације могу добити пребројавањем, а зависна промјенљива тада има Поасонову расподјелу. Компоненту систематичности поистовјећујемо са независним променљивим. Она представља линеарну функцију независних промјенљивих, које описују зависну промјенљиву у облику $\alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$. Линеарна комбинација независних промјенљивих назива се линеарно предвиђање, а независне променљиве не морају бити линеарно независне. Трећа компонента је функција везе која повезује компоненту случајности и компоненту систематичности односно очекивану вриједност од $Y_i (\mu = E(Y_i))$ са независним варијаблама. Функција везе представља неку функцију $g(\cdot)$, тако да важи:

$$\mu(g) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k = \sum_j \beta_j x_{ij}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.1)$$

Функција $g(\cdot)$ је монотона и не мора да буде линеарно пресликавање. Дobar избор везе ће отклонити ограничења у вези домена очекиваних резултата. На примјер, ако се претпостави да је обиљежје Y_i пребројива случајна промјенљива, која може да прими само ненегативне цјелобројне вриједности $(0, 1, 2, \dots, n)$, онда ће и очекивање μ_i бити ненегативно, а лог веза ће пресликати μ_i на цијелу реалну осу.

Фокус у овоме раду ће бити усмјерен на неке од ГЛМ-а тј. моделе пребројивих догађаја (*енгл. Count data models*). Пребројиви подаци, у статистичком смислу, представљају типове података у којима посматрања имају само не-негативне цјелобројне вриједности ([Washington et al., 2011](#)). Промјенљиве пребројивог типа имају заједничке особине: (а) њихове вриједности су увијек цијели бројеви, (б) њихова најмања могућа вриједност је 0, те не могу никада бити негативни и (в) углавном су позитивно спљоштени, при чему већи број података има малу вриједност, а мали број вишу вриједност ([Cameron & Trivedi, 1998](#)). С обзиром да промјенљиве пребројивог типа могу бити дистрибуирне на различите начине (биномна, гама, Поасонова, Негативна биномна и сл.) у анализи се користи неколико типова ГЛМ-а за пребројиве догађаје. У даљем тексту разматрана су 4 уобичајена типа ГЛМ-а и то: Поасонов модел, НБ модел, ЗИП модел и ЗИНБ модел.

3.2. ПОАСОНОВ РЕГРЕСИОНИ МОДЕЛ

Једна од првих истраживања у области моделовања саобраћајних незгода, која су препознала предности примјене Поасоновог модела у односу на традиционалне линеарне регресионе моделе спроведена су у Шведској. Наиме, у свом раду [Gustavsson & Svensson \(1976\)](#) су вршили анализу засновану на саобраћајним незгодама са ниском фреквенцијом. Посматране су саобраћајне незгоде са погинулим лицима, саобраћајне незгоде са тешко повријеђеним лицима и саобраћајне незгоде са лакше повријеђеним лицима. Уочили су да претпоставка о нормалној расподјели саобраћајних незгода није тачна, јер саобраћајне незгоде имају само не-негативне вриједности. Поред тога, показали су да ограничење брзине (90 km/h) утиче на очекиван број саобраћајних незгода. Иако је узорак био релативно мали, добијени резултати су били примјенљиви. [Jovanis and Chang \(1986\)](#) су предложили Поасонов регресиони модел као супериорнију алтернативу конвенционалним линеарним регресионим моделима, јер захтјева мањи узорак и елиминише многе од недостатака линеарних модела. Моделе су процјенили користећи податке о саобраћајним незгодама, пређеној километражи возила и временским приликама (киша и снијег) у Индијани, САД. Аутори тврде да постојање функционалне везе између аритметичке средине и варијансе фреквенције саобраћајних незгода, не-негативност зависне варијабле и постојање случајне грешке, која не прати нормалну расподјелу, захтјевају опрез у примјени линеарних регресионих модела, јер ће параметри у линеарном моделу имати погрешне границе поузданости. Приликом идентификације фактора који доприносе настанку саобраћајних незгода, погрешне границе поузданости поништавају хипотезе и тестове статистичке значајности фактора. Исто тако, истраживање у Вирџинији, које су спровели [Joshua & Garber \(1990\)](#) је показало неадекватност примјене модела вишеструке линеарне регресије при процјени годишње стопе саобраћајних незгода у којима су учествовала тешка теретна возила и објашњења везе са саобраћајним и геометријским варијаблама. На примјер, није било логичног објашњења зашто повећање процента тешких теретних возила у саобраћајном току и апсолутна вриједност аритметичке средине подужног нагиба пута резултује смањењем годишње стопе саобраћајних незгода. Са друге стране, примјена Поасоновог регресионог модела је на адекватан начин описала везу годишње стопе саобраћајних незгода и повезаних саобраћајних и геометријских варијабли. Најзначајније саобраћајне варијабле су ПГДС и проценат тешких теретних возила у саобраћајном току, а са њиховим повећањем долази до повећања годишње стопе саобраћајних незгода. Од геометријских варијабли статистички најзначајније су стопа промјене подужног нагиба пута и стопа промјене хоризонталне закривљености пута, са чијим повећањем долази до повећања годишње стопе саобраћајних незгода. [Jones et al. \(1991\)](#) су спровели истраживање саобраћајних незгода на аутопутевима у Сијетлу и показали да саобраћајне незгоде на загушеним урбаним аутопутевима у великој мјери продужавају вријеме путовања. За анализу фреквенције саобраћајних незгода користили су Поасонов регресиони модел. Развијени модел је омогућио правац дјеловања у погледу алокације ресурса тј. гдје и када треба побољшати детекцију и одговор система. На примјер, индикатор општих сезонских услова пружа информације које могу да буду

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

искоришћене за дугорочно планирање, седмичне варијације могу помоћи код алокација по данима, док варијабле путног окружења (услови на површини коловоза и индикатор кише) обезбјеђују валидне информације о вјероватноћи настанка саобраћајне незгоде на одређеним локацијама. [Miaou & Lum \(1993\)](#) су истраживали статистичке особине четири регресиона модела, у смислу њихове способности да моделују везу између саобраћајних незгода и геометријских варијабли аутопута – два конвенционална линеарна регресиона модела (адитивни и мултипликативни) и два Поасонова регресиона модела. Резултати истраживања су показали да линеарним регресионим моделима недостаје дистрибутивне особине да адекватно опишу насумичност, дискретност, не-негативност и ријеткост догађања саобраћајних незгода. Са друге стране Поасонови регресиони модели имају пожељне статистичке особине у развоју везе и могу да се носе са овим проблемима. Међутим, уколико постоји значајна прераспршеност података о саобраћајним незгодама у односу на њихову аритметичку средину, Поасонови регресиони модели могу прецијенити или смањити вјероватноћу настанка саобраћајних незгода. У таквим случајевима потребно је размотрити и друге расподјеле.

[Miaou \(1994\)](#) је анализирао перформансе уопштених линеарних модела тј. Поасоновог регресионог модела, Поасоновог модела са вишком нула – ЗИП модела (*енгл. zero-inflated Poisson*) и негативног биномног модела – НБ модела. Процјењена је њихова успјешност у успостављању везе између саобраћајних незгода са учешћем теретних возила и геометријских карактеристика деоница пута. Оцјена перформанси ових модела вршена је на основу њихових (а) процјењених регресионих параметара, (б) укупног индекса подесности (*енгл. goodness-of-fit*), (в) процјењене релативне фреквенције саобраћајних незгода са учешћем теретних возила по деоницама пута, (г) осјетљивости на укључивање кратких путних деоница и (д) процјене укупног броја саобраћајних незгода са учешћем теретних возила. Процјењени регресиони параметри, методом максималне вјеродостојности – МЛ методом, из сва три модела су статистички значајни за везу између броја саобраћајних незгода и варијабли геометријских карактеристика пута, те су прилично конзистентни и ниједан модел не надмашује друга два у смислу процјењене релативне фреквенције саобраћајних незгода са учешћем теретних возила по деоницама пута. Тачније, за $k = 0$ (гдје је k – број саобраћајних незгода са учешћем теретних возила) НБ-МЛ модел има најбоље перформансе, а ЗИП модел је прилично добар, за $k = 1,2,3$ ЗИП модел има најбоље перформансе, док је за $k \geq 4$ Поасонов модел најбољи.

[Saccomanno et al. \(2001\)](#) су развили предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода, на бази Поасоновог регресионог модела, за аутопутеве у јужној Италији. Деонице аутопута се састоје од хомогених секција, за које су издвојени подаци о саобраћајним незгодама и геометријским варијаблама за период 1993-1999. године. Развијен је модел у облику:

$$\mu_i = e^{(-1.420+0.003X_1+0.056X_2+0.539X_3+0.018X_5)} \quad (3.2)$$

гдје је μ_i – очекиван број саобраћајних незгода на хомогеној секцији пута i током посматраног временског периода; X_1 – дужина секције (m); X_2 – број приватних прилаза у секцији; X_3 – број раскрсница у секцији; X_5 – промјена у 85-том перцентилу брзине (V_{85}) из претходне секције. Иако су све независне варијабле у моделу биле статистички значајне на 95% нивоу значајности, добијено скалирано одступање (енгл. *SD – scaled deviance*) од 230,35 за модел указује на постојање дисперзије у подацима о саобраћајним незгодама. Ово подразумева да одређен број фреквенција саобраћајних незгода на појединим секцијама остаје необјашњен овим моделом. Тако да ова форма Поасоновог регресионог модела не може пружити комплетну слику дугорочног предвиђања саобраћајних незгода, ако у подацима о саобраћајним незгодама постоји прераспршеност података. С тога, модел развијен у овом истраживању се може користити, у анализама и предикцијама гдје су бројеви опсервација веома мали, као што је случај са фреквенцијом саобраћајних незгода са погинулим лицима.

[Kumara & Chin \(2005\)](#) су развили Поасонов модел који се бави проблемом непосматране хетерогености, тј. модел који узима у обзир непријављене саобраћајне незгоде на трокраким сигналисаним раскрсницама. Углавном се ради о саобраћајним незгодама са лакшим тјелесним повредама и саобраћајним незгодама са материјалном штетом. Истраживање је спроведено на 104 трокраке сигнализоване раскрснице у Сингапуру (напомена: у Сингапуру се вози лијевом страном коловоза). Аутори тврде да на фреквенцију саобраћајних незгода на трокраким сигналисаним раскрсницама највећи утицај имају ПГДС ($\beta = 0.6310, p < 0.0001$), каналисано десно скретање ($\beta = -0.4983, p < 0.0001$) и постојање свјетлосног саобраћајног знака за десно скретање – семафор са одвојеном фазом за десно скретање ($\beta = 0.4985, p < 0.0001$). Предлаже се употреба развијеног Поасоновог модела, који узима у обзир не евидентиране саобраћајне незгоде, умјесто стандардног Поасоновог регресионог модела у случајевима када постоји оправдан разлог да вјерујемо да постоји одређен број саобраћајних незгода које нису евидентиране, а које могу значајно утицати на резултате моделовања, ако исте нису узете у обзир. Избор између модела врши се на основу Вуонг теста. [Ye et al. \(2013\)](#) су моделовали фреквенцију саобраћајних незгода за секције аутопута и идентификовали факторе и њихов релативни утицај на фреквенцију саобраћајних незгода по посљедицама саобраћајних незгода. У раду је развијен здружени Поасонов модел тј. троваријантни Поасонов регресиони модел са мултиваријабилном нормалном хетерогеношћу. Овај модел се састоји од три симултане једначине (по једна једначина за саобраћајне незгода са материјалном штетом, за саобраћајне незгода са лакшим тјелесним повредама и за саобраћајне незгоде са погинулим и тешко повријеђеним лицима), за разлику од стандардног Поасоновог модела који има само једну једначину. Аутори су показали да здружени Поасонов модел може побољшати ефикасност процјенитеља коефицијената већине параметара у моделу смањивањем њиховог стандардног одступања. Поред тога, овај модел може помоћи у разликовању утицаја исте независне варијабле на фреквенцију саобраћајних незгода за различите посљедице саобраћајних незгода. Замјена лог-гама дистрибуције са нормалом дистрибуцијом за представљање хетерогености у Поасоновом

регресионом моделу фреквенције саобраћајних незгода може побољшати индекс подесности модела.

Бројна истраживања користе Поасонов регресиони модел као почетни или иницијални модел за развој везе ([Miaou, 1994](#); [Lord et al., 2005](#); [Caliendo et al., 2007a](#); [Ayati & Abbasi, 2014](#); [Omari-Sasu et al., 2016](#); [Vayalamkuzhi & Amirthalingam, 2016](#)). Ако је утврђено да је прераспршеност података о саобраћајним незгодама умјерена или висока (тј. када је *Wedderburn overdispersion parameter* > 1,3), потребно је размотрити употребу других уопштених линеарних модела ([Miaou, 1994](#)).

3.3. НЕГАТИВНИ БИНОМНИ МОДЕЛ (НБ МОДЕЛ)

Негативни биномни модел (или Поасонов-Гама статистички модел) такође припада породици уопштених линеарних модела. Почетни кораци у примјени Поасоновог-Гама модела направљени су у истраживању [Hauer et al. \(1988\)](#), за процјену безбједности на сигналисаним раскрсницама, на основу информација о саобраћајном току и саобраћајним незгодама. Анализиране су само саобраћајне незгоде са учешћем два возила (81% од укупног броја саобраћајних незгода). Развијени су модели за 15 образаца саобраћајних незгода према саобраћајним токовима возила. Резултати истраживања су показали да је осликавање везе између узрока (саобраћајни ток) и посљедице (судар између возила) могуће само ако се повежу саобраћајне незгоде са саобраћајним токовима, којима припадају возила, која су учествовала у саобраћајној незгоди. Такође, уобичајена категоризација саобраћајних незгода према типу (судар при паралелном кретању возила, налијетање на возило које се креће у истом смјеру итд.) није нарочито информативна. Аутори тврде да развијени модели омогућују (а) одређивање очекиваног броја и типа саобраћајних незгода на сигналисаним раскрсницама на основу познатог тока, као и одређивање очекиване варијансе, (б) израчунавање промјена очекиваног броја саобраћајних незгода према типу саобраћајне незгоде када се догоде промјене у саобраћајном току и (в) процјену безбједности раскрснице са познатом историјом саобраћајних незгода, те поређење исте са очекиваним резултатима на „просјечној“ раскрсници са истим саобраћајним током. У истраживању [Bonneson & McCoy \(1993\)](#) представљена је примјена техника уопштених линеарних модела за анализу везе између саобраћајних токова и саобраћајних незгода на несигналисаним раскрсницама на руралним путевима. Примјењене и упоређене су перформансе Поасоновог и НБ модела. Резултати истраживања су показали да је НБ модел адекватнији за моделовање фреквенције саобраћајних незгода на несигналисаним раскрсницама на руралним путевима, што указује и вриједности дисперзионог параметра (1.1). Тачније, аутори тврде да средња вриједност фреквенције саобраћајних незгода за групу сличних раскрсница прати гама расподелу. На основу анализе развијен је модел за предвиђање очекиване годишње фреквенције саобраћајних незгода на раскрсницама регулисаним саобраћајним знаковима на руралним путевима:

$$E(m) = 0.692 \left(\frac{T_m}{1,000} \right)^{0.256} \left(\frac{T_c}{1,000} \right)^{0.831} \quad (3.3)$$

гдје је $E(m)$ – очекивана фреквенција саобраћајних незгода; T_m – ПГДС на главном путу (воз/дан); T_c – ПГДС на споредном путу (воз/дан). У студији, која је спроведена у Флориди, [Hadi et al. \(1995\)](#) су тестирали постојање прераспршености података да би донијели одлуку о избору између Поасоновог и НБ модела за развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Резултати тестирања су предност дали НБ моделу. Предиктивни модели су развијени за девет категорија аутопутева за укупан број саобраћајних незгода, за фреквенцију саобраћајних незгода са погинулим лицима и фреквенцију саобраћајних незгода са повријеђеним лицима. На основу резултата истраживања може се закључити да неколико елемената попречног пресека пута утиче на безбједност саобраћаја тј. ширина саобраћајних трака, ширина банкена и ширина раздјелног појаса (гдје постоји), те ПГДС, ниже ограничење брзине, нижа пројектна брзина, присуство раскрсница и петљи. [Shankar et al. \(1995\)](#) су користили Поасонов регресиони модел (када подаци нису значајно прераспршени) и НБ модел (када постоји дисперзија у подацима) за истраживање фреквенције саобраћајних незгода на ауто-путу на основу мултиваријабилне анализе геометријских елемената пута, временских прилика и других сезонских ефеката. У раду је развијен модел заснован на НБ моделу фреквенције укупног броја саобраћајних незгода и модели фреквенције одређеног типа саобраћајне незгоде (слијетање са коловоза, превртање, судар за задње стране, удар у фиксну препреку итд.). Резултати истраживања су показали да је НБ модел одговарајући алат за моделовање свих типова саобраћајних незгода, осим за саобраћајне незгоде у којима долази до превртања возила, које прате Поасонову расподелу (тј. статистички гледано подаци за саобраћајне незгоде настале усљед превртања возила нису прераспршени). Истраживањем интеракције временских прилика и геометријских елемената пута објашњен је утицај временских прилика на критичне елементе геометрије пута и служи као водич у пројектовању путне геометрије тако да минимизира вјероватноћу настанка саобраћајних незгода при различитим временским и климатским условима.

[Maher & Summersgill \(1996\)](#) су указали на слабости и техничке потешкоће у примјени чисто Поасоновог регресионог модела, те истакли неколико кључних недостатака. Прво су истакли проблем ниске средње вриједности тј. случајеви када скуп података садржи велики проценат мјеста за које је фитована вриједност μ_i ниска, употреба $(N - p)$ као репера за вриједност скалираног одступања је погрешна, јер ће често указивати да је фитовани модел адекватан због ниске вриједности аритметичке средине, иако је очигледно да није, при чему је N број података, а p је број параметара који ће бити фитовани. Други проблем је прераспршеност података, који се јавља због других, непосматраних, експлораторних варијабли, које значајно доприносе случајној грешци или случајне грешке у неким експлораторним варијаблама, најчешће у ПГДС-у или је модел недоречен. Затим, проблеми неизвјесност предвиђања (који се јавља због грешке у процјени параметара експлораторних варијабли и ефекта прераспршености), дисагрегација података током времена (разлог за овај феномен је утицај експлораторних варијабли које нису укључене у модел, а које су углавном везане за неке одређене локације), случајне грешке у процјени саобраћајног тока (која се јавља због чињенице да рандомизовање једне варијабле саобраћајног тока води до погрешне процјене њеног коефицијента или ефекта рандомизације двије варијабле који је истовремено

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

и збир два одвојена ефекта) и агрегација предвиђања (који се јавља због ефекта прераспршености података). С обзиром, на ове недостатке, нагласили су да технике уопштених линеарних са грешком, која прати Поасонову или гама дистрибуцију, представљају најприкладнији приступ за анализу података. Првенствено предлажу употребу НБ модела.

[Milton & Mannering \(1998\)](#) су обезбједили статистички модел фреквенције саобраћајних незгода, који може бити коришћен као дио проактивног програма за алоцирање средстава за побољшања безбједности саобраћаја на аутопутевима и изолирању деоница аутопута које су склоне настанку саобраћајних незгода. НБ модел фреквенције саобраћајних незгода на деоницама на главном артеријском путу у држави Вашингтон је процјењен користећи податаке за двогодишњи период. Подаци укључују информације о геометријским карактеристикама пута, карактеристикама саобраћаја и саобраћајним незгодама. Укупно, 31.306 саобраћајних незгода је коришћено у процјени параметара модела. У истраживању аутори су утврдили различите статистички значајне детерминанте, које утичу на фреквенцију саобраћајних незгода. Израчунавањем еластичности за континуиране варијабле идентификоване су релативне важности варијабли укључених у модел. Резултати студије су показали да за западни Вашингтон највећи релативни утицај имају број саобраћајних трака (0.714), ограничење брзине (-0.568) и ПГДС по саобраћајној траци (0.357), а за источни Вашингтон ПГДС по саобраћајној траци (0.333), дужина тангенте – правца (-0.210) и дужина деонице (0.166). Аутори тврде да негативна биномна регресија, која је коришћена у овоме раду, представља моћан предиктивни алат, који би требао да представља основу у будућим истраживањима фреквенције саобраћајних незгода. [Abdel-Aty & Radwan \(2000\)](#) су користили НБ модел за моделовање фреквенције саобраћајних незгода и фреквенцију учешћа у саобраћајне незгоде на главном артеријском путу у Централној Флориди. Примарни циљ њиховог рада је да се развије математички модел који објашњава везу фреквенције саобраћајних незгода са путном геометријом и карактеристикама саобраћаја. Модел показује значајност ПГДС-а, скретног угла хоризонталне кривине, ширине саобраћајних трака, ширине банкина, ширине раздјелног појаса, окружења пута (урбан/руралан) и дужине деонице на фреквенцију саобраћајних незгода. Поред тога, развијено је неколико НБ модела фреквенције учешћа у саобраћајним незгодама да би се узео у обзир утицај демографских карактеристика возача (године и пол). Резултати су показали да женски возачи имају више саобраћајних незгода него мушки возачи када је присутно учешће тешких возила у саобраћајном току, смањен раздјелни појас, мала ширина саобраћајних трака и већи број саобраћајних трака. Такође, млађи и старији возачи имају више саобраћајних незгода него возачи средњих година када је присутно учешће тешких возила у саобраћајном току, мањи раздјелни појас и мала ширина банкина. Млађи возачи имају већу тенденцију да учествују у саобраћајним незгодама које се дешавају на кривинама и када прекорачују брзину. [Caliendo et al. \(2007a\)](#) су развили моделе за предвиђање броја саобраћајних незгода на аутопутевима (четири саобраћајне траке са раздјелним појасем) у Италији на основу података о саобраћајним незгодама, посматраним у петогодишњем временском периоду између 1999-2003. године. Поасонов, НБ и НМ модели су коришћени

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

за моделовање фреквенције саобраћајних незгода, а примјењени су одвојено за правце и кривине. Примарни циљ рада је развијање специфичних предиктивних модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода у функцији саобраћајног тока (ПГДС), карактеристика пута (дужина деонице, закривљеност хоризонталне кривине ($1/P$), уздужни нагиб пута и присуство раскрсница на деоници), стања коловоза (да ли је коловоз сув или мокар, те коефицијент трења пута) и прегледности. За тестирање адекватности регресионих модела коришћена је *CURE* метода, која је показала да све независне варијабле осцилирају око нуле унутар $\pm 2\sigma$ (стандардна одступања), као што је и захтјевано. Поређење између Поасонове, НБ и НМ дистрибуције показује да (1) је Поасонова дистрибуција неадекватна за моделовање случајне варијације броја саобраћајних незгода с обзиром да је присутна прераспршеност података; (2) НМ дистрибуција има изразито већу експлаторну моћ него НБ дистрибуција; (3) НБ модел и НМ модел повећавају своју експлаторну моћ када је параметар дисперзије у свакој деоници пропорционалан дужини деонице пута. Аутори тврде да су модели развијени у овом раду за аутопутеве у Италији корисни за различите примјене, тј. идентификовање критичних фактора, процјену смањења броја саобраћајних незгода због инфраструктурних побољшања и побољшања коловоза, те предвиђање броја саобраћајних незгода код поређења различитих пројектних опција. Студија, коју су спровели [Malyshkina & Mannering \(2010a\)](#), је истражила утицај изузетака у пројектовању аутопутева на фреквенцију и посљедице саобраћајних незгода у Индијани. *IDT* користи хијерархијски метод критеријума за пројектовање у три нивоа. У раду је посматран само први ниво, који укључује оне елементе пројекта пута за које је оцијењено да су најкритичнији индикатори безбједности пута (пројектна брзина, ширина саобраћајних трака, ширина банкена, ширина и структура мостова, хоризонталне кривине, прегледност, вертикалне кривине, уздужни и попречни нагиб пута, приступачност за хендикепиране особе и пружни прелази). За моделовање фреквенције саобраћајних незгода коришћен је НБ модел, који се показао као прилично добар алат за моделовање ($McFadden \rho^2 = 0.759$). Резултати процеса моделовања су показали да присуство одобрених изузетака у пројектовању нема статистички значајан утицај на просјечну фреквенцију саобраћајних незгода. На основу добијених резултата може се закључити да су процедуре одобравања изузетака у пројектовању прилично добре и омогућавају избјегавање штетних утицаја. Међутим, резултати сугеришу да процес који одређује фреквенцију саобраћајних незгода варира између деоница са одобреним изузетима у пројектовању и деоница без изузетака.

НБ модел се веома добро показао у рјешавању проблема прераспршености података, али у одређеним скуповима података, гдје постоје временске ([Hausman et al., 1984](#); [Caliendo et al., 2013](#)) и просторне ([Xu et al., 2014](#)) корелације није се показао као најбоље рјешење, те се предлаже употреба негативног биномног модела са случајним ефектима (РЕНБ модел). Међутим, ако су просторни и временски ефекти експлицитно укључени у модел, НБ модел је адекватан и превазилази дистрибутивне предности РЕНБ модела ([Shankar et al., 1998](#)). [Ma et al. \(2017\)](#) су истражили везу фреквенције саобраћајних незгода са појединим факторима који доприносе настанку саобраћајних незгода. Сегментацију деоница аутопута су извршили на два начина: фиксне и хомогене деонице. У раду су развијени НБ и РЕНБ

моделу за предвиђање фреквенције саобраћајних незгода. Због присуства временско-просторне корелације у подацима, РЕНБ модел се показао као супериорнији у односу на НБ модел. Пред тога, аутори тврде да је модел са фиксном дужином деонице адекватнији од модела са хомогеним деоницама у смислу мање релативне грешке предвиђања и кумулативних стандардизованих резидуала. Резултати истраживања су показали да ширина пута, подужни нагиб пута и ПГДС имају значајан утицај на настанак саобраћајних незгода.

Поасонов и НБ модел имају тенденцију да дају погрешне процјене за прераспршене податке о саобраћајним незгодама, када у скупу података постоји велики број нула. Због тога је потребно истражити уопштене линеарне моделе, који се успјешно носе са овим проблемом, као што су ЗИП и ЗИНБ модели ([Lord & Mannering, 2010](#)).

3.4. ПОАСОНОВ МОДЕЛ СА ВИШКОМ НУЛА (ЗИП МОДЕЛ)

[Lambert \(1992\)](#) је предложила ЗИП модел као нови приступ у рјешавању проблема вишка нула у скупу пребројивих података. Основа претпоставка овог модела је да стање са вишком нула једино је могуће са вјероватноћом p_i , док са друге стране Поасонов параметар μ_i има вјероватноћу $1 - p_i$. Некада су p_i и μ_i неповезани, а некада p_i је једноставна функција од μ_i као нпр. $p = \mu_i / (1 + \mu_i^\tau)$ за непознату константу τ . У оба случаја ЗИП модел је веома лако фитовати према скупу података у коме постоји велики број нула. [Miaou \(1994\)](#) је предложио увођење ЗИП модела ради рјешавања потенцијалног проблема не пријављивања саобраћајних незгода, нарочито саобраћајних незгода са лакше провријеђеним лицима и материјалном штетом.

Примјену модела са вишком нула односно ЗИП и ЗИНБ модела у моделовању фреквенције саобраћајних незгода на путевима у Вашингтону спровели су [Shankar et al. \(1997\)](#). Аутори тврде да су модели са вишком нула погодни за суочавање са феноменом дуалног стања, јер експлицитно препознају постојање два стања и допуштају вјероватноћу да ова два стања могу бити под утицајем различитих фактора. Сврха оваквог приступа је омогућавање разликовања деоница пута које су „стварно“ безбједне (вјероватноћа да нема саобраћајних незгода на посматраној деоници пута) од небезбједних, које могу да имају или да немају одређен број саобраћајних незгода у посматраном временском периоду (нпр. годину дана). Модели су развијени за три функционалне класе путева: даљинске, везне и сабирне путеве. Резултати су показали да ЗИП модели имају велику флексибилност у откривању процеса који утичу на фреквенцију саобраћајних незгода на деоницама са и без саобраћајних незгода. Поређењем модела утврђено је да је за даљинске путеве најподеснији НБ модел због постојања прераспршености у подацима ($\alpha = 1.541$), за везне путеве најподеснији је ЗИНБ модел ($V = 5.230$), а за сабирне путеве ЗИП модел ($V = 22.806$). Вриједност Вуонг теста код везних и сабирних путева је показала оправданост моделовања процеса дуалног стања. [Lee et al. \(2002\)](#) су моделовали саобраћајне незгоде у којима су учествовали млади возачи. Истражили су утицај фактора мотивације и начина живота младих возача, као фактора ризика, на фреквенцију саобраћајних незгода, користећи НБ и

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

ЗИП модел. У фокусу студије били су млади возачи који имају возачку дозволу 12 мјесеци. Од укупно 1.174 возача, њих 1.066 није учествовало у саобраћајној незгоди у посматраном периоду. Примјеном ЗИП модела утврђено је да возачи који су више возили за вријеме важења пробне возачке дозволе и возачи који имају виши ниво самопоуздања склонији су већем ризику односно учешћу у саобраћајној незгоди. Поред тога резултати су показали да ЗИП модел боље фитује са стварним подацима, него НБ модел када у скупу података има велики број нула (90,8%). Аутори тврде да је ЗИП модел адекватан алат када у скупу података о саобраћајним незгодама постоји велики број 0. Посебно, ако је овај број 0 посљедица непријављивања саобраћајних незгода. [Shankar et al. \(2003\)](#) су спровели емпиријско истраживање предиктивног моделирања саобраћајних незгода са пјешацима у Вашингтону. У раду су користили НБ и ЗИП модел за израду предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода са пјешацима по 1 миљи пута. Поред тога, истражили су утицај варијабли путне мреже (нпр. индикатор варијабле као што су постојање тротоара, пјешачких прелаза, пјешачких пасарела, семафора, средишњих трака и освјетљења), употребе земљишта (нпр. индикатор варијабле као што су комерцијално земљиште, зона школе, малопродајне трговине и стамбене зоне – зграде и куће), моторизованог (ПДС) и пјешачког саобраћаја (пјешачки дневни саобраћај) на фреквенцију саобраћајних незгода са пјешацима. Емпиријски резултати су показали да је ЗИП модел подеснији од НБ модела ($V = 2.155$) и представља обећавајућу методологију, која је дала експлораторни увид у узрочност саобраћајних незгода са пјешацима. ЗИП модел је са једне стране ријешао проблем непосматране хетерогености у анализи саобраћајних незгода са пјешацима, а са друге стране проблем „лажне“ прераспршености података, која се јавља због великог броја нула у скупу података. Такође, резултати истраживања су показали да комбинација варијабли као што су ПДС, растојање између семафора, постојање освјетљења пута и средишњих трака има статистички значајан утицај на вјероватноћу саобраћајних незгода са пјешацима. [Qin et al. \(2004\)](#) су процјенили предиктивне моделе саобраћајних незгода користећи различите типове саобраћајних незгода и идентификовали најбољи сет мјера изложености за предвиђање стопе саобраћајних незгода. Такође, истражили су везу ПГДС-а и дужине деонице пута са саобраћајним незгодама. Примјењен је ЗИП модел за предвиђање стопе саобраћајних незгода у функцији ПГДС-а, дужине деонице, ограничења брзине и ширине коловоза. Саобраћајне незгоде су дисагрегиране на четири типа: (1) саобраћајне незгоде у којима је учествовало једно возило, (2) саобраћајне незгоде у којима учествује више возила – налијетање на возило које се креће у истом смјеру, (3) саобраћајне незгоде у којима учествује више возила – судар са возилом које се креће у супротном смјеру и (4) саобраћајне незгоде у којима учествује више возила – бочни судар. Истраживање је спроведено за двотрачне путеве у Мичигену, а подаци о саобраћајним незгодама, ПГДС-у и геометријским карактеристикама пута су прикупљени за трогодишњи временски период 1994-1997. године. Аутори су развили функцију изложености која се састоји од логаритма ПГДС-а и логаритма дужине деонице у облику:

$$\eta_{ik} = V_i^{\alpha_{V_k}} L_i^{\alpha_{L_k}} \quad (3.4)$$

гдје је η_{ik} – израчуната функција изложености на локацији i за потенцијалне саобраћајне незгоде типа k ; V_i – ПГДС по смјеровима на локацији i ; L_i – дужина деонице, унутар које се налази локација i ; α – експонент изложености, који се процјењује за саобраћајне незгоде типа k . Поред тога, утврдили су да веза ПГДС-а и дужине деонице са саобраћајним незгодама није линеарна и варира у зависности од типа саобраћајне незгоде. [Sittikariya et al. \(2005\)](#) су анализирали саобраћајне незгоде у којима учествује више возила тачније сударе возила, који се крећу у супротним смјеровима, на путевима са раздјелним појасом, без заштитних баријера (нпр. заштитних одбојних ограда). Идентификовали су статистички значајне геометријске и саобраћајне варијабле, те варијабле падавина (снијег) које утичу на фреквенцију саобраћајних незгода. За моделовање примјењена су два модела: НМ и ЗИП модел. Уколико у подацима постоји проблем серијских корелација адекватнија је употреба НМ модела. Међутим, када скуп података о саобраћајним незгодама карактерише велики број нула, а не постоји проблем серијских корелација, за моделовање је адекватнија употреба ЗИП модела. У раду је примјењен ЗИП модел са неограниченим параметарским векторима (модел у коме „zero-inflated“ и Поасонов дио не морају имати исте параметре) познатији као потпуни ЗИП модел (*енгл. ZIP-full model*). Резултати истраживања су показали да ПГДС, број раскрсница, интеракција између дужине деонице и ширине раздјелног појаса и интеракција између мјесечних падавина и хоризонталних кривина имају највећи утицај на фреквенцију овог типа саобраћајних незгода.

С обзиром да Поасонова дистрибуција претпоставља да су аритметичка средина и варијанса једнаки, ЗИП модел може дати погрешне процјене, ако постоји наддисперзија у Поасоновом дијелу ЗИП модела (модел „count“). Тада је потребно размотрити употребу ЗИНБ модела.

3.5. НЕГАТИВНИ БИНОМНИ МОДЕЛ СА ВИШКОМ НУЛА (ЗИНБ МОДЕЛ)

[Shankar et al. \(1997\)](#) су развили предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на везним путевима заснован на ЗИНБ моделу. Поред тога, идентификоване су значајне саобраћајне (ПГДС, проценат тешких возила и проценат вршног часа у ПГДС-у) и геометријске (банкине, размак између кривина, постојање равних деоница, хоризонталне и вертикалне кривине и правци) варијабле, које имају утицај на фреквенцију саобраћајних незгода. Све предиктивне варијабле су имале очекиван знак, осим варијабле постојање равних деоница. Наиме, равне деонице пута позитивно утичу на оба стања (стање без саобраћајних незгода и стање са могућим саобраћајним незгодама). Аутори тврде да је ово посљедица великог броја саобраћајних незгода или великог броја нула на овим деоницама. [Carson & Mannering \(2001\)](#) су истражили ефективност саобраћајног знака опасности „поледица“ на смањење фреквенције и тежине саобраћајних незгода, када је поледица на коловозу. Истраживање су спровели у Вашингтону, за три функционалне класе путева, за трогодишњи временски период. За развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода и разумјевање утицаја саобраћајног знака „поледица“ користили су индикатор

варијаблу за присуство саобраћајног знака „поледица“ (1 када је саобраћајни знак „поледица“ постављен, 0 обрнуто). Ова варијабла показује знакове ендегености, који су узети у обзир приликом развијања предиктивних модела. Резултати истраживања су показали да је ЗИНБ модел најадекватнији за даљинске путеве ($V = 10.18$), док је за друге двије класе путева најадекватнији НБ модел ($V < 1.96$). Такође, утврђено је да присуство саобраћајног знака опасности „поледица“ није статистички значајан фактор у смањењу фреквенције или тежине саобраћајних незгода. Међутим, у раду су идентификоване статистички значајне просторне, временске, саобраћајне и геометријске варијабле, које утичу на фреквенцију и тежину саобраћајних незгода, када је лед присутан на коловозу. На фреквенцију саобраћајних незгода, када је лед присутан на коловозу, на даљинским путевима утичу индикатори варијабла региона, ПГДС, проценат вршног часа у ПГДС-у, ограничење брзине, дужина деонице, присуство раздјелног појаса и дужине хоризонталних кривина. Идентификовање ових варијабли омогућиће боље постављање саобраћајних знакова за присуство леда на коловозу и побољшање у пројектовању пута и окружења, ради смањења фреквенције саобраћајних незгода. Истраживање утицаја путних карактеристика на саобраћајне незгоде у којима учествује једно возило (слијетање возила са коловоза) и развој статистичког модела, који ће обезбједити увид у везу путних карактеристика и саобраћајних незгода овог типа спроведено је у Вашингтону на руралним и урбаним деоницама државног пута број 3 (енгл. *State Route 3*) ([Lee & Mannering, 2002](#)). Истраживање фреквенције слијетања возила са коловоза показало је значајне разлике у факторима, који одређују фреквенцију саобраћајних незгода у урбаним и руралним подручјима. За урбане деонице пута НБ модел је најадекватнији ($V = -0.00003$), а за руралне деонице ЗИНБ модел се показао као најподеснији ($V = 4.731$). Посматрајући руралне деонице државног пута, фреквенцију саобраћајних незгода овог типа могуће је смањити избјегавањем стрмих падина, смањењем број стабала дуж коловоза, смањивањем растојања од спољашњег рамена до заштитне ограде и повећањем растојања од спољашњег рамена до стубова расвјете. Процјеном еластичности утврђено је да на слијетање возила са коловоза највећи утицај имају сљедеће предиктивне варијабле: дужина вертикалне кривине (-1.468), вјероватноћа велика брзине (-1.215) и ширина рамена (1.214) у „zero-inflated“ дијелу ЗИНБ модела и индикатор варијабли стрме падине (0.676), ширина раздјелног појаса (-0.526) и дужина вертикалне кривине (-0.379). Ово истраживање пружило је почетне кораке за идентификовање ефективних контрамјера, које побољшавају пројекат аутопута, при чему смањују вјероватноћу слијетања возила са коловоза.

У студији о саобраћајним незгодама према типу маневра возила на четворокраким сигнализаним раскрсницама, [Mitra et al. \(2002\)](#) су истражили утицај геометријских, саобраћајних и варијабли контроле саобраћаја на раскрсницама на ове типове саобраћајне незгоде. Налијетање возила и бочни судар чине 84% саобраћајних незгода на раскрсницама у Сингапуру, па су у раду анализирана ова два типа саобраћајних незгода. С обзиром на велики број нула у скупу података, за моделовање саобраћајних незгода користили су ЗИП и ЗИНБ моделе, узимајући у обзир да ли истовремено постоји распршеност у скупу података или не. Проблем просторних и временских корелација ријешен је увођењем вјештачких

(енгл. *dummy*) варијабли у модел. За налијетање возила најадекватнији је ЗИП модел, јер је показано да не постоји наддисперзија ($t = 0.0001$), чиме је предност дата Поасономом у односу на НБ модел, а Вуонг тест је потврдио адекватност ЗИП модела у односу на Поасонов модел ($V = 6.95$). Са друге стране, за бочне сударе ЗИНБ модел се показао најадекватнијим ($t = 2.81$ за $k = 0.4$; $V = 3.39$). На основу спроведеног истраживања закључено је да постојање неконтролисаних трака за лијево скретање (напомена: у Сингапуру се вози лијевом страном коловоза), шири раздјелни појас, већи ПГДС и већи број сигнала фаза семафора повећавају фреквенцију саобраћајних незгода оба типа. Поред тога, већа дужина прегледности, постојање пјешачког острва и високе прилазне брзине возила повећавају фреквенцију бочних судара, док постојање аутобуских ниша и сусједних раскрсница унутар 200 метара смањује фреквенцију бочних судара. На повећање фреквенције налијетања возила утиче присуство надзорних камера, док постојање адаптивне контроле саобраћаја смањује фреквенцију налијетања возила. Даље истраживање утицаја геометријских, саобраћајних и варијабли контроле саобраћаја на фреквенцију саобраћајних незгода спроведено је у Сингапуру на трокраким сигналисаним раскрсницама ([Kumara & Chin, 2003](#)). Подаци о саобраћајним незгодама, које су се догодиле на 104 трокраке сигнасане раскрснице, прикупљени су за период 1992-2000. године. Због великог броја нула у бази података (80%) и прераспршености података, за развој предиктивног модела коришћен је ЗИНБ модел тачније ЗИНБ (τ) модел. Овај модел се примјењује када су користе исте коваријанте у дијелу „zero-inflated“ и НБ дијелу и када су њихови ефекти функционално повезани. Као резултат моделовања идентификовани су фактори који утичу на фреквенцију саобраћајних незгода на трокраким сигналисаним раскрсницама. Утврђено је да присуство саобраћајне траке за десно скретање, посебне саобраћајне траке за лијево скретање и ограде на раздјелном појасу може смањити фреквенцију саобраћајних незгода. Насупрот томе, постојање хоризонталних кривина, повећање сигналних фаза по циклусу и постојање допуштене фазе за лијево скретање повећавају фреквенцију саобраћајних незгода.

[Miranda-Moreno & Fu \(2006\)](#) су спровели компаративну студију о примјени различитих критеријума и статистичких модела за идентификовање „црних тачака“. Као критеријум за рангирање разматрана је очекивана фреквенција саобраћајних незгода заснована на маргиналној и постериорној дистрибуцији. Поред тога, разматрана су три статистичка модела (НБ, ХНБ и ЗИНБ модел) за израду предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Истраживање је спроведено у Канади, на узорку од 29.500 пружних прелаза. Резултати истраживања су показали да постоји мала разлика у рангирању када су примјењени различити модели под истим критеријумом за рангирање (фреквенција заснована на маргиналној или постериорној дистрибуцији). Практично, листе „црних тачака“ су прилично сличне, када је процјена саобраћајних незгода изведена нпр. из постериорне средине сваког модела. Са друге стране, значајно различите листе „црних тачака“ су идентификоване када се рангирају локације засноване на маргиналном средњем и постериорном очекивању фреквенције саобраћајних незгода. Поред тога, утврђено је да ХНБ модел представља флексибилнију опцију него НБ модел за анализу података о саобраћајним незгодама, јер допушта постојање варијабилности у дисперзионом параметру. Такође, утврђено је да ЗИНБ модел даје најадекватније процјене у односу на стварне податке, због изузетно велике фреквенције нула у посматраном скупу података. Ипак,

аутори закључују да су ЗИНБ и ХНБ модели само мало побољшали процјене података о саобраћајним незгодама него НБ модел. Стога, НБ модел може и даље бити добар кандидат за моделирање скупа података о саобраћајним незгодама са великим бројем нула. У студији о утицају ивичњака, [Jiang et al. \(2011\)](#) су истражили да ли ивичњаци дуж коловоза пута производе штетне утицаје на безбједност пута и да ли повећање ограничења брзине производи додатне штетне ефекте. Истраживање је спроведено у Илиноису, на двотрачним и четворотрачним путевима са ограничењем брзине од 45 mph, 50 mph и 55 mph. Посматрана су три типа банке: банке са уграђеним ивичњацима, равне меке банке (земља и трава) и равне тврде банке (бетон, асфалт и сл.). У раду су развијени ЗИНБ модел за све сегменте пута (са свим типовима банке) и ЗИНБ модел за сегменте пута са банкама са уграђеним ивичњацима. Резултати истраживања сугеришу да употреба ивичњака на двотрачним и четворотрачним путевима са ограничењем брзине до 55 mph нема значајан утицај на настајање саобраћајних незгода. Смањење ограничења брзине са 55 mph на 45 mph на овим путевима неће донијети безбједносне користи. Поред тога, фреквенција саобраћајних незгода се повећава са повећањем дужине деонице и ПГДС-а, а смањује са повећањем броја и ширине саобраћајних трака. Такође, путеви у урбаним регионима су повезани са већом фреквенцијом саобраћајних незгода него путеви у руралним регионима.

3.6. ПРЕГЛЕД ОСТАЛИХ СТАТИСТИЧКИХ МОДЕЛА ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

У претходном периоду, поред наведених развијени су и други статистички модели, који су коришћени у анализи фреквенције саобраћајних незгода. Модели су коришћени за утврђивање везе између предиктивних варијабли и фреквенције саобраћајних незгода или за предвиђање фреквенције саобраћајних незгода. Такође, модели су показали и нека пожељна статистичка својства, као нпр. Поасонов лог-нормални модел ([Aguero-Valverde & Jovanis, 2008](#); [Lord & Miranda-Moreno, 2008](#); [Ma et al., 2008](#)) карактерише већа флексибилност у односу на НБ модел приликом рјешавања проблема наддисперзије, модели трајања (енгл. *Duration models*) допуштају дубљу анализу података и временских ефеката ([Mannering, 1993](#); [Chung, 2010](#); [Jovanović et al., 2011](#)), гама модели ([Oh et al., 2006](#); [Daniels et al., 2010](#)) се добро носе са проблемом поддисперзије података, модели са случајним параметрима (енгл. *Random parameters count models*) су знатно флексибилнији у рјешавању проблема непосматране хетерогености ([Anastasopoulos & Mannering, 2009](#); [El-Basyouny & Sayed, 2009](#); [Bhat et al., 2014](#)), неуронске мреже ([Abdelwahab & Abdel-Aty, 2001](#); [Chang, 2005](#); [Xie et al., 2007](#)) не захтјевају претпоставке о дистрибуцији и имају флексибилну функционалну форму, модели генерализоване једначине процјене (енгл. *Generalized estimating equation models*) рјешавају проблеме временских корелација ([Lord & Persaud, 2000](#); [Lord et al., 2005](#); [Lord & Mahlawat, 2009](#)), хијерархијски модели/модели са више нивоа могу да се носе са корелацијама између група посматрања ([Ahmed et al., 2001](#); [Yu & Abdel-Aty, 2013a, 2013b](#)) и „Markov switching“ модели ([Malyshkina et al., 2009](#); [Malyshkina & Mannering, 2010b](#)), који се могу користити за анализирање извора дисперзије у подацима.

3.7. ДИСКУСИЈА

У претходном периоду, велики број истраживача се бавио моделима и моделирањем у области безбједности саобраћаја, да би испитали, објаснили и предвидјели проблеме безбједности саобраћаја. Највећи проблем безбједности саобраћаја представљају саобраћајне незгоде и њихове последице. Моделовање саобраћајних незгода се користи за идентификовање и процјену утицаја различитих фактора, као и процјену интензитета ефеката тих фактора на настанак саобраћајне незгоде. Постоји велики број фактора који могу допринјети настанку саобраћајних незгода. Настанку саобраћајне незгоде може доприносити један или низ фактора. За идентификовање и анализу тих фактора користе се разни алати, међу којима су и уопштени линеарни модели.

У дисертацији представљена су 4 типа ГЛМ-а и то: Поасонов модел, НБ модел, ЗИП модел и ЗИНБ модел. Сваки од ових модела има предности и недостатке у односу на друге моделе ([Lord & Mannering, 2010](#)). Поасонов модел представља основни модел и омогућава laku процјену зависне промјенљиве и коефицијената предиктивних варијабли. Са друге стране, овај модел не може да се носи са наддисперзијом и поддисперзијом, ако постоје у подацима. Такође, на њега негативан утицај имају мали узорак и мала средња вриједност узорка. НБ модел је лак за процјену зависне промјенљиве и коефицијената предиктивних варијабли и може да се носи са проблемом наддисперзије. Недостатак НБ модел огледа су у чињеници да НБ модел не може да се носи са поддисперзијом и малим узорком и малом средњом вриједношћу узорка. ЗИП модел се показао успјешним када у сету података постоји велики број нула. Ипак, овај модел не може да се носи са наддисперзијом и поддисперзијом и интерпретација резултата може да буде нејасна. Такође, овај модел може произвести и неке теоријске неконзистентности. ЗИНБ модел је користан када у сету података постоји велики број нула и истовремено има проблем наддисперзије. Међутим, као и ЗИП модел овај модел може произвести неке теоријске неконзистентности и интерпретација резултата може да буде нејасна. Поред тога, ЗИНБ модел не може да се носи са малим узорком и малом средњом вриједношћу узорка.

[Lord et al. \(2005\)](#) тврде да се подаци о саобраћајним незгодама најбоље карактеришу као Бернулијеви покушаји са независношћу између саобраћајних незгода и неједнаком вјероватноћом настанка саобраћајне незгоде код различитих возача, возила, путева и путног окружења. Због мале вјероватноће и великог броја покушаја исти се могу апроксимирати као Поасонов покушаји. Поасонов и НБ модел служе као статистичке апроксимације процеса настанка саобраћајних незгода. Поасонов модел служи добро под скоро хомогеним условима, док НБ модел добро служи под осталим условима. ЗИП и ЗИНБ модел се користе, ако постоје два стања: стање без саобраћајних незгода и стање са могућим саобраћајним незгодама. Ипак, вишак нула у сету података не мора бити последица дуалног стања, већ може бити последица (1) постојања локација са комбинацијом ниске изложености и високе хетерогености, (2) анализе спроведене са малом просторном или временском скалом, (3) подаци са високим процентом недостајућих или непријављених саобраћајних незгода или (4) примјена модела са изостављеним важним предиктивним варијаблама. Тада, аутори

предлажу да се уз корекцију скупа података и отклањања недостатака размисли о употреби Поасоновог или НБ модела.

Након анализе литературе на пољу моделовања фреквенције саобраћајних незгода потврђене су **помоћне хипотезе H_{11} и H_{13}** . Анализирано је неколико статистичких модела из породице ГЛМ-а. Утврђене су предности и недостаци статистичких модела, те потенцијална ограничења на која је потребно обратити пажњу приликом моделовања и развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Утврђено је да велики број претходних истраживања користи историју саобраћајних незгода за развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Временски период догађања саобраћајних незгода коришћен за моделовање саобраћајних незгода је најчешће једногодишњи, двогодишњи, петогодишњи и десетогодишњи временски период. Прегледом литературе на пољу анализе фреквенције саобраћајних незгода утврђено је да се на основу постојећих статистичких модела и историје саобраћајних незгода, у трогодишњем временском периоду, може развити предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода.

3.8. РЕФЕРЕНЦЕ

[Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. \(2000\). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32\(5\), 633-642.](#)

[Abdelwahab, H., & Abdel-Aty, M. \(2001\). Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1746\), 6-13.](#)

[Agresti, A., & Kateri, M. \(2011\). *Categorical data analysis* \(pp. 206-208\). Springer Berlin Heidelberg.](#)

[Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P. \(2008\). Analysis of road crash frequency with spatial models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2061\), 55-63.](#)

[Ahmed, M., Huang, H., Abdel-Aty, M., & Guevara, B. \(2011\). Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. *Accident Analysis & Prevention*, 43\(4\), 1581-1589.](#)

[Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. \(2009\). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis & Prevention*, 41\(1\), 153-159.](#)

[Ayati, E., & Abbasi, E. \(2014\). Modeling Accidents on Mashhad Urban Highways. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 4\(01\), 22.](#)

[Bhat, C. R., Born, K., Sidharthan, R., & Bhat, P. C. \(2014\). A count data model with endogenous covariates: formulation and application to roadway crash frequency at intersections. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 53-71.](#)

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

- Bonneson, J. A., & McCoy, P. T. (1993). Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways. *Transportation Research Record*, (1401).
- Caliendo, C., De Guglielmo, M. L., & Guida, M. (2013). A crash-prediction model for road tunnels. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 107-115.
- Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. (2007a). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 657-670.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (1998). Regression analysis of count data. New York, NY: Cambridge University Press.
- Carson, J., & Mannering, F. (2001). The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1), 99-109.
- Chang, L. Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety science*, 43(8), 541-557.
- Chung, Y. (2010). Development of an accident duration prediction model on the Korean Freeway Systems. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 282-289.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. (2010). Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 393-402.
- El-Basyouny, K., & Sayed, T. (2009). Accident prediction models with random corridor parameters. *Accident Analysis & Prevention*, 41(5), 1118-1123.
- Gustavsson, J., & Svensson, Å. (1976). A Poisson regression model applied to classes of road accidents with small frequencies. *Scandinavian Journal of Statistics*, 49-60.
- Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L. F., & Wattleworth, J. A. (1995). Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression. *Transportation Research Record*, 1500, 169.
- Hauer, E., Ng, J. C., & Lovell, J. (1988). *Estimation of safety at signalized intersections (with discussion and closure)* (No. 1185).
- Hausman, J. A., Hall, B. H., & Griliches, Z. (1984). Econometric models for count data with an application to the patents-R&D relationship.
- Jiang, X., Yan, X., Huang, B., & Richards, S. H. (2011). Influence of curbs on traffic crash frequency on high-speed roadways. *Traffic injury prevention*, 12(4), 412-421.
- Jones, B., Janssen, L., & Mannering, F. (1991). Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle. *Accident Analysis & Prevention*, 23(4), 239-255.
- Joshua, S. C., & Garber, N. J. (1990). Estimating truck accident rate and involvements using linear and Poisson regression models. *Transportation planning and Technology*, 15(1), 41-58.
- Jovanis, P. P., & Chang, H. L. (1986). Modeling the relationship of accidents to miles traveled. *Transportation Research Record*, 1068, 42-51.

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

- Jovanović, D., Bačkalić, T., & Bašić, S. (2011). The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. *Safety science*, 49(8), 1246-1251.
- Kumara, S. S. P., & Chin, H. C. (2003). Modeling accident occurrence at signalized tee intersections with special emphasis on excess zeros. *Traffic Injury Prevention*, 4(1), 53-57.
- Kumara, S., & Chin, H. (2005). Application of Poisson underreporting model to examine crash frequencies at signalized three-legged intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1908), 46-50.
- Lambert, D. (1992). Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, 34(1), 1-14.
- Lee, A. H., Stevenson, M. R., Wang, K., & Yau, K. K. (2002). Modeling young driver motor vehicle crashes: data with extra zeros. *Accident Analysis & Prevention*, 34(4), 515-521.
- Lee, J., & Mannering, F. (2002). Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 34(2), 149-161.
- Lord, D., & Mahlawat, M. (2009). Examining application of aggregated and disaggregated Poisson-gamma models subjected to low sample mean bias. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2136), 1-10.
- Lord, D., & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(5), 291-305.
- Lord, D., & Miranda-Moreno, L. F. (2008). Effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter of Poisson-gamma models for modeling motor vehicle crashes: a Bayesian perspective. *Safety Science*, 46(5), 751-770.
- Lord, D., & Persaud, B. (2000). Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1717), 102-108.
- Lord, D., Manar, A., & Vizioli, A. (2005). Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 37(1), 185-199.
- Lord, D., Washington, S. P., & Ivan, J. N. (2005). Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis & Prevention*, 37(1), 35-46.
- Ma, J., Kockelman, K. M., & Damien, P. (2008). A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 964-975.

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

- Ma, Z., Zhang, H., Steven, I., Chien, J., Wang, J., & Dong, C. (2017). Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 214-222.
- Maher, M. J., & Summersgill, I. (1996). A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3), 281-296.
- Malyshkina, N. V., & Mannering, F. L. (2010a). Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 131-139.
- Malyshkina, N. V., & Mannering, F. L. (2010b). Zero-state Markov switching count-data models: an empirical assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 122-130.
- Malyshkina, N. V., Mannering, F. L., & Tarko, A. P. (2009). Markov switching negative binomial models: an application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 217-226.
- Mannering, F. L. (1993). Male/female driver characteristics and accident risk: some new evidence. *Accident Analysis & Prevention*, 25(1), 77-84.
- Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (2014). Analytic methods in accident research: methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 1-22.
- Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26(4), 471-482.
- Miaou, S. P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, 25(6), 689-709.
- Milton, J., & Mannering, F. (1998). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25(4), 395-413.
- Miranda-Moreno, L. F., & Fu, L. (2006). A comparative study of alternative model structures and criteria for ranking locations for safety improvements. *Networks and Spatial Economics*, 6(2), 97-110.
- Mitra, S., Chin, H. C., & Quddus, M. (2002). Study of intersection accidents by maneuver type. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1784), 43-50.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized linear models. *Encyclopedia of statistical sciences*.
- Oh, J., Washington, S. P., & Nam, D. (2006). Accident prediction model for railway-highway interfaces. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 346-356.

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

- Omari-Sasu, A. Y., Isaac, A. M., & Boadi, R. K. (2016). Statistical Models for Count Data with Applications to Road Accidents in Ghana. *International Journal of Statistics and Applications*, 6(3), 123-137.
- Qin, X., Ivan, J. N., & Ravishanker, N. (2004). Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 36(2), 183-191.
- Saccomanno, F. F., Grossi, R., Greco, D., & Mehmood, A. (2001). Identifying black spots along highway SS107 in Southern Italy using two models. *Journal of transportation engineering*, 127(6), 515-522.
- Shankar, V. N., Ulfarsson, G. F., Pendyala, R. M., & Nebergall, M. B. (2003). Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic. *Safety Science*, 41(7), 627-640.
- Shankar, V., Albin, R., Milton, J., & Mannering, F. (1998). Evaluating median crossover likelihoods with clustered accident counts: An empirical inquiry using the random effects negative binomial model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1635), 44-48.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.
- Shankar, V., Milton, J., & Mannering, F. (1997). Modeling accident frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 829-837.
- Sittikariya, S., Shankar, V. N., Shyu, M. B., & Chayanan, S. (2005). Accounting for serial correlation in count models of traffic safety. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3645-3657.
- Vayalamkuzhi, P., & Amirthalingam, V. (2016). Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(6), 559-570.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2011. Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.
- Xie, Y., Lord, D., & Zhang, Y. (2007). Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 922-933.
- Xu, X., Teng, H., Kwigizile, V., & Mulokozi, E. (2014). Modeling signalized-intersection safety with corner clearance. *Journal of Transportation Engineering*, 140(6), 04014016.
- Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. C. (2013). A simultaneous equations model of crash frequency by severity level for freeway sections. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 140-149.
- Yu, R., & Abdel-Aty, M. (2013b). Multi-level Bayesian analyses for single-and multi-vehicle freeway crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 58, 97-105.

3. Преглед досадашњих истраживања на пољу анализе саобраћајних незгода

[Yu, R., & Abdel-Aty, M. \(2013a\). Investigating different approaches to develop informative priors in hierarchical Bayesian safety performance functions. *Accident Analysis & Prevention*, 56, 51-58.](#)

4. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ

4.1. УВОД

У овом поглављу тестирана је **помоћна хипотеза H₁₂** која гласи: „Фреквенција саобраћајних незгода је у функцији саобраћајних и геометријских варијабли, које доприносе настанку саобраћајних незгода“.

У претходном периоду, поред истраживања предиктивних модела велика је пажња посвећена идентификацији и разумјевању утицајних фактора на фреквенцију саобраћајних незгода. С обзиром на комплексност саобраћајних незгода, настанак саобраћајних незгода често је повезан са више утицајних фактора истовремено. Анализирани су бројни фактори, у циљу успостављања везе између фреквенције саобраћајних незгода и утицајних фактора. [Mannering et al. \(2016\)](#) су идентификовали потенцијалне експлораторне независне варијабле, које имају утицај на вјероватноћу догађања саобраћајних незгода и тежину посљедица саобраћајних незгода. Аутори су груписали експлораторне независне варијабле, које потенцијално утичу на вјероватноћу догађања саобраћајних незгода, у три групе и то: (1) карактеристике пута, (2) карактеристике путног окружења и (3) карактеристике обима саобраћаја. Са друге стране, на тежину посљедица саобраћајних незгода утичу независне варијабле груписане у четири групе: (1) људске карактеристике, (2) карактеристике возила, (3) карактеристике пута и (4) карактеристике путног окружења.

Иако је људски фактор идентификован као највећи узрок саобраћајних незгода ([Treat et al., 1979](#)) веома га је тешко контролисати, због његове комплексности. Неопходна су вишегодишња истраживања и велика средства за промјену понашања у саобраћају. Међутим, утицај на фактор пута, кроз добро пројектовање путне геометрије и планирање оперативне брзине може постићи смањење фреквенције саобраћајних незгода. С обзиром на велики број истраживачких радова, фокус у дисертацији је усмјерен на најзначајније радове, који се баве утицајним факторима везаним за обим саобраћаја и пут са путним окружењем.

4.2. ОБИМ САОБРАЋАЈА

Обим саобраћаја је најчешће коришћена независна варијабла за моделовање фреквенције саобраћајних незгода ([Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Vangala et al., 2015](#); [Ma et al., 2017](#); [Rusli et al., 2017](#); [Cafiso et al., 2018](#); [Hou et al., 2018b](#)). Обим саобраћаја је у претходним истраживањима био изражен преко независних варијабли као што су: ПГДС, ПДС, проценат тешких теретних возила и сл. [Caliendo et al. \(2007a\)](#) су користили ПГДС као независну варијаблу за развој предиктивног модела за тангенте и кривине. Утврдили су да повећање броја возила на аутопутевима у Италији води до повећања фреквенције саобраћајних незгода, како на тангентима тако и у кривинама. За урбану путну мрежу, [Gomes \(2013\)](#) је развила предиктивне моделе за процјену фреквенције саобраћајних незгода са пјешацима. Утврдила је да ПГДС има позитиван знак, што указује да повећање у ПГДС-у води до повећања броја саобраћајних незгода. Такође, [Ma et al. \(2017\)](#) су утврдили да је ПГДС повезан са фреквенцијом саобраћајних незгода. Аутори тврде да повећање од 10% у ПГДС-

у води до скоро 20% повећања у фреквенцији саобраћајних незгода. [Hou et al. \(2018a\)](#) су анализирали фреквенцију саобраћајних незгода у тунелима. ПГДС су посматрали као мјеру изложености и утврдили да се број саобраћајних незгода повећава са порастом ПГДС-а. Поред тога, утврдили су да веза између саобраћајних незгода и ПГДС-а није линеарна. У бројним студијама је утврђено да се фреквенција саобраћајних незгода повећава са порастом ПДС-а ([Geedipally et al., 2012](#); [Shirazi et al., 2016](#); [Rusli et al., 2017](#)). [Oh et al. \(2010\)](#) су утврдили да је ПДС статистички значајан предиктор фреквенције саобраћајних незгода, те да доприноси повећању стопе саобраћајних незгода. Слично, [Washington et al. \(2014\)](#) су развили предиктивни модел на основу НБ модела за руралне путеве у Јужној Кореји. Резултати студије су показали да се стопа саобраћајних незгода повећава са порастом ПДС-а. [Dinu & Veeraragavan \(2011\)](#) су показали да повећање часовног обима саобраћаја утиче на повећање фреквенције саобраћајних незгода у дневним и ноћним условима. Поред тога, показали су да је утицај часовног обима саобраћаја на фреквенцију саобраћајних незгода у дневним условима већи него у ноћним условима. Са друге стране, [Milton & Mannering \(1998\)](#) су утврдили да повећање обима саобраћаја у вршном часу узрокује смањење фреквенције саобраћајних незгода, због загушења саобраћаја.

У бројним студијама је утврђено да мјешовити саобраћајни ток, тачније ток који се састоји од путничких и теретних моторних возила, утиче на фреквенцију саобраћајних незгода ([Vadlamani et al., 2010](#); [Buddhavarapu et al., 2013](#); [Caliendo et al., 2013](#)). Аутори ([Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Hosseinpour et al., 2014](#); [Garach et al., 2016](#)) тврде да већи проценат тешких возила у саобраћајном току доприноси повећању фреквенције саобраћајних незгода. Слично, у студији [Hou et al. \(2018b\)](#) су показали да је присуство теретних возила повезано са повећањем фреквенције саобраћајних незгода. Наспурот претходним истраживањима, [Yu et al. \(2015\)](#) су утврдили да повећање процента теретних возила у сегменту за 1% узрокује смањење стопе саобраћајних незгода за 146,11 (nez/100*mil*voz*km). Треба нагласити да су аутори анализирали планинске аутопутеве при лошим временским условима, а наведени резултати могу бити последица компензације ризика од стране возача. У студији коју су спровели [Dinu & Veeraragavan \(2011\)](#) утврђено је да ако се повећа проценат путничких аутомобила у саобраћајном току долази до смањења фреквенције саобраћајних незгода. Такође, утврдили су да повећање процента аутобуса и смањење процента теретних возила у саобраћајном току узрокује повећање броја саобраћајних незгода у ноћним условима вожње.

4.3. ЕЛЕМЕНТИ ПУТА

Елементи пута представљају један од фактора у моделовању фреквенције саобраћајних незгода, као што је потврђено у бројним претходним истраживањима ([Hadi et al., 1995](#); [Shankar et al., 1995](#); [Karlaftis & Golias, 2002](#); [Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Bauer & Harwood, 2013](#); [Ye et al., 2013](#); [Montella & Imbriani, 2015](#); [Garach et al., 2016](#); [Ma et al., 2017](#); [Rusli et al., 2017](#); [Anarkooli et al., 2018](#)). У циљу избегавања негативних ефеката саобраћаја, који се манифестују саобраћајним незгодама, потребно је посветити пажњу геометријским елементима пута. Веза између елемената путне геометрије и саобраћајних незгода је веома комплексна и може да зависи између осталог од прописа, возног парка, обима саобраћаја,

брзине и стога та веза се може мењати током времена. Утицаји многих геометријских карактеристика пута су међусобно испреплетани и због тога их је тешко изоловати. У оквиру дисертације обрађени су најзначајнији елементи пута који утичу на фреквенцију саобраћајних незгода.

4.3.1. Дужина деонице

Претходна истраживања су показала да на фреквенцију саобраћајних незгода утиче дужина сегмента ([Ye et al., 2013](#); [Garach et al., 2016](#)). [Hadi et al. \(1995\)](#) су утврдили да су дуже деонице вишетрачних аутопутева повезане са нижом стопом саобраћајних незгода. Аутори тврде да су овакви резултати последица униформнијег попречног пресека пута на аутопутевима. Насупрот томе, [Milton & Mannering \(1998\)](#) су утврдили да је дужина деонице статистички значајна варијабла, чије повећање доприноси повећању фреквенције саобраћајних незгода. Сматрају да су ови резултати интуитивни и логични, јер краће деонице имају мању изложеност него дуже деонице. Слично, [El-Basyouny & Sayed \(2006\)](#) су утврдили да дужина сегмента има позитиван предзнак тј. да повећање у дужини сегмента води до повећања у броју саобраћајних незгода. У студији, коју су спровели [Malyshkina & Mannering \(2010b\)](#) утврђено је да је просјечна стопа саобраћајних незгода пропорционална дужини сегмента, те да ово може бити повезано са поступком груписања (*енгл. clustering*) саобраћајних незгода. Аутори ([Mothafer et al., 2017](#); [Mothafer et al., 2018](#)) су анализирали четири типа саобраћајних незгода (судар при паралелном кретању возила, налијетање на возило које се креће у истом смјеру, удар у објекат поред пута и остали). Утврдили су да без обзира на тип саобраћајне незгоде дужина сегмента утиче на повећање фреквенције саобраћајних незгода. Истраживање које су спровели [Rusli et al. \(2017\)](#) је показало да дужина деонице тј. дужина сегмента има значајан утицај на фреквенцију саобраћајних незгода у којима учествује једно возило на руралним путевима на планинском терену. Утврдили су да повећање од 1% у дужини сегмента узрокује повећање око 7,11% у фреквенцији саобраћајних незгода.

4.3.2. Елементи попречног профила и окружења пута

Велики број независних варијабли, које се односе на елементе попречног профила пута и путног окружења, је анализиран у циљу разумјевања њиховог утицаја на фреквенцију саобраћајних незгода ([Hadi et al., 1995](#); [Milton & Mannering, 1998](#); [Greibe, 2003](#); [Ye et al., 2013](#); [Hou et al., 2018b](#)). У истраживању, које су спровели [Vogt & Bared \(1998\)](#) утврђено је да је ранг опасности окружења пута повезан са фреквенцијом саобраћајних незгода. Ниво опасности путног окружења рангиран је са вриједностима од 1 до 7, при чему је ниво опасности одређен у растућем редослиједу. Резултати истраживања су показали да са повећањем нивоа опасности путног окружења долази до повећања фреквенције саобраћајних незгода. [Abdel-Aty & Radwan \(2000\)](#) су показали да урбана подручја имају већу фреквенцију саобраћајних незгода него рурална подручја. Аутори тврде да је то последица великог броја приступних путева и већег нивоа загушења саобраћаја. [Karlaftis & Golias \(2002\)](#) су утврдили да највећи релативни утицај на стопу саобраћајних незгода, код двотрачних и вишетрачних руралних путева, има ширина саобраћајних трака. Поред тога,

утврђено је да ширина раздјелног појаса има статистички значајан утицај на стопу саобраћајних незгода на вишетрачним руралним путева. [Labi \(2011\)](#) је утврдио да је ширина саобраћајних трака повезана са нижом фреквенцијом саобраћајних незгода. Као један од примјера, наводи да повећање ширине саобраћајне траке на руралном колекторском путу за 1,22 метра, узрокује смањење фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 31%. [Greibe \(2003\)](#) тврди да путне деонице ширина коловоза од 8 до 8,5 метара имају најмањи ризик од настанка саобраћајних незгода. У истраживању, које су спровели [Hauer et al. \(2004\)](#) посматран је утицај типа и ширине банке на фреквенцију саобраћајних незгода услјед слијетања возила са коловоза. Резултати истраживања су показали да је присуство ивичњака умјесто равне банке повезано са повећањем од 3% у броју саобраћајних незгода. Такође, утврђено је да са повећањем ширине банке долази до повећања фреквенције слијетања возила са коловоза. Студија спроведена у Пенсилванији ([Donnell & Mason, 2006](#)) је показала да дужина слободне зоне између лијеве саобраћајне траке и баријере на раздјелном појасу има утицај на фреквенцију саобраћајних незгода. Утврђено је да краћа дужина слободне зоне узрокује већу фреквенцију саобраћајних незгода. [Ahmed et al. \(2011\)](#) су показали да је повећање у броју саобраћајних трака повезано са нижом фреквенцијом саобраћајних незгода. Слично, [Yu & Abdel-Aty \(2013b\)](#) тврде да путеви са двије саобраћајне траке имају већу вјероватноћу догађања саобраћајних незгода него путеви са три саобраћајне траке. [Park et al. \(2013\)](#) су утврдили да су шире ивичне линије на двотрачним руралним аутопутевима ефективне у смањењу фреквенције саобраћајних незгода. Нарочито су евидентни ефекти ширих ивичних линија на одређене типове саобраћајних незгода као нпр. саобраћајне незгоде у којима учествује једно возило. Шире ивичне линије су имале конзистентно позитиван ефекат у свим анализама на фреквенцију саобраћајних незгода. [Chen et al. \(2016\)](#) тврде да бољи услови видљивости смањују фреквенцију саобраћајних незгода, а да услови ниске видљивости повећавају вјероватноћу догађања саобраћајних незгода. Конкретно, 1% смањења у видљивости узрокује 0,56% повећање у средњој часовној фреквенцији саобраћајних незгода. Резултати студије, коју су спровели [Zou & Tarko \(2016\)](#) указују да је присуство баријере (нпр. заштитне ограде) на ужем раздјелом појасу (30-50 ft) повезано са већим ризиком настанка саобраћајне незгоде него на раздјелном појасу без баријера. Са друге стране, шири раздјелни појас (50-80 ft) са баријером има мањи ризик од настанка саобраћајне незгоде, него ужи раздјелни појас са баријером или без ње. Истраживање фреквенције саобраћајних незгода у којима је учествовало једно возило на планинским путевима у Малезији ([Rusli et al., 2017](#)) је показало да присуство банке, нарочито битумених банке доприноси мањој фреквенцији саобраћајних незгода.

4.3.3. Хоризонталне нивелете

Хоризонталне нивелете као елементи пута састоје се од хоризонталних праваца, кружних кривина и у великом броју случајева прелазних кривина (најчешће клотоида). Оне утичу на брзину кретања возила, на дисперзију брзине, захтеве у погледу силе трења, очекивање возача, толеранцију на грешке и визуелне услове. Изненадне промене у елементима хоризонталних кривина могу да буду изнад граница могућности возача и да доведу до грешака и ризичног понашања. Кривине са малим радијусом такође повећавају

захтјеве у погледу система ослањања возила и њихових система кочења. Значајна пажња посвећена је елементима хоризонталне нивелете пута, за које је утврђено да имају утицаја на фреквенцију саобраћајних незгода ([Garach et al., 2016](#); [Ma et al., 2017](#)). Ефекти хоризонталних кривина посматрани су преко разних елемената, те је утврђено да већа хоризонтална закривљеност ([Zou et al., 2013](#); [Hou et al., 2018b](#)), мањи радијус хоризонталне кривине ([Bauer & Harwood, 2013](#)), већи угао закривљености ([Gooch et al., 2016](#); [Ma et al., 2017](#)), те краће хоризонталне кривине ([Bauer & Harwood, 2013](#)) повећавају фреквенцију саобраћајних незгода. [Miaou \(1994\)](#) је пронашао значајну интеракцију између скретног угла и дужине кривина. Он је истакао да постоји већи број саобраћајних незгода у кривинама које су оштре (тј. велики скретни углови) и дуге, што је очекивано узимајући у обзир појединачне утицаје дужине кривина и скретних углова. [Shankar et al. \(1995\)](#) су утврдили да са повећањем броја хоризонталних кривина на деоници пута долази до повећања фреквенције саобраћајних незгода. Поред тога, утврдили су да хоризонталне кривине са већом пројектном брзином имају већи ефекат на фреквенцију незгода него кривине са мањом пројектном брзином, због компензације ризика од стране возача. [Council \(1998\)](#) је испитао утицај прелазних кривина на саобраћајне незгоде у односу на тип терена, кроз који пут пролази. Смањење стопе саобраћајних незгода је пронашао за кривине чији је скретни угао мањи од 3° у равничарском терену. На брдовитом терену, повећање стопе саобраћајних незгода је било евидентирано у кривинама у којима су постојале прелазне кривине у односу на кривине без прелазних кривина, осим за путеве са широким коловозним тракама и широким банкама. На брдовитом терену, прегледност је мања у односу на равничарски терен. Због тога, возачи могу да подцијене кривину са малим полупречником када виде једино њен почетак, пошто је кривина у том делу више заобљена него у ситуацији када не постоји прелазна кривина. Кривине са малим радијусима и клотоидама могу због тога да буду често супротне од очекивања возача на брдовитом терену у односу на равничарски терен у коме је прегледност много већа и у којима је могуће правовремено ускладити брзину кретања. [Milton & Mannering \(1998\)](#) су пронашли смањење броја саобраћајних незгода у оштрим кривинама (мали радијуси и велики скретни углови) и смањење броја незгода са повећањем радијуса. Објашњење ове чињенице изгледа контрадикторно, међутим могуће је да кривине са малим радијусом и великим скретним угловима су често близу других кривина и да су ове кривине мање неочекиване и због тога су мање брзине кретања возила. На основу норвешке статистике о саобраћајним незгодама, пронађено је да стопа саобраћајних незгода благо расте када радијус кривине опада од 1.000 до 400 метара. За радијусе од 200 метара и мање, нагло расте број саобраћајних незгода ([Elvik et al., 2009](#)). У истраживању спроведеном у Кини, [Chen et al. \(2011\)](#) су утврдили да ако су подцијењени однос радијуса хоризонталних кривина, однос дужине тангенти и стопа промјене закривљености, стопа саобраћајних незгода ће бити већа. Аутори тврде да је највиша стопа саобраћајних незгода када је однос радијуса хоризонталних кривина у распону од 0,4 до 0,6, са стопом промјене закривљености у распону од 100 до 190 (gon/km).

Попречни нагиб утиче на радијалну компоненту силе трења у кривинама, што утиче на ризик настанка саобраћајних незгода. Радијална компонента силе трења у кривини не зависи само од попречног нагиба, већ такође од радијуса кривине, скретног угла, дужине кривине и брзине возила. Са друге стране, утврђено је да брзина зависи од радијуса кривине и

радијалне компоненте силе трења ([Voigt & Krammes, 1998](#)). Попречни нагиб такође унапређује дренажу воде са коловоза. Многе студије које су спроведене у САД, Аустралији и Норвешкој су испитивале на који начин побољшање попречног нагиба које је у складу са пројектантским стандардима или моделима брзине кроз кривину утиче на ризик настанка саобраћајних незгода ([Zegeer et al., 1991](#); [Corben, et al., 1996](#); [Hanley et al., 2000](#); [Christensen & Ragnoy, 2006](#)). Смањење стопе саобраћајних незгода у кривинама након побољшања попречног нагиба је утврђено у студијама које су спроведене у САД – у ([Zegeer et al., 1991](#); [Hanley et al., 2000](#)) и Аустралији ([Corben, et al., 1996](#)). Са друге стране у студији која је спроведена у Норвешкој ([Christensen & Ragnoy, 2006](#)) утврђено је повећање стопе саобраћајних незгода са повећањем попречног нагиба коловоза. С тим, да је студија у Норвешкој узела у обзир, како саобраћајне незгоде у кривинама, тако и саобраћајне незгоде на правцима.

Веома се често дешава да су путеви вођени кроз брдовит терен, дуж река или око препрека које не могу бити уклоњене. Све то може да утиче на зауставну прегледност пута. Дужина зауставне прегледности утиче на вријеме које је неопходно возачу да реагује, односно да заустави возило испред неке препреке. [Fambro et al. \(1997\)](#) су пронашли да стопа саобраћајних незгода расте када се смањује дужина зауставне прегледности у односу на стандарде пројектовања који су дефинисани. Студија која је спроведена у Италији ([Caliendo et al., 2007a](#)) указује да број саобраћајних незгода опада када се дужина зауставне прегледности на аутопутевима повећава. Такође, дужине прегледности су негативно корелиране, када су у питању саобраћајне незгоде са повријеђеним лицима.

4.3.4. Вертикалне нивелете

Вертикалне нивелете су елементи пута који се састоје од тангентних нагиба (тј. праве линије у вертикалној равни) и конвексних или конкавних кривих. Вертикалне нивелете морају бити једноставног дизајна и да омогућавају возачу адекватну прегледност, контролу над возилом, пријатно окружење и дренажу воде са коловоза. У погледу конструисања вертикалних кривина, најважнији предуслов је онај који се односи на безбједност саобраћаја, а у највећој мјери је обезбјеђен кроз адекватну прегледност у зависности од пројектне брзине. У претходном периоду анализирани су вертикални геометријски елементи пута, за које је утврђено да имају утицај на фреквенцију саобраћајних незгода ([Ma et al., 2017](#); [Rusli et al., 2017](#)). [Miaou \(1994\)](#) је утврдио да се стопа саобраћајних незгода са учешћем теретних возила повећава са повећањем подужног нагиба. Истраживање стопе саобраћајних незгода у функцији стања коловоза, геометријских и саобраћајних карактеристика спроведено је у Индијани ([Anastasopoulos et al., 2008](#)). Резултати су показали да је густина вертикалних кривина у сегменту повезана са стопом саобраћајних незгода. Тачније, повећање густине вертикалних кривина за 1 резултује у смањењу стопе саобраћајних незгода од 4,43 (nez/100 mil VMT). [Montella et al. \(2008\)](#) су развили предиктивни модел за руралне аутопутеве у Италији на основу сета независних саобраћајних и геометријских варијабли. Између осталих варијабли, истражили су ефекте конкавних и конвексних вертикалних кривина на фреквенцију саобраћајних незгода. Резултати истраживања су показали да конкавне кривине немају статистички значајан утицај на фреквенцију

саобраћајних незгода, док конвексне кривине имају са супротним знаком. Закључују да дуже конкавне кривине доприносе мањој фреквенцији саобраћајних незгода. [Ma et al. \(2008\)](#) су утврдили да независне варијабле дужина вертикалне кривине и подужни нагиб, којима су описали вертикалну нивелету, имају утицај на саобраћајне незгоде са материјалном штетом и саобраћајне незгоде са повријеђеним лицима. Резултати истраживања показују да дуже вертикалне кривине и мањи подужни нагиби смањују фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом или повријеђеним лицима. [Fu et al. \(2011\)](#) су истражили везу између стопе саобраћајних незгода и подужног нагиба на континуираној низбрдици. Утврдили су да се стопа саобраћајних незгода експоненцијално повећава са повећањем подужног нагиба. Посебно истичу да је просјечан подужни нагиб на деоници пута са континуираном низбрдицом у дужини од 2-3 km кључни параметар профила пута, који утиче на стопу саобраћајних незгода. Такође, тврде да се стопа саобраћајних незгода повећава са повећањем просјечног подужног нагиба. Истраживање, које су спровели [Chengye & Ranjitkar \(2013\)](#), такође је показало да се број саобраћајних незгода повећава са повећањем подужног нагиба. [Venkataraman et al. \(2013\)](#) су закључили да се број саобраћајних незгода са материјалом штетом повећава са бројем вертикалних кривина у сегменту. Са друге стране, најмањи подужни нагиб вертикалне кривине је повезан са смањењем фреквенције саобраћајних незгода са лакше повријеђеним лицима. [Montella & Imbriani \(2015\)](#) су утврдили да са повећањем подужног нагиба фреквенција саобраћајних незгода на низбрдици се повећава за 4% више него на успону. Дужина вертикалне кривине је негативно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода, те са повећањем дужине долази до смањења фреквенције саобраћајних незгода ([Anarkooli et al., 2018](#)). [Hou et al. \(2018b\)](#) су показали да веће растојање између вертикалних кривина доприноси смањењу фреквенције саобраћајних незгода.

4.3.5. Стање површине коловоза

Стање површине коловоза може имати значајну улогу на фреквенцију саобраћајних незгода. Аутори ([Caliendo et al., 2007a](#); [Ye et al., 2013](#)) су утврдили да већи коефицијент трења има тенденцију да смањи фреквенцију саобраћајних незгода. [Anastasopoulos et al. \(2008\)](#) су анализирали утицај отпора трења на коловозу на стопу саобраћајних незгода. Трење су представили преко индикатор варијабле „високо трење“, која на скали од 0-100, има вриједност 1 ако је вриједност коефицијента 40 или више, а 0 уколико је вриједност коефицијента мања од 40. Утврдили су да повећање у вриједности индикатор варијабле за једну јединицу доприноси смањењу стопе саобраћајних незгода од 29,82 (nez/100 mil VMT). [Milton et al. \(2008\)](#) су мјерили коефицијент трења коловоза користећи стандардизован тест са скалом од 0 до 100. Више вриједности указују на боље трење, а фриксиони број изнад 30 се сматра прихватљивим за пут са пројектном брзином већом од 40 mi/h. Резултати студије показују да повећање коефицијента трења коловоза смањује број саобраћајних незгода са тешким тјелесним повредама. Аутори ([Anastasopoulos & Mannering, 2009](#); [Hou et al., 2018b](#)) су показали да повећање вриједности Индекса равности пута (IRI) доприноси повећању броја саобраћајних незгода. [Chan et al. \(2010\)](#) су спровели истраживање у Тенесију са циљем утврђивања везе између фреквенције саобраћајних незгода и варијабле „трошења“

коловоза. Утврдили су да је Индекс садашње употребљивости пута (PSi) обрнуто корелиран са фреквенцијом саобраћајних незгода. PSi се креће на скали 0-5, гдје вриједност 5 представља најудобнији комфор вожње. Повећањем у PSi за једну јединицу долази до смањења фреквенције саобраћајних незгода за 1,412 пута. Истраживање спроведено у Индијани ([Anastasopoulos et al., 2012](#)) је показало утицај неколико независних варијабли (IRI, PCR, дубина колотрага и дефлексија површине коловоза), које мјере стање површине коловоза, на стопу саобраћајних незгода. Резултати указују да повећање IRI, дубине колотрага и дефлексије површине коловоза узрокује повећање стопе саобраћајних незгода. Са друге стране, повећање PCR узрокује смањење стопе саобраћајних незгода. Колотрази на коловозу су позитивно повезани са саобраћајним незгодама, те са повећањем дубине колотрага производе се штетни безбједносни ефекти ([Hou et al., 2018b](#)).

4.3.6. Приступни путеви

Приступни путеви представљају проблем на руралним путевима, нарочито ако су дозвољене велике брзине. [Papayannoulis et al. \(1999\)](#) су анализирали утицај приступа у приградским насељима на саобраћајне незгоде. Утврдили су да ће се број саобраћајних незгода на милион возило километара повећати за 40%, ако се густина приступа повећа (од 6 до 13 приступа по km). Већи број приступа узрокује већи број конфликтних тачака, погоршавајући безбједност саобраћаја. Истраживање, које су спровели [Cafiso et al. \(2010\)](#) је показало да већа густина приступних путева повећава фреквенцију саобраћајних незгода. Слично, [Saccomanno et al. \(2001\)](#) тврде да повећање броја приватних приступа на деонице повећава број саобраћајних незгода. [Mustakim & Fujita \(2011\)](#) су развили предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима у Малезији. Аутори су показали да на саобраћајне незгоде утичу приступне тачке на рурални пут. Тачније, смањење од 1 приступне тачке по km утиче на смањење фреквенције саобраћајних незгода за 16%. Истраживање спроведено у Ирану ([Ayati & Abbasi, 2014](#)) је показало да се вјероватноћа догађања саобраћајних незгода повећава са повећањем броја приступних путева на урбаним аутопутевима. Аутори тврде да је ово последица велике дисперзије у брзинама, која настаје услед сучељавања спорог саобраћајног тока са приступног пута са брзим саобраћајним током на урбаном аутопуту. [Wang et al. \(2014\)](#) су показали да већа густина приступних тачака на приградским артеријским путевима повећава фреквенцију саобраћајних незгода. [Donnell et al. \(2014\)](#) су развили функцију перформанси безбједности саобраћаја за руралне двотрачне аутопутеве у Пенсилванији. Утврдили су да је густина приступа у сегменту (приступни путеви и раскрснице) позитивно корелирана са фреквенцијом саобраћајних незгода. Повећање у броју приступа за 1% ће повећати очекивану фреквенцију саобраћајних незгода за 0,13%. У студији, коју су спровели [Wood et al. \(2016\)](#), истражени су насумични ефекти неколико независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Утврдили су да је процијењени коефицијент за густину приступних путева насумичан у развијеном моделу са насумичним параметрима, те да повећање густине приступних путева води до повећања фреквенције саобраћајних незгода.

4.4. БРЗИНА

Брзина је важан фактор у безбједности саобраћаја. Утиче на фреквенцију и тежину саобраћајних незгода. Возачи узимају постављено ограничење брзине као релевантни индикатор за избор одговарајуће брзине на различитим путним правцима и у различитим условима. У претходном периоду су уложени велики напори како би се утврдила веза између саобраћајних незгода и брзине. [Milton & Mannering \(1998\)](#) су утврдили да је високо постављено ограничење брзине повезано са нижом фреквенцијом саобраћајних незгода. [Hosseinpour et al. \(2014\)](#) сматрају да је ово посљедица постављања нижег ограничења брзине на небезбједним локацијама и путевима са лошим геометријским карактеристикама. Са друге стране, [Taylor et al. \(2002\)](#) су анализирали фреквенцију саобраћајних незгода на руралним двотрачним путевима. Утврдили су да се број саобраћајних незгода повећава са повећањем средње брзине. Њихово истраживање указује да повећање од 10% у средњој брзини резултује са повећањем од 26% у фреквенцији саобраћајних незгода. [Greibe \(2003\)](#) је показао да путне деонице са вишим ограничењем брзине имају тенденцију према нижем ризику настанка саобраћајних незгода. Ипак, ово не значи да су путне деонице са високим ограничењем брзине генерално безбједније, него да имају мање рањивих учесника у саобраћају и углавном се налазе ван насељених мјеста. Слично, [Donnell & Mason \(2006\)](#) су утврдили да на међу-државним аутопутевима са повећањем ограничења брзине долази до повећања фреквенције саобраћајних незгода. [Hou et al. \(2010\)](#) су показали да је стопа саобраћајних незгода у корелацији са дисперзијом брзине. Закључили су да када је стандардно одступање брзине $\leq 8,5$, брзина нема утицаја на стопу саобраћајних незгода, у супротном повећање брзине утиче на повећање стопе саобраћајних незгода. Студија спроведена у Колораду ([Guo & Sun, 2013](#)) имала је за циљ да истражи безбједносне ефекте различитих релевантних фактора развојем предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Резултати студије су показали да постављање вишег ограничења брзине води до повећања броја саобраћајних незгода. Тачније, анализа еластичности је показала да повећање од 1% у постављеном ограничењу брзине води до повећања од 4,23% у фреквенцији саобраћајних незгода. Већа разлика између постављеног ограничења брзине и просјечне брзине тока тзв. “speed gap” узрокује повећање у стопи саобраћајних незгода ([Ma et al., 2015](#)). [Garach et al. \(2016\)](#) су развили предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са ПГДС-ом < 4.000 воз/дан за путеве у равничарском терену. Утврдили су да са повећањем средње оперативне брзине долази до смањења фреквенције саобраћајних незгода. Повећање у средњој оперативној брзини од 10% је повезано са смањењем од 0,2% у броју саобраћајних незгода. [Imprialou et al. \(2016\)](#) су показали да веће брзине узрокују саобраћајне незгоде са тежим посљедицама. [Gargoum & El-Basyouny \(2016\)](#) су спровели истраживање у Канади, са циљем моделовања везе између просјечне брзине и фреквенције саобраћајних незгода, узимајући у обзир ефекте фактора који утичу на ову везу. Резултати истраживања су показали да повећање просјечне брзине утиче на повећање фреквенције саобраћајних незгода. Поред тога, утврђено је да су ефекти неких варијабли (нпр. постављено ограничење брзине, дужина сегмента, аутобуска стајалишта итд.) повезани са фреквенцијом саобраћајних незгода кроз просјечну брзину кретања возила. Студија спроведена у Индији ([Vayalamkuzhi & Amirthalingam, 2016](#)) је имала за циљ да утврди утицај

неколико независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода у условима хетерогеног саобраћајног тока. Између осталог, резултати истраживања су показали да је повећање оперативне брзине директно пропорционално фреквенцији саобраћајних незгода. Повећање од 10 km/h у оперативној брзини резултује са повећањем од 40% у фреквенцији саобраћајних незгода.

4.5. ВРЕМЕНСКИ УСЛОВИ

Настанак саобраћајних незгода је повезан са временским условима. Понекад је утицај временских услова на фреквенцију саобраћајних незгода „сакривен“ због других фактора. Ипак, бројна истраживања су идентификовала значајне варијабле са којима се представља утицај штетних временских услова (киша, снијег, магла итд.) на фреквенцију саобраћајних незгода ([Caliendo et al., 2007a](#); [Yaacob et al., 2010](#); [Yu et al., 2013](#)). [Shankar et al. \(1995\)](#) су утврдили да број кишних дана у години има значајну улогу на настанак саобраћајних незгода, тако да са повећањем броја кишних дана долази до повећања броја саобраћајних незгода. Ова варијабла хвата ефекте изложености као што су изложеност на мокар коловоз и лошу видљивост. Поред тога, утврдили су да максималне дневне сњежне падавине на мјесечном нивоу имају позитиван ефекат на настанак саобраћајних незгода. Такође, у интеракцији са подужним нагибом пута имају позитиван ефекат на фреквенцију саобраћајних незгода. Ово представља опасну комбинацију за приањање, хоризонталне ознаке на коловозу и промјену брзине кретања. [Eisenberg \(2004\)](#) је истражио везу између падавина (киша и снијег) и саобраћајних незгода. Истраживање је спроведено за двије различите временске јединице (дан и мјесец). Резултати истраживања су показали да дневне падавине имају позитивну везу са фреквенцијом саобраћајних незгода. Са друге стране, за мјесечне падавине утврдио је да имају негативну везу са фреквенцијом саобраћајних незгода са погинулим лицима. Аутор тврди да је разлог за овакав резултат посљедица заосталих дневних падавина на коловозу унутар мјесеца. Насупрот томе, [Chang & Chen \(2005\)](#) су показали да већи број дана са падавинама резултује са релативно већом стопом саобраћајних незгода. У студији, коју су спровели [Caliendo et al. \(2007b\)](#) истражен је ефекат кишних падавина на фреквенцију саобраћајних незгода, на аутопутевима у Италији, на основу података о часовним кишним падавинама и времену сушења коловоза након падавина. Аутори су утврдили да влажан коловоз значајно повећава број саобраћајних незгода. Такође, указали су да киша значајно више повећава фреквенцију саобраћајних незгода на кривинама него у правцима. [Brijs et al. \(2008\)](#) су истражили утицај температуре на фреквенцију саобраћајних незгода у Холандији. Утврдили су да веза између температуре и саобраћајних незгода није једноставна. Веза између апсолутне температуре и саобраћајних незгода је статистички значајна, негативна и нелинеарна. Ниже температуре узрокују више саобраћајних незгода, нарочито када температура падне испод нуле. Међутим, када су анализирали одступање од мјесечне средње температуре, ефекат је био другачији. Резултати указују да када дневна средња температура пређе вриједност мјесечне средње температуре догађа се више саобраћајних незгода. [Ye et al. \(2013\)](#) тврде да просјечне годишње сњежне падавине повећавају фреквенцију саобраћајних незгода са настрадалим лицима.

4.6. ДИСКУСИЈА

Претходна истраживања показују да су саобраћајне незгоде комплексни догађаји, који укључују интеракцију великог броја фактора. За саобраћајне незгоде је везана комплексна интеракција између људи, возила, пута и путног окружења, те је веома тешко обезбједити приступ свим неопходним базама података, како би се направио адекватан алат за реакцију система. Фокус у оквиру докторске дисертације је усмјерен на факторе који су везани за саобраћај, пут и путно окружење. Разумијевање утицајних фактора и њихових ефеката на фреквенцију саобраћајних незгода омогућава развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода и анализу везе између појединих фактора и саобраћајних незгода.

Анализирајући утицајне факторе намеће се неколико кључних ствари. Првенствено, веза између великог броја фактора и фреквенције саобраћајних незгода је нелинеарна. Такав однос везе фаворизује употребу предиктивних модела из породице ГЛМ-а. Утицај одређеног броја фактора је логичан и очекиван, док са друге стране постоје фактори чији су ефекти нејасни и збуњујући (као нпр. утицај брзине на фреквенцију саобраћајних незгода). [Mannering et al. \(2016\)](#) сматрају да је ово посљедица утицаја непосматране хетерогености, која може бити одраз изостављања кључних варијабли, а чије изостављање води до погрешне процјене коефицијената параметара независних варијабли. Варијабле окружења пута су често укључене у статистичке моделе у форми индикатор варијабле, док су у стварности активне само на неком проценту дужине путне деонице. Утицај хоризонталних и вертикалних нивелета може имати различит ефекат на фреквенцију саобраћајних незгода кроз обсервације, због непосматраних временски промјенљивих варијабли (нпр. саобраћајни и временски услови). ПГДС је независна варијабла која се користи у бројним статистичким моделима. Међутим, ефекат ПГДС на вјероватноћу настанка саобраћајних незгода може бити различит, ако је нпр. под утицајем промјене понашања возача, као реакције на саобраћај. Такође, постављено ограничење брзине може бити под потенцијалним утицајем непосматране хетерогености (постојање прелазних зона у постављеном ограничењу брзине). Потенцијалне проблеме са независним варијаблама могуће је избјећи добром припремом прикупљања и обраде података, адекватном селекцијом доступних података и информација и статистичким провјерама прикупљених података.

Након анализе литературе у вези утицајних фактора потврђена је **помоћна хипотеза Н12**. Анализиран је утицај великог броја независних варијабли. Прије свега, варијабли везаних за обим саобраћаја, елементе пута (елементи попречног профила и окружења пута, дужина деоница, хоризонталне и вертикалне нивелете, стање површине коловоза, приступни путеви), брзину и временске услове. Прегледом литературе у вези утицајних фактора утврђено је да се на основу постојеће литературе може извући закључак да постоји веза између фреквенције саобраћајних незгода и саобраћајних и геометријских варијабли односно да је фреквенција саобраћајних незгода у функцији наведених независних варијаби.

4.7. РЕФЕРЕНЦЕ

- [Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. \(2000\). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32\(5\), 633-642.](#)
- [Ahmed, M., Huang, H., Abdel-Aty, M., & Guevara, B. \(2011\). Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. *Accident Analysis & Prevention*, 43\(4\), 1581-1589.](#)
- [Anarkooli, A. J., Persaud, B., Hosseinpour, M., & Saleem, T. \(2018\). Comparison of univariate and two-stage approaches for estimating crash frequency by severity—Case study for horizontal curves on two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. \(2009\). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis & Prevention*, 41\(1\), 153-159.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., Mannering, F. L., Shankar, V. N., & Haddock, J. E. \(2012\). A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 628-633.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., Tarko, A. P., & Mannering, F. L. \(2008\). Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(2\), 768-775.](#)
- [Ayati, E., & Abbasi, E. \(2014\). Modeling Accidents on Mashhad Urban Highways. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 4\(01\), 22.](#)
- [Bauer, K. M., & Harwood, D. W. \(2013\). Safety effects of horizontal curve and grade combinations on rural two-lane highways. *Transportation research record*, 2398\(1\), 37-49.](#)
- [Brijs, T., Karlis, D., & Wets, G. \(2008\). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(3\), 1180-1190.](#)
- [Buddhavarapu, P., Banerjee, A., & Prozzi, J. A. \(2013\). Influence of pavement condition on horizontal curve safety. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 9-18.](#)
- [Cafiso, S., D'Agostino, C., Kieć, M., & Bak, R. \(2018\). Safety assessment of passing relief lanes using microsimulation-based conflicts analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 94-102.](#)
- [Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. \(2010\). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42\(4\), 1072-1079.](#)
- [Caliendo, C., De Guglielmo, M. L., & Guida, M. \(2013\). A crash-prediction model for road tunnels. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 107-115.](#)
- [Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. \(2007a\). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39\(4\), 657-670.](#)
- [Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. \(2007b\). The association of rainfall and geometric characteristics on traffic crashes. In *4th International SIIV Congress, Palermo, Italy* \(pp. 12-14\).](#)

- [Chan, C. Y., Huang, B., Yan, X., & Richards, S. \(2010\). Investigating effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee based on the pavement management system \(PMS\). *Journal of advanced transportation*, 44\(3\), 150-161.](#)
- [Chang, L. Y., & Chen, W. C. \(2005\). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of safety research*, 36\(4\), 365-375.](#)
- [Chen, F., Chen, S., & Ma, X. \(2016\). Crash frequency modeling using real-time environmental and traffic data and unbalanced panel data models. *International journal of environmental research and public health*, 13\(6\), 609.](#)
- [Chen, T., Wei, L., & Zhou, W. X. \(2011\). Study on the Relationship between the Horizontal Alignment Indices and Traffic Safety in Mountainous Freeway. In *ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems* \(pp. 2319-2325\).](#)
- [Chengye, P., & Ranjitkar, P. \(2013\). Modelling motorway accidents using negative binomial regression. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1946-1963.](#)
- [Christensen, P., & Ragnøy, A. \(2006\). Vegdekkets tilstand og trafikksikkerhet. Rapport 840/2006. Oslo: Transportøkonomisk institutt.](#)
- [Corben, B., Newstead, S., Diamantopoulou, K., & Cameron, M. \(1996\). Results of an evaluation of TAC funded accident black spot treatments. In *Combined 18th ARRB Transport Research Conference and Transit New Zealand Land Transport Symposium, 1996, Christchurch, New Zealand* \(Vol. 18, No. 5\).](#)
- [Council, F. \(1998\). Safety benefits of spiral transitions on horizontal curves on two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1635\), 10-17.](#)
- [Dinu, R. R., & Veeraragavan, A. \(2011\). Random parameter models for accident prediction on two-lane undivided highways in India. *Journal of safety research*, 42\(1\), 39-42.](#)
- [Donnell, E. T., & Mason Jr, J. M. \(2006\). Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania interstate highways. *Accident Analysis & Prevention*, 38\(3\), 590-599.](#)
- [Donnell, E. T., Gayah, V. V., & Jovanis, P. \(2014\). *Safety Performance Functions* \(No. FHWA-PA-2014-007-PSU WO 1\). Pennsylvania Department of Transportation.](#)
- [Eisenberg, D. \(2004\). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident analysis & prevention*, 36\(4\), 637-647.](#)
- [El-Basyouny, K., & Sayed, T. \(2006\). Comparison of two negative binomial regression techniques in developing accident prediction models. *Transportation Research Record*, 1950\(1\), 9-16.](#)
- [Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. \(Eds.\). \(2009\). *The handbook of road safety measures*. Emerald Group Publishing Limited.](#)
- [Fambro, D. B., Fitzpatrick, K., & Koppa, R. J. \(1997\). *Determination of stopping sight distances*. Transportation Research Board.](#)
- [Fu, R., Guo, Y., Yuan, W., Feng, H., & Ma, Y. \(2011\). The correlation between gradients of descending roads and accident rates. *Safety science*, 49\(3\), 416-423.](#)

4. Утицајни фактори

- [Garach, L., de Oña, J., López, G., & Baena, L. \(2016\). Development of safety performance functions for Spanish two-lane rural highways on flat terrain. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 250-265.](#)
- [Gargoum, S. A., & El-Basyouny, K. \(2016\). Exploring the association between speed and safety: A path analysis approach. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 32-40.](#)
- [Geedipally, S. R., Lord, D., & Dhavala, S. S. \(2012\). The negative binomial-Lindley generalized linear model: Characteristics and application using crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 258-265.](#)
- [Gomes, S. V. \(2013\). The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 289-297.](#)
- [Gooch, J. P., Gayah, V. V., & Donnell, E. T. \(2016\). Quantifying the safety effects of horizontal curves on two-way, two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 71-81.](#)
- [Greibe, P. \(2003\). Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, 35\(2\), 273-285.](#)
- [Guo, Y., & Sun, Q. \(2013\). Modeling Crash Frequency of A Typical Mountainous Freeway. In *ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration* \(pp. 1417-1425\).](#)
- [Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L. F., & Wattleworth, J. A. \(1995\). Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression. *Transportation Research Record*, 1500, 169.](#)
- [Hanley, K. E., Gibby, A. R., & Ferrara, T. C. \(2000\). Analysis of accident-reduction factors on California state highways. *Transportation Research Record*, 1717\(1\), 37-45.](#)
- [Hauer, E., Council, F., & Mohammedshah, Y. \(2004\). Safety models for urban four-lane undivided road segments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1897\), 96-105.](#)
- [Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., & Sadullah, A. F. \(2014\). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 209-222.](#)
- [Hou, D., Han, J., Sun, X., & He, Y. \(2010\). Study on the Relationship between Speed Difference and Crash Rate on Freeway. In *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable* \(pp. 354-359\).](#)
- [Hou, Q., Tarko, A. P., & Meng, X. \(2018b\). Investigating factors of crash frequency with random effects and random parameters models: New insights from Chinese freeway study. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 1-12.](#)
- [Hou, Q., Tarko, A.P., Meng, X., 2018a. Analyzing crash frequency in freeway tunnels: a correlated random parameters approach. *Accid. Anal. Prev.* 111, 94–100.](#)

- Imprialou, M. I. M., Quddus, M., Pitfield, D. E., & Lord, D. (2016). Re-visiting crash–speed relationships: A new perspective in crash modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 86, 173-185.
- Karlaftis, M. G., & Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 357-365.
- Labi, S. (2011). Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways. *Journal of safety research*, 42(4), 231-239.
- Ma, J., Kockelman, K. M., & Damien, P. (2008). A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 964-975.
- Ma, X., Chen, F., & Chen, S. (2015). Modeling crash rates for a mountainous highway by using refined-scale panel data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2515), 10-16.
- Ma, Z., Zhang, H., Steven, I., Chien, J., Wang, J., & Dong, C. (2017). Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 214-222.
- Malyshkina, N. V., & Mannering, F. L. (2010b). Zero-state Markov switching count-data models: an empirical assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 122-130.
- Mannering, F. L., Shankar, V., & Bhat, C. R. (2016). Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic methods in accident research*, 11, 1-16.
- Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26(4), 471-482.
- Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. (2008). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 260-266.
- Milton, J., & Mannering, F. (1998). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25(4), 395-413.
- Montella, A., & Imbriani, L. L. (2015). Safety performance functions incorporating design consistency variables. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 133-144.
- Montella, A., Colantuoni, L., & Lamberti, R. (2008). Crash prediction models for rural motorways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2083), 180-189.
- Mothafer, G. I., Yamamoto, T., & Shankar, V. N. (2017). A negative binomial crash sum model for time invariant heterogeneity in panel crash data: Some insights. *Analytic methods in accident research*, 14, 1-9.

- Mothafer, G. I., Yamamoto, T., & Shankar, V. N. (2018). A multivariate heterogeneous-dispersion count model for asymmetric interdependent freeway crash types. *Transportation research part B: methodological*, 108, 84-105.
- Mustakim, F., & Fujita, M. (2011). Development of accident predictive model for rural roadway. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58(10), 126-31.
- Oh, J., Washington, S., & Lee, D. (2010). Property damage crash equivalency factors to solve crash frequency-severity dilemma: case study on South Korean rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2148), 83-92.
- Papayannoulis, V., Gluck, J. S., Feeney, K., & Levinson, H. S. (1999, June). Access spacing and traffic safety. In *Urban Street Symposium* (pp. 28-30).
- Park, E. S., Carlson, P. J., Porter, R. J., & Andersen, C. K. (2012). Safety effects of wider edge lines on rural, two-lane highways. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 317-325.
- Rusli, R., Haque, M. M., King, M., & Voon, W. S. (2017). Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model. *Accident Analysis & Prevention*, 102, 153-164.
- Sacomanno, F. F., Grossi, R., Greco, D., & Mehmood, A. (2001). Identifying black spots along highway SS107 in Southern Italy using two models. *Journal of transportation engineering*, 127(6), 515-522.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.
- Shirazi, M., Lord, D., Dhavala, S. S., & Geedipally, S. R. (2016). A semiparametric negative binomial generalized linear model for modeling over-dispersed count data with a heavy tail: Characteristics and applications to crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 10-18.
- Taylor, M. C., Baruya, A., & Kennedy, J. V. (2002). *The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads* (Vol. 511). TRL.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Executive summary.
- Vadlamani, S., Chen, E., Ahn, S., & Washington, S. (2010). Identifying large truck hot spots using crash counts and PDOEs. *Journal of Transportation Engineering*, 137(1), 11-21.
- Vangala, P., Lord, D., & Geedipally, S. R. (2015). Exploring the application of the negative binomial-generalized exponential model for analyzing traffic crash data with excess zeros. *Analytic methods in accident research*, 7, 29-36.
- Vayalamkuzhi, P., & Amirthalingam, V. (2016). Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(6), 559-570.

- Venkataraman, N., Ulfarsson, G. F., & Shankar, V. N. (2013). Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 309-318.
- Vogt, A., & Bared, J. (1998). Accident models for two-lane rural segments and intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1635), 18-29.
- Voigt, A. P., & Krammes, R. (1998). An operational and safety evaluation of alternative horizontal curve design approaches on rural two-lane highways. *Transportation research circular*, (E-C003), 11-1.
- Wang, X., Song, Y., Yu, R., & Schultz, G. G. (2014). Safety modeling of suburban arterials in Shanghai, China. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 215-224.
- Washington, S., Haque, M. M., Oh, J., & Lee, D. (2014). Applying quantile regression for modeling equivalent property damage only crashes to identify accident blackspots. *Accident Analysis & Prevention*, 66, 136-146.
- Wood, J. S., Donnell, E. T., & Fariss, C. J. (2016). A method to account for and estimate underreporting in crash frequency research. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 57-66.
- Yaacob, W. F. W., Lazim, M. A., & Wah, Y. B. (2010, December). Evaluating spatial and temporal effects of accidents likelihood using random effects panel count model. In *Science and Social Research (CSSR), 2010 International Conference on* (pp. 960-964). IEEE.
- Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. C. (2013). A simultaneous equations model of crash frequency by severity level for freeway sections. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 140-149.
- Yu, R., & Abdel-Aty, M. (2013b). Multi-level Bayesian analyses for single-and multi-vehicle freeway crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 58, 97-105.
- Yu, R., Abdel-Aty, M., & Ahmed, M. (2013). Bayesian random effect models incorporating real-time weather and traffic data to investigate mountainous freeway hazardous factors. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 371-376.
- Yu, R., Xiong, Y., & Abdel-Aty, M. (2015). A correlated random parameter approach to investigate the effects of weather conditions on crash risk for a mountainous freeway. *Transportation research part C: emerging technologies*, 50, 68-77.
- Zegeer, C., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., ... & Hunter, W. (1991). Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves.
- Zou, Y., & Tarko, A. P. (2016). An insight into the performance of road barriers— redistribution of barrier-relevant crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 152-161.
- Zou, Y., Geedipally, S. R., & Lord, D. (2013). Evaluating the double Poisson generalized linear model. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 497-505.

5. МОДЕЛОВАЊЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

5.1. УВОД

Саобраћајне незгоде представљају случајне догађаје, који имају не-негативне и цјелобројне вриједности, а прате Поасонов закон вјероватноће ([Washington et al., 2011](#)). Подаци о фреквенцији саобраћајних незгода имају карактер пребројивих података, а зависна варијабла у анализи фреквенције саобраћајних незгода, као излаз из процеса моделовања, има одређену бројчану вриједност. [Miaou & Lum \(1993\)](#) тврде да би нормална расподела код предвиђања фреквенције саобраћајних незгода омогућила предвиђање негативног броја саобраћајних незгода, а обзиром на чињеницу да саобраћајне незгода не могу имати негативну вриједност адекватнија је употреба Поасонове и сличне расподеле. Стога, употреба стандардних регресионих анализа, као нпр. методе најмањих квадрата је неадекватна у анализи фреквенције саобраћајних незгода ([Lord & Mannering \(2010\)](#)), те је неопходно размотрити употребу неке од метода уопштених линеарних модела.

Моделовање саобраћајних незгода на основу њихових карактеристика, података о саобраћајном току и геометријских података о деоницима пута је камен темељац савремене анализе безбједности саобраћаја. Разумјевање и могућности идентификације потенцијалних фактора, који доприносе настанку саобраћајних незгода, те рјешавање потенцијалних узрока саобраћајних незгода је од изузетне важности како за управљаче путне инфраструктуре тако и за учеснике у саобраћају. Због тога је неопходно развити предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода, који је заснован на историјским подацима о саобраћајним незгодама, како би се процијенио број будућих саобраћајних незгода на посматраним деоницама пута. Такође, овим моделом може се вршити процјена утицаја и доприноса појединих фактора на настајање саобраћајних незгода. Сврха моделовања саобраћајних незгода је да се идентификују фактори који значајно утичу на број саобраћајних незгода, те процијени магнитуда њиховог утицаја.

Кораци у моделовању фреквенције саобраћајних незгода су:

- Одређивање модела;
- Оцјена параметара модела;
- Провјера слагања модела са подацима;
- Поређење модела (уколико се у раду користи више модела);
- Статистичко закључивање.

5.2. ОДРЕЂИВАЊЕ МОДЕЛА И ПРОЦЈЕНА ПАРАМЕТАРА

У овим корацима моделовања фреквенције саобраћајних незгода врши се избор једначине која повезује зависну и независне промјенљиве, одређивање расподела вјероватноће зависне промјенљиве и процјена параметара независних варијабли. У

дисертацији су разматрана 4 типа ГЛМ-а и то: Поасонов модел, НБ модел, ЗИП модел и ЗИНБ модел.

Поасонов регресиони модел је прикладна техника за предвиђање саобраћајних незгода, јер саобраћајне незгоде представљају ријетке дискретне догађаје, а број саобраћајних незгода је не-негативна цјелобројна варијабла. Поред тога, пружају једноставну везу између догађања саобраћајних незгода и концепта вјероватноће. Поасонов регресиони модел се заснива на претпоставци да број саобраћајних незгода које се догоде на деоници пута i током посматраног временског периода, има Поасонову расподјелу са средњом вриједношћу μ_i , тако да је:

$$Y_i | \mu_i \sim \text{Poisson}(\mu_i) \quad (5.1)$$

гдје је Y_i – случајна промјенљива која представља број саобраћајних незгода на деоници пута i током посматраног временског периода; μ_i – Поасонов параметар за деоницу пута i који је једнак очекиваном броју саобраћајних незгода (тј. $E(Y_i)$) на деоници пута i током посматраног временског периода. Функција вјероватноће Поасонове расподјеле је дефинисана формулом ([Washington et al., 2011](#)):

$$p(Y_i = y_i) = p(y_i) = \frac{\mu_i^{y_i} e^{-\mu_i}}{y_i!}; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.2)$$

гдје је $p(Y_i = y_i)$ – вјероватноћа да ће се y_i саобраћајних незгода догодити на деоници пута i током посматраног временског периода; y_i – представља стварну опсервацију од Y_i на деоници пута i током посматраног временског периода; $e \approx 2.72$ (основа природних логаритама). Очекиван број саобраћајних незгода је у функцији експлораторних (независних) варијабли. Поасонов регресиони модел најчешће претпоставља лог-линеарну везу између Поасоновог параметара μ_i и независних варијабли ([Washington et al., 2011](#)), тако да је

$$\mu_i = E(Y_i) = e^{\beta X_i} \quad (5.3)$$

гдје је X_i – вектор независних промјенљивих варијабли (карактеристике пута и саобраћаја, окружење пута, временске прилике и сл.); β – вектор регресионог параметра који ће бити процијењен.

Оцјена параметара модела извршена је методом максималне вјеродостојности (MLE), при чему је функција вјеродостојности дефинисана формулом ([Washington et al., 2011](#)):

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^n \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!} = \prod_{i=1}^n \frac{e^{-e^{\beta x_i}} (e^{\beta x_i})^{y_i}}{y_i!} \quad (5.4)$$

Поасонов регресиони модел уважава већину особина саобраћајних незгода обезбјеђујући модел који се носи са проблемом хетероскедастичности (стање гдје варијанса случајне промјенљиве није константна, него се мијења са величином опажања) и очувањем изворне природе (дискретности и не-негативности) података о саобраћајним незгодама, без

њиховог трансформисања у друге скале. Највећа предност Поасоновог модела је једноставност у израчунавању, због особине Поасоновог модела да су очекивање и варијанса једнаки.

$$E(Y_i) = Var(Y_i) = \mu_i \quad (5.5)$$

Ова предност је уједно и ограничење Поасоновог модела. Ова претпоставка се ријетко остварује код стварних података. Обично варијанса прелази вриједност аритметичке средине или је мања од ње, а тада независне варијабле обично не објашњавају у потпуности условну аритметичку средину због изостављених варијабли или особине случајности података. Ако је $E(Y_i) > Var(Y_i)$ онда се каже да постоји под-диспрезија података, у супротном ако је $E(Y_i) < Var(Y_i)$ онда постоји над-диспрезија или прераспршеност података.

НБ модел релаксира претпоставку једнакости очекивања и варијансе додавањем случајне грешке, која има гама расподјелу. Он је уствари екстензија Поасоновог модела, која дозвољава да варијанса предвиђених коефицијената буде различита од аритметичке средине и рјешава могући проблем прераспршености у подацима. НБ дистрибуција садржи два параметра: аритметичку средину – μ_i и параметар дисперзије α или његову инверзију ($\theta = 1/\alpha$); при чему се параметар дисперзије користи за „хватање“ екстра варијације у подацима о саобраћајним незгодама, тако да је:

$$Y_i | \mu_i, \theta \sim NB(\mu_i, \theta) \quad (5.6)$$

Функција вјероватноће НБ дистрибуције је дата формулом ([Washington et al., 2011](#)):

$$P(Y_i = y_i) = \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(\theta) y_i!} \left(\frac{\theta}{\theta + \mu_i}\right)^\theta \left(\frac{\mu_i}{\theta + \mu_i}\right)^{y_i}; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.7)$$

гдје је Y_i – случајна промјенљива која представља број саобраћајних незгода на деоници пута i током посматраног временског периода; y_i – представља стварну опсервацију од Y_i на деоници пута i током посматраног временског периода; μ_i – очекиван број саобраћајних незгода на деоници пута i током посматраног временског периода; θ је обрнуто пропорционалан дисперзионом параметру α ($\theta = 1/\alpha$); $\Gamma(\cdot)$ је вриједност гама функције ([Washington et al., 2011](#)), тако да је:

$$\mu_i = E(Y_i) = e^{\beta X_i + \varepsilon} \quad (5.8)$$

гдје је β – вектор који представља непознате параметре које треба процијенити; X_i – вектор који представља експлораторне варијабле на деоници пута i ; ε је случајна грешка, при чему $\exp(\varepsilon)$ прати Гама расподјелу са аритметичком средином 1 и варијансом α .

Оцјена параметара модела извршена је методом максималне вјеродостојности (MLE), при чему је функција вјеродостојности дефинисана формулом ([Washington et al., 2011](#)):

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^n \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(\theta) y_i!} \left(\frac{\theta}{\theta + \mu_i}\right)^\theta \left(\frac{\mu_i}{\theta + \mu_i}\right)^{y_i} \quad (5.9)$$

максимизирањем ове функције добијају се процјене за коефицијенте β и α .

Очекивање и варијанса код НБ модела се рачунају по следећој формули ([Washington et al., 2011](#)):

$$E(Y_i) = \mu_i \quad (5.10)$$

$$Var(Y_i) = E(Y_i)(1 + \alpha E(Y_i)) = \mu_i(1 + \alpha \mu_i) \quad (5.11)$$

$$E(Y_i) < Var(Y_i) \quad (5.12)$$

Избор између Поасоновог и НБ модела може у великој мјери бити одређен статистичком значајношћу процијењеног коефицијента α . Ако α није значајно различито од 0 (мјерено t – статистиком) НБ модел се једноставно редукује на Поасонов модел са $Var(Y_i) = E(Y_i)$. Ако се α значајно разликује од 0, НБ модел је прави избор, а Поасонов модел је неадекватан ([Poch & Mannering, 1996](#)).

Поасонов модел са вишком нула (ЗИП модел) се користи за скупове пребројивих податка (као што су саобраћајне незгоде), када постоји велики број нула у скупу података. Проблем вишка нула рјешава се фитовањем мјешовитог модела, који комбинује различите расподеле. ЗИП модел се састоји из два дијела: модела „zero-inflated“ и Поасоновог модела. Расподјела зависне варијабле у ЗИП моделу је апроксимирана мјешањем два модела и двије расподеле. Први модел, користи логистичку расподелу за предвиђање не појављивања саобраћајних незгода на деоници пута. Други модел, користи Поасонову расподелу за предвиђање колико често се саобраћајне незгоде догађају на деоници пута. ЗИП модел производи два сета коефицијената. Првим сетом процењује се вјероватноћа нула (модел „zero-inflated“), а другим средња вредност μ_i (модел „count“ – Поасонов модел). ЗИП модел подразумева да су догађаји $Y_i = Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ независни, а може се представити као:

$$\begin{aligned} Y_i \sim 0, \text{ са вјероватноћом } p_i \\ Y_i | \mu_i \sim \text{Poisson}(\mu_i), \text{ са вјероватноћом } 1 - p_i \end{aligned} \quad (5.13)$$

гдје је Y_i – случајна промјенљива која представља број саобраћајних незгода на деоници пута i током посматраног временског периода; μ_i – Поасонов параметар за деоницу пута i ; p_i – вјероватноћа да ће на деоници пута i постојати стање са вишком нула (функција логистичке везе дата је изразом $p_i = \lambda_i / (1 + \lambda_i)$, гдје је λ_i параметар логистичке везе којим се представљају коваријанте); $1 - p_i$ – вјероватноћа да саобраћајне незгоде прате Поасонову расподелу.

Функција вјероватноће ЗИП модела је дефинисана формулама ([Lambert, 1992](#)):

$$p(Y_i = y_i) = p(y_i) = \begin{cases} p_i + (1 - p_i)e^{-\mu_i}; \text{ ако је } Y_i = 0; i = 1, 2, 3, \dots, n \\ (1 - p_i) \frac{\mu_i^{y_i} e^{-\mu_i}}{y_i!}; \text{ ако је } Y_i > 0; i = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (5.14)$$

гдје $p(Y_i = y_i)$ – вјероватноћа да ће се y_i саобраћајних незгода догодити на деоници пута i током посматраног временског периода; y_i – представља стварну опсервацију од Y_i на деоници пута i током посматраног временског периода.

Оцјена параметара модела извршена је методом максималне вјеродостојности (MLE), при чему је функција вјеродостојности дефинисана формулом ([Lambert, 1992](#)):

$$\mathcal{L} = L1 + L2 - L3 \quad (5.15)$$

гдје је

$$L1 = \sum_{\{i: y_i=0\}} \ln[\lambda_i + e^{-\mu_i}] \quad (5.16)$$

$$L2 = \sum_{\{i: y_i>0\}} \{y_i \ln(\mu_i) - \mu_i - \ln(y_i!)\} \quad (5.17)$$

$$L3 = \sum_{i=1}^n \ln(1 + \lambda_i) \quad (5.18)$$

Средња вриједност односно очекивање и варијанса зависне промјенљиве Y_i ЗИП модела се рачунају по формули ([Miaou, 1994](#)):

$$E(Y_i) = (1 - p_i)\mu_i \quad (5.19)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i(1 - p_i)(1 + \mu_i p_i) \quad (5.20)$$

Ако је $p_i = 0$, нема вишка нула и средња вриједност ЗИП модела је једнака средњој вриједности Поасоновог модела.

ЗИНБ модел истовремено рјешава проблем вишка нула и прераспршености података. Модел се састоји из два дијела: модела „zero-inflated“ и НБ модела. Као и код ЗИП модела, расподјела зависне варијабле у ЗИНБ моделу је апроксимирана мјешањем два модела и двије расподјеле. Први модел, користи логистичку расподјелу за предвиђање не појављивања саобраћајних незгода на деоници пута. Други модел, користи негативну биномну расподјелу за предвиђање колико често се саобраћајне незгоде догађају на деоници пута. ЗИНБ модел производи два сета коефицијената. Првим сетом процењује се вјероватноћа нула (модел „zero-inflated“), а другим средња вредност μ_i (модел „count“ – НБ модел). ЗИНБ модел подразумијева да су догађаји $Y_i = Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ независни, а може се представити као ([Miranda-Moreno & Fu, 2006](#)):

$$\begin{aligned} Y_i &\sim 0, \text{ са вјероватноћом } p_i \\ Y_i | \mu_i &\sim NB(\mu_i, \theta) \text{ са вјероватноћом } 1 - p_i \end{aligned} \quad (5.21)$$

гдје је Y_i – случајна промјенљива која представља број саобраћајних незгода на деоници пута i током посматраног временског периода; μ_i – параметар са НБ расподјелом за деоницу пута i ; θ је обрнуто пропорционалан дисперзионом параметру α ($\theta = 1/\alpha$); p_i – вјероватноћа да ће на деоници пута i постојати стање са вишком нула (функција логистичке везе дата је изразом $p_i = \lambda_i / (1 + \lambda_i)$, гдје је λ_i параметар логистичке везе којим се представљају коваријанте); $1 - p_i$ – вјероватноћа да саобраћајне незгоде прате НБ расподјелу. Функција вјероватноће ЗИНБ модела је дефинисана формулом ([Washington et al., 2011](#)):

$$p(Y_i = y_i) = p(y_i) = \begin{cases} p_i + (1 - p_i) \left(\frac{\theta}{\theta + \mu_i}\right)^\theta; & \text{ако је } Y_i = 0; i = 1, 2, 3, \dots, n \\ (1 - p_i) \frac{\Gamma(\theta + y_i)}{\Gamma(\theta) y_i!} \left(\frac{\theta}{\theta + \mu_i}\right)^\theta \left(\frac{\mu_i}{\theta + \mu_i}\right)^{y_i}; & \text{ако је } Y_i > 0; i = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (5.22)$$

гдје је $p(Y_i = y_i)$ – вјероватноћа да ће се y_i саобраћајних незгода догодити на деоници пута i током посматраног временског периода; y_i – представља стварну опсервацију од Y_i на деоници пута i током посматраног временског периода; $\Gamma(\cdot)$ је вриједност гама функције.

Оцјена параметара модела извршена је методом максималне вјеродостојности (MLE), при чему је функција вјеродостојности дефинисана формулом ([Shankar et al., 2003](#)):

$$\mathcal{L} = L1 + L2 + L3 - L4 \quad (5.23)$$

гдје је

$$L1 = \sum_{\{i: y_i=0\}} \ln \left[\lambda_i + \left(1 + \frac{\mu_i}{\theta}\right)^{-\theta} \right] \quad (5.24)$$

$$L2 = \sum_{\{i: y_i>0\}} \sum_{y_i=0}^{y_i-1} \ln(y_i + \theta) \quad (5.25)$$

$$L3 = \sum_{\{i: y_i>0\}} \left\{ -\ln(y_i) - (y_i + \theta) \ln \left(1 + \frac{\mu_i}{\theta}\right) + y_i \ln \left(\frac{1}{\theta}\right) + y_i \ln(\mu_i) \right\} \quad (5.26)$$

$$L4 = \sum_{i=1}^n \ln(1 + \lambda_i) \quad (5.27)$$

Средња вриједност односно очекивање и варијанса зависне промјенљиве Y_i ЗИНБ модела се рачунају по формули ([Miranda-Moreno & Fu, 2006](#)):

$$E(Y_i) = (1 - p_i) \mu_i \quad (5.28)$$

$$Var(Y_i) = \mu_i (1 - p_i) (1 + \mu_i (p_i + \alpha)) \quad (5.29)$$

5.3. ПРОВЈЕРА СЛАГАЊА МОДЕЛА СА ПОДАЦИМА И ПОРЕЂЕЊЕ МОДЕЛА

Постоји неколико мјера за тестирање модела тачније за провјеру слагања развијеног модела са стварним подацима. Оне сумирају разлику између посматраних и предвиђених вриједности саобраћајних незгода. Најчешће коришћени су:

- Вриједност лог-вјероватноће (*енгл. Log-likelihood value*) ([Cameron & Trivedi, 1998](#)):

$$\text{Log} - \text{likelihood} = \sum_{i=1}^n \log(P_i); i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.30)$$

гдје је P_i очекивана вјероватноћа за i посматрање.

- Однос лог-вјероватноће (McFadden ρ^2) ([Hou et al., 2018b](#)):

$$\rho^2 = 1 - \ln L / \ln 0 \quad (5.31)$$

гдје је $\ln L$ – логаритам функције вјеродостојности; $\ln 0$ – логаритам функције вјеродостојности модела, који садржи само константу (са свим параметрима подешеним на вриједност 0).

- Скалирано одступање ([Cameron & Trivedi, 1998](#)):

$$SD = \sum_{i=1}^n \left[y_i \log \left(\frac{y_i}{\hat{y}_i} \right) - (y_i - \hat{y}_i) \right]; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.32)$$

гдје је y_i посматрани број саобраћајних незгода, а \hat{y}_i – очекиван број саобраћајних незгода.

- Хи-квадрат тест ([Cameron & Trivedi, 1998](#)):

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i} \quad (5.33)$$

гдје је y_i посматрани број саобраћајних незгода, а \hat{y}_i – очекиван број саобраћајних незгода.

- Апсолутно средње одступање – MAD ([Oh et al., 2003](#)):

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i| \quad (5.34)$$

гдје је y_i посматрани број саобраћајних незгода, \hat{y}_i – очекиван број саобраћајних незгода, n – број деоница у скупу података.

- Средња квадратна грешка – MSE ([Young et al., 2012](#)):

$$MSE = \frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (5.35)$$

гдје је y_i посматрани број саобраћајних незгода, \hat{y}_i – очекиван број саобраћајних незгода, n – број деоница у скупу података, p – број параметара у статистичком моделу.

- Средња квадратна грешка предвиђања – MSPE ([Young et al., 2012](#)):

$$MSPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (5.36)$$

гдје је y_i посматрани број саобраћајних незгода, \hat{y}_i – очекиван број саобраћајних незгода, n – број деоница у скупу података.

Мања вриједности мјера за тестирање модела поредстављају боље слагање дистрибуције са подацима.

За упоређивање конкурентских модела индекси подесности засновани на основу информационих критеријума су веома корисни. Основи принцип таквог мјерења квалитета индекса подесности је избор најједноставнијег модела који може описати податке добро. Најчешће коришћени информациони критеријуми су Акаикеов информациони критеријум (AIC) и Бајесов информациони критеријум (BIC).

- Акаикеов информациони критеријум ([Akaike, 1974](#)):

$$AIC = -2\ln L + 2k \quad (5.37)$$

гдје је $\ln L$ – логаритам функције вјеродостојности, k – број непознатих параметара у моделу тј. број параметара које је потребно оцијенити.

- Бајесов информациони критеријум – BIC ([Schwarz, 1978](#)):

$$BIC = -2 \ln L + k \ln n \quad (5.38)$$

гдје је $\ln L$ – логаритам функције вјеродостојности, k – број непознатих параметара у моделу тј. број параметара које је потребно оцијенити, n – величина узорка.

Општи метод за коришћење AIC и BIC је избор модела који има најмању вриједност. Да би се могле упоредити вриједности AIC и BIC критеријума, анализе морају бити базиране на истом скупу обсервација.

- Вуонг тест ([Vuong, 1989](#)):

$$V = \frac{\sqrt{n(\bar{L})}}{S_L} \quad (5.39)$$

гдје је $\bar{L} = (1/n) \sum_{i=1}^n L_i$, S_L – стандардно одступање од L_i , n – величина узорка, $L_i = \ln[P_1(Y_1)/P_2(Y_2)]$ и рачуна се за сваку деоницу, $P_1(Y_1)$ и $P_2(Y_2)$ су маргиналне вјероватноће за Поасонов и ЗИП модел односно за НБ и ЗИНБ модел.

Избор између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделом врши се на основу Вуонг теста, тачније ако је $V > 1.96$ предност се даје ЗИП и ЗИНБ моделу, а уколико је $V \leq 1.96$ предност се даје стандардном Поасоновом и НБ моделу ([Vuong, 1989](#)).

5.4. СТАТИСТИЧКО ЗАКЉУЧИВАЊЕ

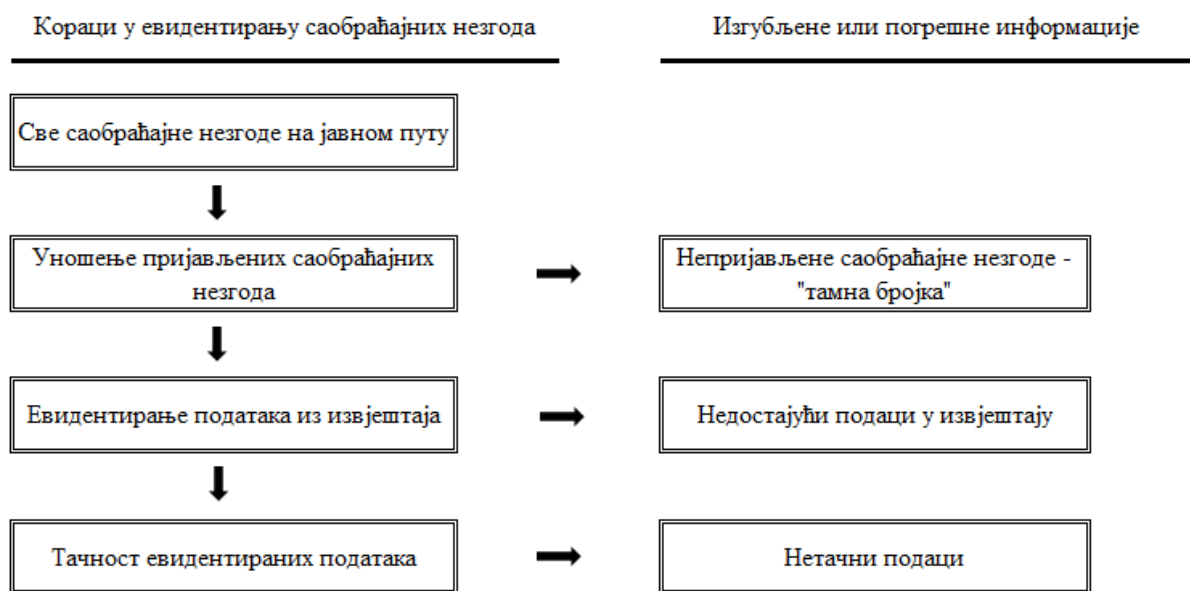
Након одређивања модела, завршене процјене параметара, провјере слагања модела са стварним подацима и поређења модела врши се статистичко закључивање. Оно се врши рачунањем интервала повјерења и маргиналних ефеката предиктивних варијабли. Интервали повјерења се користе за давање мјере прецизности, јер ширина интервала поверења даје меру са којом ће закључак бити донесен. Маргинални ефекати дају оцјену релативног утицаја предиктивних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. На крају процеса моделовања врши се интерпретација резултата.

5.5. ОГРАНИЧЕЊА У ПРОЦЕСУ МОДЕЛОВАЊА ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

У процесу моделовања саобраћајних незгода постоји одређен број проблема и ограничења, на које је потребно посебно обратити пажњу приликом моделовања. Прикупљање и вођење евиденције саобраћајних незгода представљају фундаменталне кораке у процесу моделовања саобраћајних незгода. Прикупљање података традиционално се врши од стране саобраћајне полиције, који се потом уносе у евиденцију или базу података о саобраћајним незгодама. Велике проблеме стварају некомплетне и недовољно детаљне базе података, које отежавају процесе моделовања. Превенствено, базе података о

5. Моделовање саобраћајних незгода

саобраћајним незгодама, а затим и база података о саобраћајним и геометријским карактеристикама пута. [Elvik et al. \(2009\)](#) су идентификовали кораке у којима постоји могућност да дође до грешке или губитка података у процесу евидентирања саобраћајних незгода (Слика 5.1). Први проблем се појављује код обавезе пријављивања саобраћајних незгода, јер саобраћајна полиција не евидентира све настале саобраћајне незгоде. Наиме, у већини држава не постоји обавеза евидентирања саобраћајних незгода од стране саобраћајне полиције, ако је настала мања материјална штета. Постоје и случајеви када постоји значајна материјална штета, али се саобраћајна незгода не пријављује, због договора учесника саобраћајне незгоде о надокнади настале материјалне штете. Сљедећи проблем настаје током евидентирања пријављене саобраћајне незгоде. Често у полицијским извештајима недостају поједини подаци, а који су неопходни за даљу анализу саобраћајних незгода. Углавном недостају подаци о локацији саобраћајне незгоде, подаци о возилима, специфичне околности у вези догађања саобраћајне незгоде и сл. На крају, извештаји о саобраћајним незгодама често садрже грешке и њихов значај се повећава у процесу даљег процесуирања тих података (локација саобраћајне незгоде – нетачне ГПС координате саобраћајне незгоде, грешке у евидентирању типа саобраћајне незгоде – због преопште квалификације саобраћајне незгоде или због нејасноће како је настала саобраћајна незгода, грешке које настају када се узимају изјаве од свједока и учесника саобраћајне незгоде, нарочито ако се оне односе на услове у вези пута итд.).



Слика 5.1: Извори грешака и губитак података у званичним евиденцијама о саобраћајним незгодама (адаптирано према: Elvik et al., 2009)

Статистички модели производе одређена ограничења у моделовању саобраћајних незгода. Ова ограничења су условљена формом, дистрибуцијом и особинама статистичких модела. [Lord & Mannering \(2010\)](#) су систематизовали потенцијалне проблеме и ограничења

приликом моделовања и анализе фреквенције саобраћајаних незгода. Посебно су истакли сљедеће проблеме: (1) наддисперзија и поддисперзија – које могу нарушити неке основе претпоставке моделовања појединих модела пребројивих података, те проузроковати погрешне процјене параметара предиктивних варијабли, (2) временски промјенљиве предиктивне варијабле – узимањем средње вриједности неке варијабле током неког временског периода (нпр. ПГДС), игноришу се потенцијално важне варијације у временским интервалима, што може изазвати погрешне процјене параметара (3) просторне и временске корелације – ако нису узете у обзир изазивају губитак ефикасности процјене параметара, (4) мала средња вриједност узорка и мали узорак – изазивају већи број нула у опсервацијама на ентитетима, на којима нису евидентирани саобраћајне незгоде, које затим узрокују веома погрешне процјене параметара предиктивних варијабли, (5) корелације према типу и посљедицама саобраћајних незгода – изазивају губитак ефикасности процјене параметара када се одвојени модели према посљедицама саобраћајних незгода процјењују, (6) непријављене саобраћајне незгоде – могу искривити предикцију модела и довести до погрешних закључака у вези утицаја предиктивних варијабли, (7) изостављене варијабле – ако су статистички значајне варијабле изостављене из модела, процјене параметара ће бити погрешне и резултоваће погрешним закључцима у погледу утицаја предиктивних варијабли, (8) ендogene варијабле – ако су укључене ендogene варијабле без одговарајућих статистичких корекција, параметарске процјене ће бити пристрасне и произвешће погрешне закључке у вези утицаја предиктивних варијабли, (9) функционална форма модела – ако се користи погрешна функција, резултат ће бити погрешне процјене параметара и погрешни закључци у погледу утицаја предиктивних варијабли и (10) фиксни параметри – ако се параметри процјењују као фиксни, а они у ствари варирају кроз опсервације, резултат ће бити пристрасне процјене параметара и погрешни закључци у погледу утицаја предиктивних варијабли. Поред наведених потенцијалних проблема и ограничења, [Mannering & Bhat \(2014\)](#) су идентификовали неколико методолошких раматрања, која је потребно узети у обзир приликом моделовања фреквенције саобраћајних незгода, као што су:

(1) избор оскудног или потпуно дефинисаног модела – доступност података и предиктивних варијабли за које је утврђено да имају значајан утицај на фреквенцију саобраћајних незгода понекад је ограничена и може утицати на избор модела. Некада је потребно да се развије што једноставнији модел, користећи само доступне експлораторне варијабле, које се могу прикупити и пројектовати за употребу у пракси. Проблем се јавља ако се изоставе важне предиктивне варијабле. С тога, неопходно је узети у обзир ограничења оскудних модела у смислу погрешне процјене параметара и политике вриједности. Са друге стране, потпуно дефинисани модели уносе доста комплексности у процес моделовања и захтјевају већи број података;

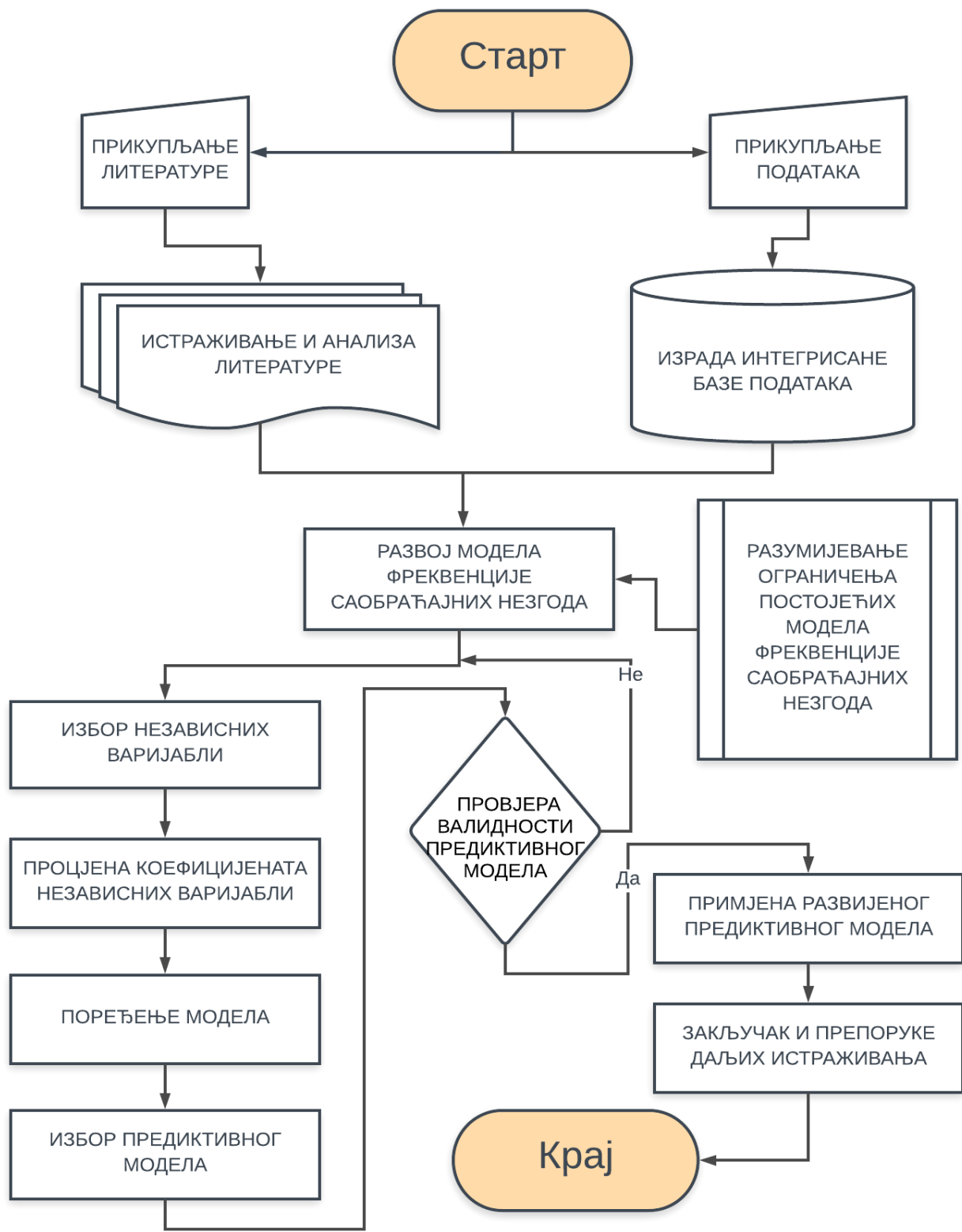
(2) непосматрана хетерогеност – се јавља ако многи фактори, који утичу на фреквенцију саобраћајних незгода, нису посматрани или ако их је тешко прикупити, па нису укључени у анализу. Поред тога, ако су ови непосматрани фактори у корелацији са посматраним

факторима, резултат ће бити погрешне процјене параметара и погрешни закључци у погледу утицаја предиктивних варијабли;

(3) компензација ризика – са статистичког аспекта, компензација ризика представља веома тежак проблем, јер није позната тачка равнотеже и не мора бити стабилна током времена. На примјер, вјероватноћа да возачи реагују на промјене услова на путу промјеном њиховог понашања чини разумјевање ефекта ових промјенљивих услова на путу изузетно тешким. Ако развијени модел утврди да фреквенција саобраћајних незгода опада током лоших временских услова, постоји вјероватноћа да сваки возач надокнађује неповољне временске услове промјеном свог возачког понашања, како би задржао прихватљив ниво ризика.

(4) избор методолошког приступа – потрошено је доста времена и енергије да би се одредио најбољи модел, који одговара за моделовање фреквенције саобраћајних незгода. Сви методолошки приступи имају инхерентна ограничења и супериорност једног модела у односу на други често се не може математички доказати. Тачније, чак ни емпиријска генерализација се не може направити, јер се укупна сагласност модела са стварним подацима може разликовати од једне до друге базе података.

5.6. АЛГОРИТАМ РАЗВОЈА ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА



Слика 5.2: Алгоритам развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода

5.7. РЕФЕРЕНЦЕ

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control, 19(6), 716-723.
- Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. (1998). Regression analysis of count data. New York, NY: Cambridge University Press.
- Elvik, R., Vaa, T., Høy, A., & Sørensen, M. (Eds.). (2009). *The handbook of road safety measures*. Emerald Group Publishing.
- Hou, Q., Tarko, A. P., & Meng, X. (2018b). Investigating factors of crash frequency with random effects and random parameters models: New insights from Chinese freeway study. Accident Analysis & Prevention, 120, 1-12.
- Lambert, D. (1992). Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, 34(1), 1-14.
- Lord, D., & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(5), 291-305.
- Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (2014). Analytic methods in accident research: methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 1-22.
- Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. Accident Analysis & Prevention, 26(4), 471-482.
- Miaou, S. P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, 25(6), 689-709.
- Miranda-Moreno, L. F., & Fu, L. (2006). A comparative study of alternative model structures and criteria for ranking locations for safety improvements. *Networks and Spatial Economics*, 6(2), 97-110.
- Oh, J., Washington, S. P., & Nam, D. (2006). Accident prediction model for railway-highway interfaces. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 346-356.
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. *Journal of transportation engineering*, 122(2), 105-113.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.
- Shankar, V. N., Ulfarsson, G. F., Pendyala, R. M., & Nebergall, M. B. (2003). Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic. *Safety Science*, 41(7), 627-640.
- Vuong, Q. H. (1989). Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 307-333.

5. Моделовање саобраћајних незгода

Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2011. Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.

Young, J., Park, P., & Eng, P. (2012, October). Comparing the Highway Safety Manual's Safety Performance Functions with Jurisdiction-Specific Functions for Intersections in Regina. In Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Fredericton, New Brunswick.

6. РАЗВОЈ ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЈЕНУ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

6.1. УВОД

У овом поглављу тестирана је **основна хипотеза H_1** , која гласи: „Фреквенција саобраћајних незгода на руралним путевима може се предвидјети употребом предиктивног модела“.

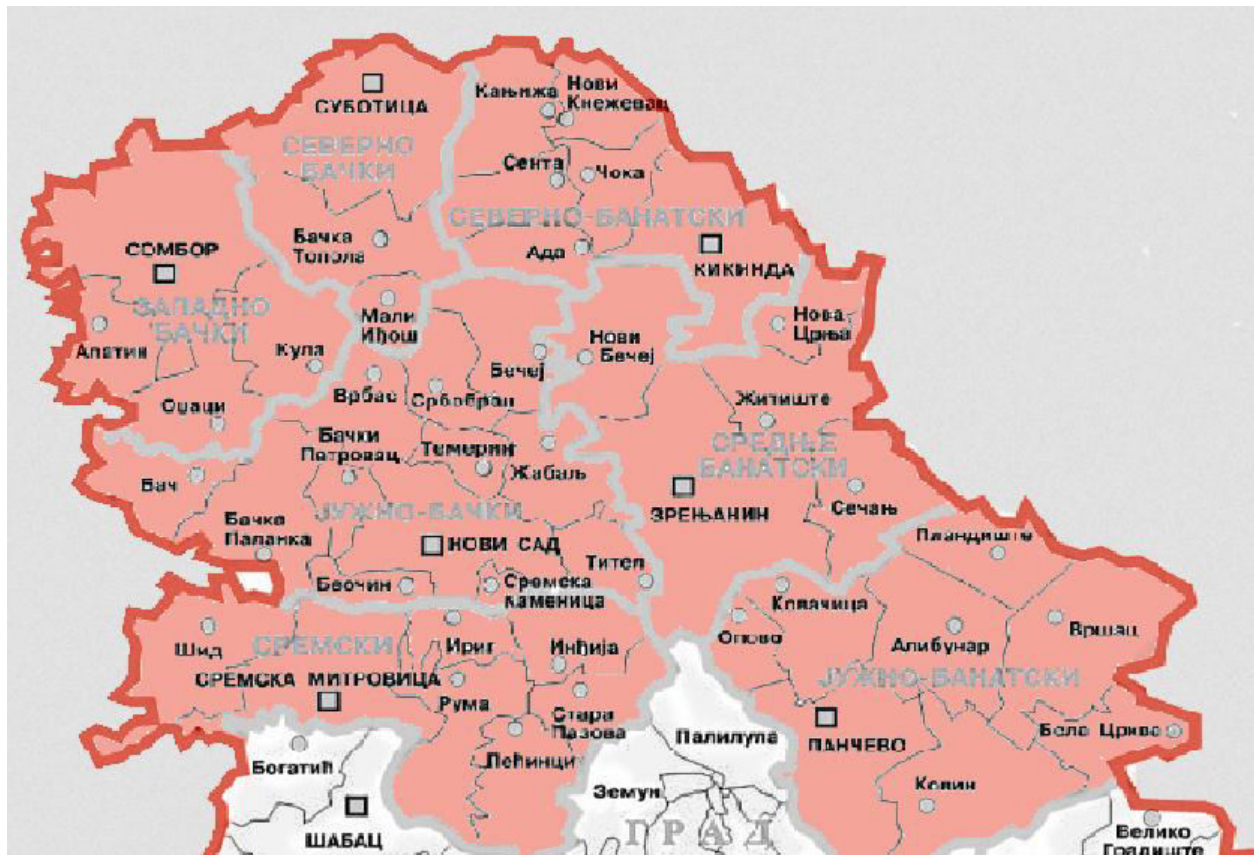
Превенција саобраћајних незгода треба да помогне да се одговори на питање зашто саобраћајне незгоде настају, да се идентификују локације гдје најчешће до њих долази, да се дефинише одговарајући програми за већу безбједност у саобраћају и одговарајуће мјере које треба да се предузму, као и да помогну у оцјењивању ефективности предузетих мјера. Један од алата за превентивно дјеловање представљају предиктивни модели фреквенције саобраћајних незгода. У оквиру овог поглавља извршиће се развој предиктивног модела, дефинисати оквири студије случаја (карактеристике географског подручја и пута), начин прикупљања података и сегментација путних деоница.



Слика 6.1: Положај АП Војводине, унутар Републике Србије, на мапи Европе (адаптирано према: Google maps)

За развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода предвиђена је студија случаја на државном путу ИБ-12, који се читавом дужином налази на подручју АП Војводине. АП Војводина представља аутономну покрајину у саставу Републике Србије (слика 6.1). Налази се на сјеверу Републике Србије и обухвата површину од $21,614 \text{ km}^2$ (24,4% површине Републике Србије) са 1,931.809 становника према попису из 2011. године (РЗС, 2018b). Она се граничи на сјеверу са Мађарском, на истоку са Румунијом, на западу са Хрватском и на југозападу са Босном и Херцеговином (Република Српска), а јужна граница Војводине је

административна граница према Централној Србији. Састоји се од седам региона и то: Севернобачки, Западнoбачки, Јужнобачки, Севернобанатски, Средњeбанатски, Јужнобанатски и Сремски регион (слика 6.2). Рељеф АП Војводине је претежно равничарски, изузев Срема (гдје се налази планина Фрушка гора) и југоистока Баната, са Вршачким планинама. Најнижа тачка Војводине је 75 m, а највиша 641 m надморске висине ([RZS, 2018b](#)).



Слика 6.2: Региони АП Војводине (адаптирано према: Википедија)

На подручју АП Војводине број регистрованих возила се константно повећава (табела 6.1). У периоду 2015-2017. године укупан број регистрованих возила се повећао за 7,48%. Највише је регистрованих путничких возила (око 82%), затим слиједи теретна моторна возила (око 8,6%) и прикључна возила (око 4,6%) ([RZS, 2017](#); [RZS, 2018a](#)). Укупна дужина путне мреже је 5.817,00 km (без улица у насељу), гдје је 1.050,00 km државних путева I реда, 2.053,00 km државних путева II реда и 2.714,00 km општинских путева. Савремени коловозни застор (асфалт, бетон и коцка) је на 89,24% путне мреже у АП Војводини односно 5.191,00 km. Преостали дио путне мреже чине туцанички (1,08%) и земљани (9,68%) путеви ([RZS, 2018b](#)).

У циљу спровођења овог истраживања, подаци су прикупљени за државни пут ИБ-12. Укупна дужина пута је 276,70 km, подијељена на 23 деонице (табела 6.2). Пут се пружа кроз четири региона унутар АП Војводине и то: Севернобачки, Западнoбачки, Јужнобачки и Средњeбанатски регион. Овај пут је углавном двотрачни двосмјерни пут (око 90,85% укупне дужине пута односно 251,38 km). Пут пролази кроз урбану средину у дужини од 70,28 km (25,4%), док се преостали дио пута у дужини од 206,42 km (74,6%) налази у руралном

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

подручју. Дио трасе пута се пружа кроз градове Сомбор, Нови Сад и Зрењанин и мања мјеста као што су: Бајмок, Светозар Милетић, Оџаци, Српска Црња и др.

Табела 6.1: Број регистрованих возила према типу возила, АП Војводина, 2015-2017.

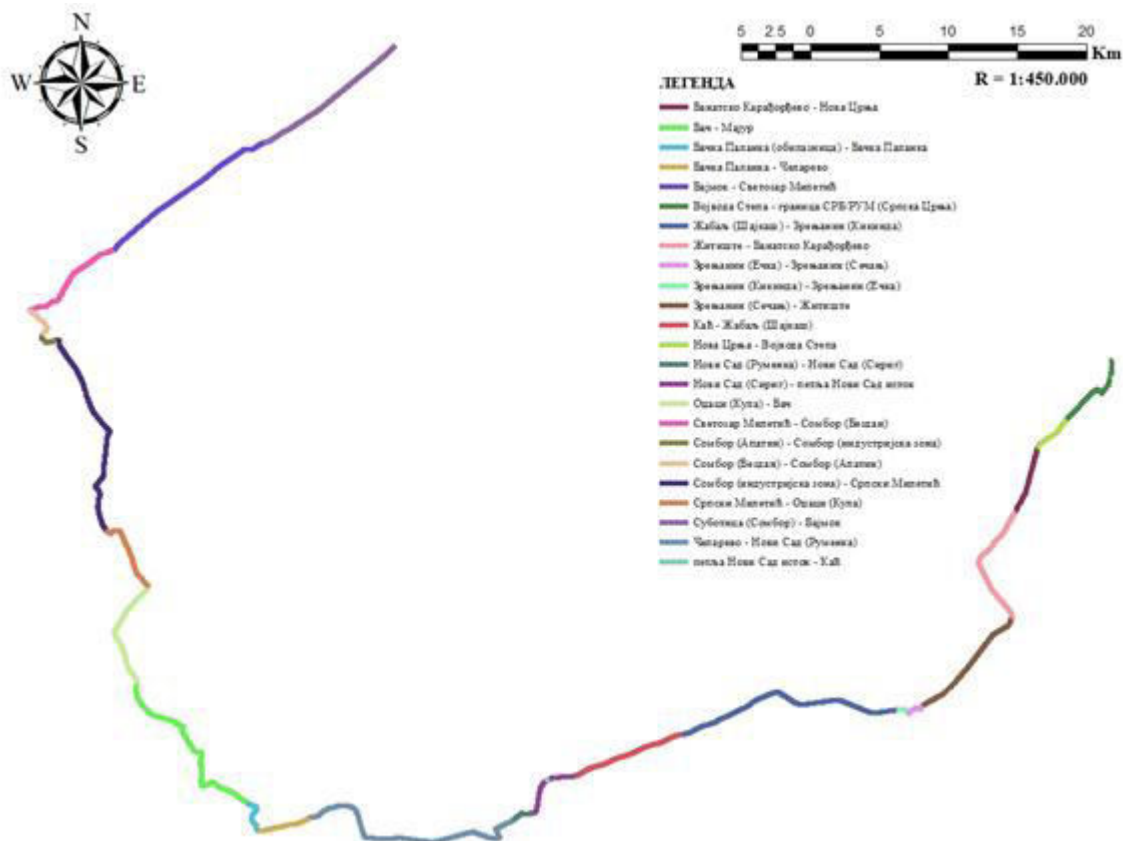
Тип возила	2015. година		2016. година		2017. година	
	Регион АП Војводине					
	Број возила	Процент	Број возила	Процент	Број возила	Процент
Мопеди	7.492	1,31	7.312	1,26	7.724	1,26
Мотоцикли	12.298	2,15	12.153	2,09	12.723	2,07
Путнички аутомобили	469.432	82,13	479.094	82,28	504.147	82,06
Аутобуси	1.931	0,34	1.961	0,34	2.083	0,34
Теретна возила	48.574	8,50	50.087	8,60	53.490	8,71
Прикључна возила	26.197	4,58	26.779	4,60	28.821	4,69
Радна возила	5.677	0,99	4.898	0,84	5.359	0,87
Укупно	571.601	100,00	582.284	100,00	614.347	100,00

Табела 6.2: Саобраћајне деонице државног пута ИВ-12

Редни број	Ознака деонице	Саобраћајна деоница	Дужина деонице (km)
1.	01201	Суботица (Сомбор) - Бајмок	19,2
2.	01202	Бајмок - Светозар Милетић	21,7
3.	01203	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	12,7
4.	01204	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	4,2
5.	01205	Сомбор (Апатин) - Сомбор (индустријска зона)	2,5
6.	01206	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	25,0
7.	01207	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	9,4
8.	01208	Оџаци (Кула) - Бач	13,6
9.	01209	Бач - Бачка Паланка (обилазница)	22,1
10.	01210	Бачка Паланка (обилазница) - Челарево	10,8
11.	01211	Челарево - Нови Сад (Руменка)	28,9
12.	01212	Нови Сад (Руменка) - Нови Сад (Сириг)	2,2
13.	01213	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	4,2
14.	01214	петља Нови Сад исток - Каћ	3,7
15.	01215	Каћ - Жабаљ (Шајкаш)	13,3
16.	01216	Жабаљ (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	26,7
17.	01217	Зрењанин (Кикинда) - Зрењанин (Ечка)	1,7
18.	01218	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	2,4
19.	01219	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	14,6
20.	01220	Житиште - Банатско Карађорђево	15,1
21.	01221	Банатско Карађорђево - Нова Црња	8,3
22.	01222	Нова Црња - Војвода Степа	4,4
23.	01223	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	10,0
Укупна дужина (km)			276,70

Државни пут ИВ-12 је пут равничарског карактера са подужним нагибом $\pm 2,5\%$, који повезује на истоку град Суботицу са границом са Румунијом (Српска Црња) на западу (слика 6.3). Почетна и завршна тачка су на чворовима 1102 (X: 393302.85 m E; Y: 5102918.84 m N)

и 1222 (X: 476708.20 m E; Y: 5066386.42 m N) респективно. Ширина коловоза је у распону од 5,60 m до 19,20 m, а број саобраћајних трака се креће у распону од 2 до 4, са ширином, која варира од 2,75 m до 3,50 m.



Слика 6.3: Траса државног пута ИБ-12

6.2. ПРИКУПЉАЊЕ И ПРИПРЕМА ПОДАТАКА

Разумијевање везе између обима саобраћаја и елемената пута са фреквенцијом саобраћајних незгода на руралним путевима захтјева креирање интегрисане базе података, која садржи податке о саобраћајним незгодама, саобраћајном оптерећењу, геометријским елементима пута, саобраћајној сигнализацији и стању коловоза. Како је за спровођење студије случаја изабран државни пут ИБ-12, подаци који се односе на овај пут су прикупљени из различитих извора за период од 2015. до 2017. године. За потребе истраживања подаци су прикупљени из следећих база података:

- База података о саобраћајном оптерећењу, коју одржава и ажурира Јавно предузеће „Путеви Србије“;
- База података о геометријским елементима пута и саобраћајној сигнализацији; коју одржава и ажурира Јавно предузеће „Путеви Србије“;
- База података о саобраћајним незгодама, коју одржава и ажурира Министарство унутрашњих послова Републике Србије.

Поред података добијених од надлежних органа, који управљају евиденцијама и базама података, један дио података прикупљен је теренским истраживањем са аквизицијом видео снимака. Такође, неки подаци су прикупљени са мапе пута ИБ-12 на Google Earth-у ([Google, 2018](#)).

Подаци у бази података о саобраћајном оптерећењу су прикупљени са аутоматских бројача, повременим аутоматским бројањем саобраћаја и интерполацијом података. Из ове базе извучени су подаци о обиму саобраћаја (ПГДС), подаци о учешћу путничких возила у саобраћајном току, подаци о учешћу аутобуса у саобраћајном току и подаци о учешћу комерцијалних возила (лаких и тешких теретних возила) у саобраћајном току. Подаци са аутоматских бројача су доста детаљнији, те поред наведених садрже податке о временској неравномјерности саобраћајног тока, сатној дистрибуцији саобраћајног тока, мјеродавним часовним протоцима возила, дистрибуцији брзине у саобраћајном току, проценту прекорачења ограничења брзине и др.

Из базе података о геометријским елементима пута и саобраћајној сигнализацији извучени су сљедећи подаци:

- Саобраћајни чворови;
- Дужине деонице;
- Геометрија хоризонталних кривина (број хоризонталних кривина унутар деонице, стационаже хоризонталних кривина, радијуси, скретни угао, дужина кривине, тип, елементи витоперења);
- Ширина коловоза унутар сваке деонице;
- Број саобраћајних трака унутар сваке деонице;
- Подужни елементи пута унутар сваке деонице (ширина банкина, разделно острво – тип и ширина (ако постоји на деоници), заштитна ограда, постојање и дужина);
- Ограничење брзине на деоници и стационаже саобраћајних знакова ограничења брзине;
- Ветикална саобраћајна сигнализација унутар сваке деонице;
- Подаци о коловозној површини на деоници (IRI за деонице);
- Путни објекти (врста, стационажа, дужина и сл.).

Подаци у бази се ажурирају годишње, осим података о саобраћајној сигнализацији, која се ажурира на мјесечном нивоу.

Аквизицијом видео снимака, са ГПС координатама, добијени су подаци о раскрсницама (тип и начин регулисања), локацијама приступних путева (прикључака), намјени површина у близини пута, постојању индустријских и комерцијалних објеката у окружењу пута, локацијама стајалишта јавног превоза, постојању стубова јавног освјетљења, локацијама школа, бензинских станица и др.

Google Earth као извор података је коришћен за прикупљање података о типовима приступних путева, широј слици окружења пута, дужинама слободних зона и рангу опасности окружења пута. Поред тога, опција „*Street view*“ је коришћена за упоређивање прикупљених података о геометријским елементима пута и саобраћајној сигнализацији са подацима добијеним од Јавног предузећа „Путеви Србије“.

База података о саобраћајним незгодама садржи велики број детаља о саобраћајним незгодама (мјесто и вријеме настанка саобраћајне незгоде, тип саобраћајне незгоде и врсте посљедица саобраћајне незгоде, број возила укључених у саобраћајну незгоду, број особа укључених у саобраћајну незгоду, временске прилике, стање коловоза, карактеристике возила укључених у саобраћајну незгоду, карактеристике учесника саобраћајне незгоде и сл.).

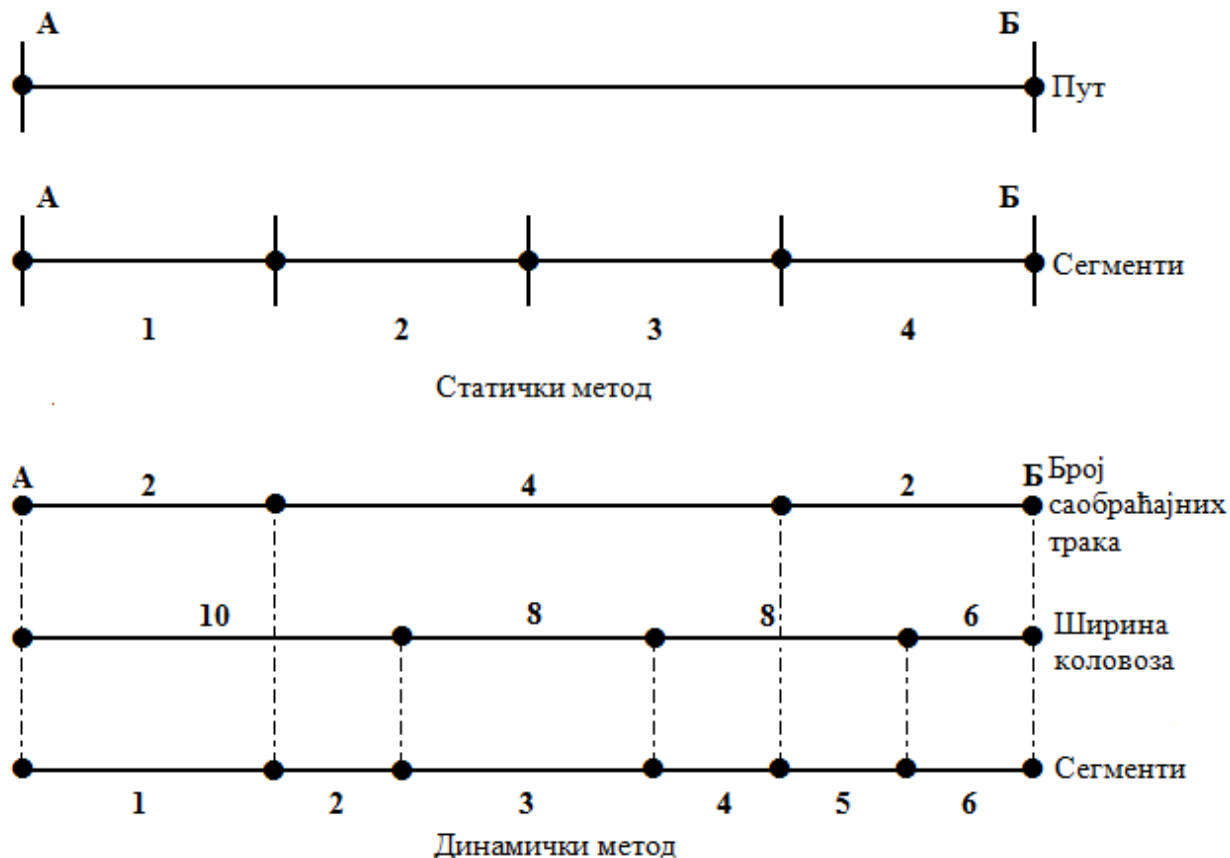
Сви прикупљени подаци су обједињени у интегрисану базу података. Приликом припреме базе један дио података се није могао искористити због некомплетности података. Нпр. подаци са аутоматских бројача се нису могли искористити у пуном капацитету, јер на деоницама пута на којима се врши интерполација података нема тако детаљних података (дистрибуција брзине у саобраћајном току, проценат прекорачења ограничења брзине и сл.). За потребе развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода одабран је сет од 19 варијабли и то:

- Зависне варијабле
 - Укупан број саобраћајних незгода;
 - Број саобраћајних незгода са настрадалим лицима;
 - Број саобраћајних незгода са материјалном штетом.
- Независне варијабле
 - Дужина деонице (сегмента);
 - ПГДС;
 - % путничких аутомобила у укупном ПГДС-у;
 - % аутобуса у укупном ПГДС-у;
 - % комерцијалних возила у укупном ПГДС-у;
 - Постављено ограничење брзине;
 - Просјечан полупречник хоризонталне кривине;
 - Угао закривљености хоризонталне кривине;
 - Просјечна дужина лука хоризонталне кривине;
 - Број хоризонталних кривина;
 - Густина приступних путева;
 - Број асфалтних приступних путева;
 - Број бетонских приступних путева;
 - Број травнатих или земљаних приступних путева;
 - Број туцаничких приступних путева;
 - Индекс равности пута.

6.3. СЕГМЕНТАЦИЈА ПУТНИХ ДЕОНИЦА

Сегментација путних деоница представља битан корак у развоју предиктивног модела. Постојеће методе сегментације су могу сврстати у двије категорије: статичка и динамичка. Статичка (фиксна) сегментација дијели путне деонице у сегменте са фиксним дужинама сегмента, док динамичка сегментација дијели путне деонице у сегменте са једнаким карактеристикама. На слици 6.4 дат је примјер оба метода. Примјеном статичког метода, пут АБ је подијељен на 4 сегмента једнаке дужине. За динамички метод подјела путних деоница извршена је на основу два атрибута тј. на основу броја саобраћајних трака и ширине коловоза. Свака промјена атрибута резултује новим сегментом. Након процеса динамичке сегментације пут АБ је подијељен на 6 хомогених сегмената (са једнаким бројем саобраћајних трака и једнаке ширине коловоза). Предност статичке сегментације представља једноставност у примјени. Поред тога, не захтјева додатне инфомације о путним сегментима. Са друге стране, предност динамичке сегментације је у томе што сваки сегмент има сет јединствених атрибута. Међутим, уколико се динамичка сегментација врши са великим бројем атрибута, резултат може бити велики број кратких сегмената, који су осјетљиви на насумичне флукуације саобраћајних незгода. Оба метода имају предности и

недостатке у односу на други метод и не постоји консензус у научној заједници, који метод је бољи у предвиђању фреквенције саобраћајних незгода ([Ma et al., 2017](#)).

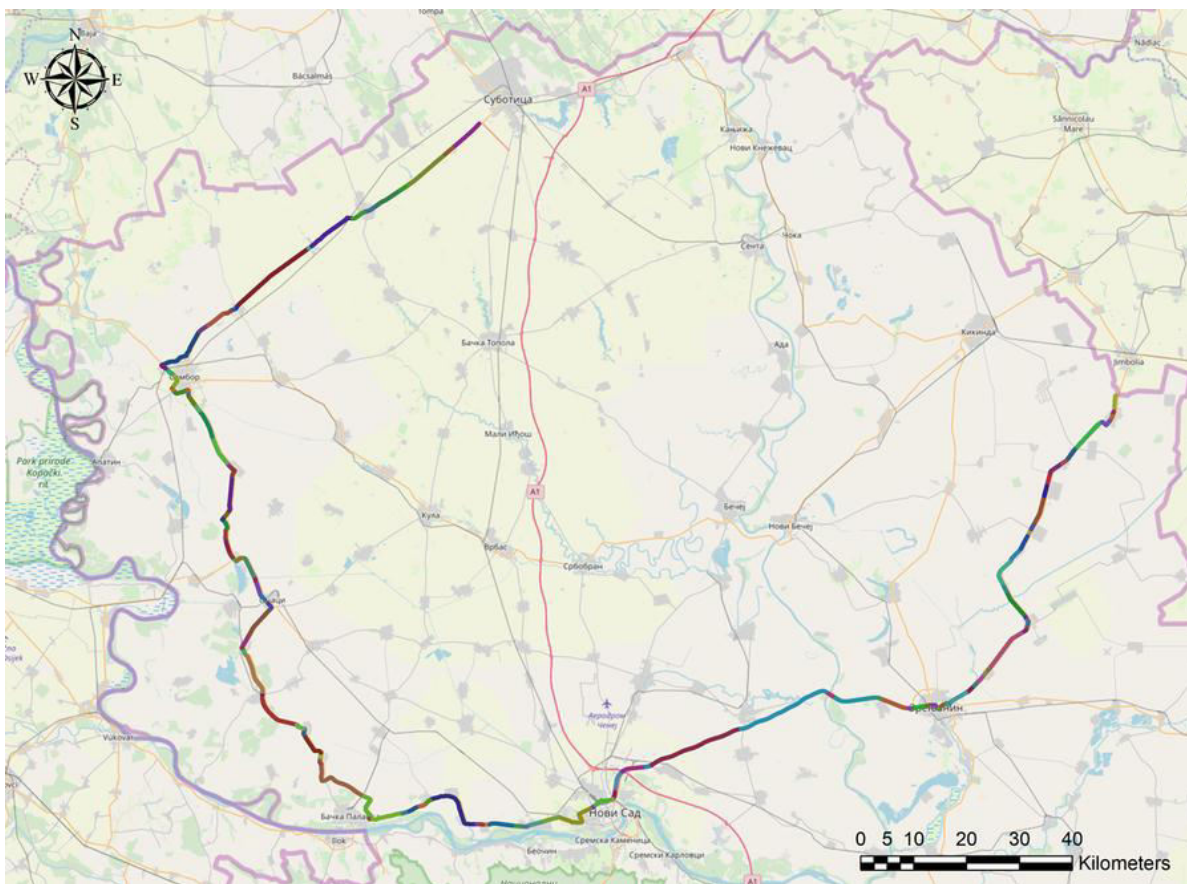


Слика 6.4: Методе сегментације путних деоница

[Shankar et al. \(1995\)](#) су користили статички метод за истраживање фреквенције саобраћајних незгода. Пут дужине 61 km су поделили на 10 једнаких сегмената дужине 6,1 km. Аутори тврде да хомогени сегменати различите дужине могу створити проблеме хетероскедастичности (нпр. различита вриједност узорка) и да могу довести до смањења у процјени ефикасности модела. Са друге стране, статички метод рјешава проблем „миграције“ саобраћајних незгода. [Abdel-Aty & Radwan \(2000\)](#) су примјенили метод динамичке сегментације. Државни пут бр. 50 дужине 227 km, су поделили на 556 хомогених сегмената. Динамичку сегментацију су извршили на основу геометријских карактеристика пута и карактеристика саобраћајног тока. Такође, Приручник безбједности саобраћаја предлаже употребу метода динамичке сегментације. Хомогени путни сегменти су утврђени на основу ПГДС-а, броја саобраћајних трака, закривљености, присуства рампи и петљи, ширине коловоза, ширине „чисте зоне“ и сл. Иако нема тачно дефинисана минимална дужина сегмента, препоручена је минимална дужина од 160 m ([AASHTO, 2010](#)). [Boroujerdian et al. \(2014\)](#) су утврдили недостатке статичке сегментације, који се огледају у вјероватноћи изостављања путних сегмената са високом густином саобраћајних незгода и могућности идентификовања специфичних локација са великим бројем саобраћајних незгода. [Borsos et al. \(2016\)](#) су поделили аутопут дужине 919 km методом динамичке сегментације на основу ПГДС-а и путне геометрије. Као резултат добијено је 1.357 хомогених сегмената. Дужина сегмената креће се у распону од 0,2 km до 6,2 km. [Cafiso et al.](#)

(2018) су анализирали утицај четири методе сегментације на форму модела и слагање модела са стварним подацима на руралном аутопуту у Италији. Утврдили су да је статички метод, са сегментима фиксне дужине 650 m, најфлексибилнији у практичној примјени. На основу анализе претходних истраживања и сагледавања предности и недостатака оба метода, за спровођење процеса сегментације путних деоница у оквиру ове дисертације, одабран је метод динамичке сегментације.

Процес динамичке сегментације је извршен након прикупљања података и креирања интегрисане базе података за државни пут ИБ-12. За динамичку сегментацију коришћен је софтвер ArcGIS 10.1. Четири критеријума на основу којих је извршена динамичка сегментација су: (1) саобраћајни чворови, (2) обим саобраћаја, (3) постављено ограничење брзине и (4) број саобраћајних трака. Као резултат добијено је 136 хомогених сегмената (слика 6.5).



Слика 6.5: Путни сегменти државног пута ИБ-12

Формирани хомогени сегменти су имали заједничке атрибуте у погледу ПГДС-а, постављеног ограничења брзине на сегменту и броја саобраћајних трака у сегменту. Постериорна анализа хомогених сегмената је показала да за одређене сегменте не постоје потпуни подаци, неопходни за развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Такође, утврђено је да је један дио новоформираних сегмената краћи од 100 m. Од 136 хомогених сегмената, 77 сегмената се налази у урбаном окружењу, а 59 на руралним деоницама. На слици 6.6 приказани су хомогени сегменти на руралним деоницама државног пута ИБ-12. Одлучено је да се сегменти за које не постоје потпуни подаци искључе из процеса моделовања фреквенције саобраћајних незгода. Сегменти који су краћи од 100 m су

придружени сусједним сегментима са сличним карактеристикама. Такође, сегменти који се налазе у насељу су искључени из даљег процеса моделовања. Након тога, саобраћајне незгоде, које су се догодиле у трогодишњем периоду од 2015. до 2017. године, су повезане са сваким од 59 хомогених сегмената на руралним путевима.



Слика 6.6: Хомогени сегменти на руралним деоницама државног пута ИБ-12

6.4. ПРЕЛИМИНАРНА АНАЛИЗА

После прикупљања података и спроведеног процеса динамичке сегментације извршена је прелиминарна анализа прикупљених података. С обзиром да је циљ ове дисертације моделовање фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима, у обзир је узето само 59 хомогених деоница, које се налазе у руралном окружењу. Укупна дужина руралних сегмената је 199,63 km. Величина узорка је 177 независних опсервација ($n = 177 = 59 * 3$). Табела 6.3. приказује информације о минимуму и максимуму, средњој вриједности, стандардном одступању, стандардној грешци и границама интервала повјерења изабраних варијабли из интегрисане базе података. Дужина руралних хомогених сегмената је у распону од 0,23 до 13,31 km, на којима је постављено ограничење брзине у распону од 40 до 80 km/h. На руралним деоницама пута вриједност ПГДС-а је ниска, са средњом вриједношћу 3.785,70 voz/dan. Учешће путничких возила у саобраћајном току је 88%, аутобуса 1%, а комерцијалних возила 2%.

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

Табела 6.3: Дескриптивна статистика зависних и независних промјенљивих

Ознака промјенљиве	Скраћени назив	Опис [јединица мјере или ознака кодирања]	Тип промјенљиве	Мин	Макс	Средња вриједност	Станд. Дев.	Станд. гр.	*ДИП	**ГИП
Зависне промјенљиве										
у ₁	СНТОТАЛ	Укупан број саобраћајних незгода	Нумеричка	0	20	2.18	2.998	0.225	1.74	2.63
у ₂	СНН	Број саобраћајних незгода са настрадалим лицима	Нумеричка	0	10	1.38	1.861	0.140	1.10	1.65
у ₃	СНМАТ	Број саобраћајних незгода са материјалном штетом	Нумеричка	0	14	0.80	1.526	0.115	0.58	1.03
Независне промјенљиве										
х ₁	Л	Дужина сегмента [km]	Нумеричка	0.23	13.31	3.38	3.11	0.23	2.92	3.85
х ₂	ПГДС	Просјечан годишњи дневни саобраћај [voz/dan]	Нумеричка	760	15,195	3785.70	2391.52	179.76	3430.97	4140.48
х ₃	%ПА	% путничких аутомобила у укупном ПГДС-у	Нумеричка	0.78	0.92	0.88	0.024	0.001	0.871	0.878
х ₄	%БУС	% аутобуса у укупном ПГДС-у	Нумеричка	0.007	0.037	0.01	0.005	0.0003	0.011	0.012
х ₅	%КОМ	% комерцијалних возила у укупном ПГДС-у	Нумеричка	0.013	0.036	0.02	0.003	0.0002	0.018	0.019
х ₆	ОГРБРЗ	Постављено ограничење брзине [km/h]	Категоријална	40	80	74.07	10.94	0.82	72.44	75.69
х ₇	ПОЛКРИВ	Просјечан полупречник хоризонталне кривине у сегменту [m]	Нумеричка	0	1783.3	264.35	363.40	27.31	210.45	318.25
х ₈	ЛУККРИВ	Просјечна дужина лука хоризонталне кривине у сегменту [m]	Нумеричка	0	2555.8	379.50	519.30	39.04	302.46	456.53
х ₉	УГАОКРИВ	Угао закривљености хоризонталне кривине у сегменту по km [stepen/km]	Нумеричка	0	297.34	34.58	62.75	4.72	25.27	43.89
х ₁₀	БРКРИВ	Број хоризонталних кривина	Нумеричка	0	7	1.64	2.04	0.15	1.34	1.95
х ₁₁	ГУСПУТ	Густина приступних путева [br. puteva/km]	Нумеричка	0	42.52	7.46	8.11	0.61	6.26	8.66
х ₁₂	ТИПАСФАЛТ	Број асфалтних приступних путева	Нумеричка	0	20	1.90	2.94	0.22	1.46	2.33
х ₁₃	ТИПБЕТОН	Број бетонских приступних путева	Нумеричка	0	53	2.56	7.47	0.56	1.45	3.67
х ₁₄	ТИПТРАВЗЕМ	Број травнатих или земљаних приступних путева	Нумеричка	0	66	15.61	16.28	1.22	13.19	18.02
х ₁₅	ТИПТУЦ	Број туцаничких приступних путева	Нумеричка	0	24	3.97	5.43	0.41	3.16	4.77
х ₁₆	ИРИ	Индекс равности пута	Нумеричка	0	4.53	2.47	1.07	0.08	2.32	2.63
х ₁₇	ГОД2015	Индикатор варијабла [1 - ако је сегмент у 2015. години, 0 - супротно]	Категоријална	-	-	-	-	-	-	-
х ₁₈	ГОД2016	Индикатор варијабла [1 - ако је сегмент у 2016. години, 0 - супротно]	Категоријална	-	-	-	-	-	-	-
х ₁₉	ГОД2017	Индикатор варијабла [1 - ако је сегмент у 2017. години, 0 - супротно]	Категоријална	-	-	-	-	-	-	-

*95% доња граница интервала повјерења; **95% горња граница интервала повјерења

Хоризонталне кривине су анализиране кроз четири независне варијабле и то: број хоризонталних кривина, просјечан полупречник хоризонталне кривине, просјечна дужина лука хоризонталне кривине и угао закривљености хоризонталне кривине. Независна варијабла „Број хоризонталних кривина“ је у распону од 0 до 7. Просјечан полупречник хоризонталне кривине има средњу вриједност од 264,35 m, док просјечна дужина лука хоризонталне кривине има средњу вриједност од 379,50 m. Независна варијабла „угао закривљености хоризонталне кривине“ има средњу вриједност 34,58 stepen/km, док је минимална вриједности угла закривљености хоризонталне кривине 0 stepen/km, а максимална 297,34 stepen/km. Утицај приступних путева је посматран кроз 5 независних варијабли, тачније преко густине приступних путева и четири независне варијабле које се односе на тип приступног пута. Густина приступних путева је у распону до 0 до 45,52 puteva/km. На руралним сегментима највише је травнатих или земљаних приступних путева са средњом вриједношћу од 15,61 путева у сегменту, приступни путеви са туцаничким коловозним застором имају средњу вриједност од 3,97 путева у сегменту, приступни путеви са бетонским коловозним застором имају средњу вриједност од 2,56 путева у сегменту, а приступни путеви са асфалтним коловозним застором имају средњу вриједност од 1,90 путева у сегменту. С обзиром да се ради о руралном путу, евидентан је велики број прикључних путева, што се може оправдати чињеницом да се ради о пољопривредном подручју, те да је у Србији, а поготово у Војводини, изражен проблем линеарних насеља и неконтролисаног прикључивања на државне путеве IБ реда. Стање површине коловоза представљено је вриједношћу коефицијента IRI, који се креће у распону 0 до 4,53. Ради анализе утицаја временског ефекта и рјешавања проблема временских корелација уведене су три вјештачке варијабле и то: „ГОД2015“, „ГОД2016“ и „ГОД2017“, које узимају вриједности (0, 1).

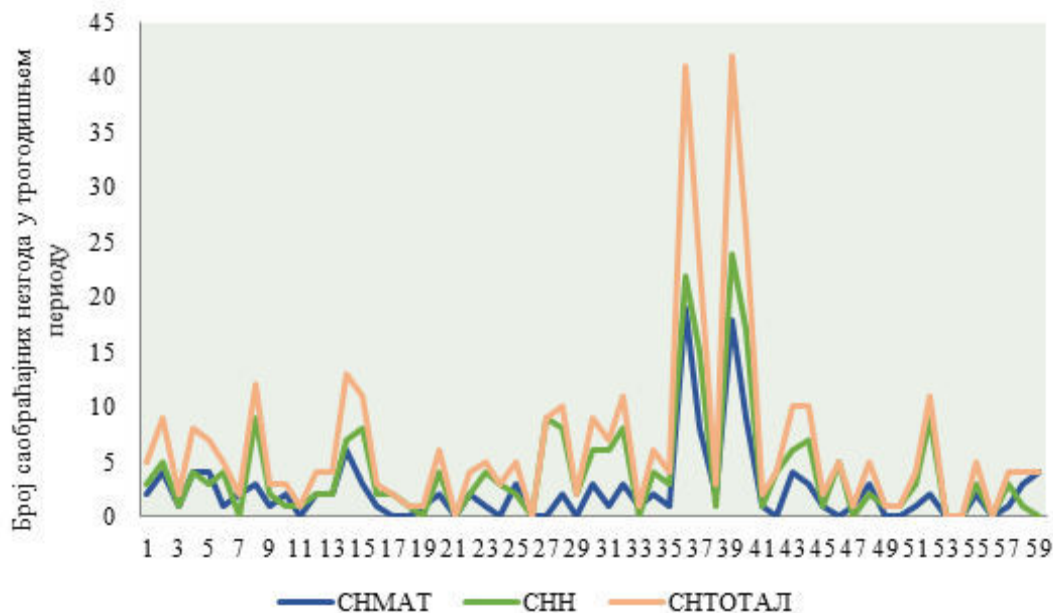


График 6.1: Фреквенција саобраћајних незгода на руралним сегментима

У периоду 2015-2017. године на руралним сегментима се догодило 386 саобраћајних незгода. Од тога, 244 су саобраћајне незгоде са настрадалим лицима (63,21%), а 142 са материјалном штетом (36,79%). На графику 6.1 приказана је фреквенција саобраћајних незгода на 59 руралних сегмената државног пута IБ-12 за све три зависне промјенљиве у

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

трогодишњем временском периоду. Укупан број саобраћајних незгода се креће у распону од 0 до 20 саобраћајних незгода по руралним сегментима годишње. Саобраћајне незгоде са настрадалим лицима се крећу у распону од 0 до 10 саобраћајних незгода по руралним сегментима годишње, а саобраћајне незгоде са материјалном штетом у распону од 0 до 14 саобраћајних незгода по руралним сегментима годишње.

6.4.1. Анализа са једном независном промјенљивом

Процјена утицаја независних промјенљивих на зависну промјенљиву може се спровести анализом са сваком појединачном промјенљивом посебно. Сврха ове анализе је да се грубо утврди да ли постоји веза између независних промјенљивих и фреквенције саобраћајних незгода. У овом кораку се могу одбацили независне промјенљиве, код којих се не утврди веза са фреквенцијом саобраћајних незгода. Анализа је спроведена за сва четири тестирана статистичка модела тј. Поасонов, НБ, ЗИП и ЗИНБ модел. Коришћене су три зависне промјенљиве и то: укупан број саобраћајних незгода, број саобраћајних незгода са настрадалим лицима и број саобраћајних незгода са материјалном штетом. Формирана интегрисана база је увезена у статистички софтвер СТАТА 13.0 гдје је вршена даља обрада и анализа података, те развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода.

Табела 6.4: Прелиминарна анализа – укупан број саобраћајних незгода

Варијабле	СНТОТАЛ							
	Poisson		NB		ZIP		ZINB	
	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z
X ₁	0.1873	0.000	0.1965	0.000	0.1571	0.000*	0.1726	0.000*
X ₂	0.0001	0.000	0.0002	0.000	0.0001	0.000*	0.0002	0.000*
X ₃	0.7988	0.712	1.0642	0.814	2.3139	0.382*	2.2492	0.617*
X ₄	6.1802	0.568	6.5422	0.753	-64.5335	0.192*	-2079.1850	0.720*
X ₅	-73.9797	0.000	-58.0404	0.029	-93.2557	0.000*	-64.6099	0.016*
X ₆	0.0495	0.000	0.0480	0.000	-0.0592	0.004**	0.0439	0.006*
X ₇	0.0008	0.000	0.0011	0.000	0.0010	0.000*	0.0010	0.000*
X ₈	0.0006	0.000	0.0007	0.000	0.0007	0.000*	0.0007	0.000*
X ₉	-0.0039	0.001	-0.0039	0.022	-0.0041	0.007*	-0.0033	0.096*
X ₁₀	0.2760	0.000	0.2591	0.000	0.2364	0.000*	0.2542	0.000*
X ₁₁	0.0161	0.002	0.0202	0.041	-0.2180	0.012**	-0.5744	0.036**
X ₁₂	0.0764	0.000	0.1199	0.001	0.0527	0.000*	0.1150	0.004*
X ₁₃	0.0243	0.000	0.0352	0.011	0.0158	0.000*	0.0305	0.022*
X ₁₄	0.0355	0.000	0.0389	0.000	0.0290	0.000*	0.0337	0.000*
X ₁₅	0.0813	0.000	0.0897	0.000	0.0604	0.000*	0.0704	0.000*
X ₁₆	0.1925	0.000	0.2023	0.026	0.1542	0.005*	0.2023	0.026*
X ₁₇	-0.0549	0.614	-0.0549	0.781	0.1227	0.757**	-0.0549	0.781*
X ₁₈	0.1629	0.122	0.1629	0.404	0.1072	0.349*	0.1629	0.404*
X ₁₉	-0.1150	0.297	-0.1150	0.562	-0.0937	0.439*	-0.1150	0.562*

bold - means significant at a 0.05 significance level

*Zero part

**Inflate part

Кандидати за експлораторне варијабле су: Дужина сегмента (Л), просјечан годишњи дневни саобраћај (ПДГС), % путничких аутомобила у укупном ПДГС-у (%ПА), % аутобуса у укупном ПДГС-у (%БУС), % комерцијалних возила у укупном ПДГС-у (%КОМ), постављено ограничење брзине (ОГРБРЗ), просјечан полупречник хоризонталне кривине (ПОЛКРИВ), просјечна дужина лука хоризонталне кривине (ЛУККРИВ), угао закривљености хоризонталне кривине (УГАОКРИВ), број хоризонталних кривина

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

(БРКРИВ), густина приступних путева (ГУСПУТ), број асфалтних приступних путева (ТИПАСФАЛТ), број бетонских приступних путева (ТИПБЕТОН), број травнатих или земљаних приступних путева (ТИПТРАВЗЕМ), број туцаничких приступних путева (ТИПТУЦ) и Индекс равности пута (ИРИ). Поред ових варијабли направљене су вјештачке варијабле, како би се узеле у обзир годишње промјене у независним варијаблама које су кодиране вриједностима 1 (ако се посматрани сегмент пута у одеђеној години) и 0 (ако посматрани сегмент није у одеђеној години).

У табели 6.4 приказана је прелиминарна анализа за укупан број саобраћајних незгода. Приказане су вриједности коефицијената независних варијабли са *p*-*vrijednošću*. У ЗИП и ЗИНБ моделу приказан је само дио модела („*zero*“ или „*inflate*“ дио модела), код којег је утврђена статистичка значајност неке независне варијабле или дио модела у коме независна варијабла има вишу *p*-*vrijednost*. Резултати показују да су скоро све независне варијабле повезане са фреквенцијом саобраћајних незгода, осим варијабли %ПА и %БУС, те вјештачких варијабли ГОД2015, ГОД2016 и ГОД2017, које ни у једном моделу нису статистички значајне. У сва четири тестирана модела независне варијабле: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ и ИРИ су позитивно повезане са СНТОТАЛ. У ЗИП и ЗИНБ моделу, позитивна повезаност независне варијабле се приказује позитивним предзнаком у „*zero*“ дијелу модела односно негативним предзнаком у „*inflate*“ дијелу модела. Са друге стране независне варијабле %КОМ и УГАОКРИВ су негативно повезане са СНТОТАЛ у сва четири тестирана модела. Изузетак је утицај независне варијабле УГАОКРИВ, за коју је утврђено да није статистички значајна у ЗИНБ моделу.

Табела 6.5: Прелиминарна анализа – саобраћајне незгоде са настрадалим лицима

Варијабле	СНН							
	Poisson		NB		ZIP		ZINB	
	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z
X ₁	0.1795	0.000	0.1878	0.000	0.1476	0.000*	0.1661	0.000*
X ₂	0.0001	0.000	0.0001	0.001	0.0001	0.000*	0.0002	0.000*
X ₃	1.0156	0.709	1.3212	0.781	2.3823	0.578*	214.4370	0.201**
X ₄	11.5905	0.383	12.2962	0.573	-60.0502	0.232**	9.9075	0.671*
X ₅	-69.8577	0.002	-58.9539	0.048	-103.8427	0.000*	-66.7157	0.031*
X ₆	0.0720	0.000	0.0723	0.000	0.0577	0.009*	0.0677	0.000*
X ₇	0.0008	0.000	0.0010	0.000	0.0009	0.000*	0.0009	0.001*
X ₈	0.0006	0.000	0.0007	0.000	0.0007	0.000*	0.0007	0.001*
X ₉	-0.0034	0.015	-0.0034	0.066	-0.0046	0.004*	-0.0032	0.137*
X ₁₀	0.2678	0.000	0.2601	0.000	0.2242	0.000*	0.2453	0.000*
X ₁₁	0.0143	0.033	0.0184	0.049	-0.3210	0.002**	-0.5921	0.022**
X ₁₂	0.0768	0.000	0.1235	0.001	0.0455	0.002*	0.1003	0.014*
X ₁₃	0.0205	0.000	0.0270	0.046	-0.1821	0.105**	0.0205	0.104*
X ₁₄	0.0336	0.000	0.0371	0.000	0.0266	0.000*	0.0318	0.000*
X ₁₅	0.0776	0.000	0.0863	0.000	0.0527	0.000*	0.0636	0.000*
X ₁₆	0.2042	0.002	0.2102	0.031	0.1322	0.060*	0.2102	0.031*
X ₁₇	0.0488	0.017	0.0488	0.015	0.1934	0.026*	0.1620	0.537*
X ₁₈	-0.0434	0.751	-0.0434	0.837	-0.1892	0.261*	-0.0873	0.732*
X ₁₉	-0.0062	0.9640	-0.0062	0.977	-0.0089	0.957*	-0.0062	0.977*

bold - means significant at a 0.05 significance level

*Zero part

**Inflate part

Резултати прелиминарне анализе за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима приказани су у табели 6.5. Слично као и код СНТОТАЛ скоро све независне варијабле су

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

повезане са фреквенцијом саобраћајних незгода, осим независних варијабли %ПА и %БУС, те вјештачких варијабли ГОД2016 и ГОД2017, које ни у једном моделу нису статистички значајне. Утврђено је да су у сва четири тестирана модела независне варијабле: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ и ИРИ позитивно повезане са СНН. Поред тога, утврђена је позитивна повезаност вјештачке варијабле ГОД2015 са СНН. С тим што варијабла ТИПБЕТОН није статистички значајна у ЗИП и ЗИНБ моделима, варијабла ИРИ у ЗИП моделу, а варијабла ГОД2015 у ЗИНБ моделу. Независне варијабле %КОМ и УГАОКРИВ су негативно повезане са СНН у сва четири тестирана модела. С тим, што независна варијабла УГАОКРИВ није статистички значајна у НБ и ЗИНБ моделима.

Табела 6.6: Прелиминарна анализа – саобраћајне незгоде са материјалном штетом

Варијабле	СНМАТ							
	Poisson		NB		ZIP		ZINB	
	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z	Coef.	P> z
X1	0.2004	0.000	0.2028	0.000	0.1620	0.000*	0.1795	0.000*
X2	0.0001	0.000	0.0002	0.000	0.0002	0.000*	0.0002	0.000*
X3	0.4287	0.904	0.5034	0.928	5.4514	0.606**	1.5558	0.780*
X4	-3.7958	0.839	-3.8906	0.886	-33.6892	0.149*	-3383.0470	0.266**
X5	-81.2100	0.008	-66.3720	0.073	-126.2173	0.000*	-82.5288	0.058*
X6	0.0258	0.010	0.0248	0.047	-0.0323	0.178**	0.0242	0.246*
X7	0.0008	0.000	0.0010	0.001	0.0010	0.000*	0.0010	0.001*
X8	0.0006	0.000	0.0007	0.001	0.0007	0.000*	0.0007	0.001*
X9	-0.0050	0.017	-0.0048	0.053	0.0051	0.265**	-0.0038	0.153*
X10	0.2900	0.000	0.2720	0.000	0.2583	0.000*	0.2720	0.000*
X11	0.0191	0.022	0.0206	0.046	-0.0681	0.190**	0.0193	0.180*
X12	0.0758	0.000	0.0960	0.015	-0.3119	0.048**	0.0759	0.068*
X13	0.0297	0.000	0.0423	0.010	0.0149	0.034*	0.0296	0.046*
X14	0.0387	0.000	0.0395	0.000	0.0304	0.000*	0.0358	0.000*
X15	0.0875	0.000	0.0902	0.000	0.0591	0.000*	0.0737	0.000*
X16	0.1727	0.041	0.1849	0.130	0.2019	0.123*	0.1847	0.131*
X17	-0.2429	0.193	-0.2429	0.354	-0.1580	0.546*	-0.2429	0.354*
X18	0.4953	0.003	0.4953	0.044	0.5607	0.015*	0.5147	0.124*
X19	-0.3137	0.098	-0.3137	0.235	-0.5656	0.052*	-0.3335	0.345*

bold - means significant at a 0.05 significance level

*Zero part

**Inflate part

На крају, тестирана је повезаност независних варијабли са фреквенцијом саобраћајних незгода са материјалном штетом (табела 6.6). Резултати прелиминарне анализе показују да су независне варијабле: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ, ИРИ и ГОД2016 су позитивно повезане са СНМАТ. Негативна повезаност са СНМАТ утврђена је код независних варијабли %КОМ и УГАОКРИВ. При томе, утврђено је да независне варијабле %КОМ, ОГРБРЗ, УГАОКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ИРИ и ГОД2016 нису статистички значајне у свим тестираним моделима. Нпр. независна варијабла ГУСПУТ није статистички значајна у ЗИП и ЗИНБ моделима. За независне варијабле %ПА, %БУС, ГОД2015 и ГОД2017 није утврђена статистички значајна повезаност са СНМАТ.

Након спроведене прелиминарне анализе утицаја независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода (СНТОТАЛ, СНН и СНМАТ) закључено је да се независне варијабле %ПА, %БУС и ГОД2017 искључе из даљег процеса моделовања. Наиме, наведене независне варијабле ни у једном од тестираних модела нису биле повезане са фреквенцијом

саобраћајних незгода. Преостале независне варијабле представљају потенцијалне кандидате за експлораторне варијабле, јер су биле статистички значајне барем у једном од тестираних модела.

6.5. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ УКУПНОГ БРОЈА САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА

У овом дијелу докторске дисертације представљени су резултати моделовања за четири изабрана модела из породице ГЛМ-а за укупан број саобраћајних незгода. Статистички модели, представљени у једначинама (5.1) – (5.29), су фитовани стварним подацима за државни пут Љ-12 ради развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода. Пред тога, спроведена је анализа у циљу идентификовања везе и квантификације утицаја изабраних независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Вриједности коефицијената независних варијабли са стандардним грешкама и *p-vrijednostima* за Поасонов и НБ модел приказане су у табели 6.7, а за ЗИП и ЗИНБ модел у табели 6.8. За развој предиктивног модела коришћено је 16 независних промјенљивих и то: Л, ПДГС, %КОМ, ОГБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ, ИРИ, ГОД2015 и ГОД2016. Лог-линеарни регресиони модел $\mu_i(x_i; \beta) = \exp(\sum_{i=1}^n \beta_i x_i)$ је претпостављен за очекиван број саобраћајних незгода на сегменту пута *i*. Код примјене Поасоновог, НБ, ЗИП и ЗИНБ модела утврђено је 177 независних посматрања фреквенције саобраћајних незгода.

Табела 6.7: Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНТОТАЈ

Varijable	Poisson model			NB model		
	β	S.E.	P> z	β	S.E.	P> z
Constant	-3.023365	0.7328	0.000	-2.818805	0.7770	0.000
x ₁	0.087706	0.0221	0.000	0.101423	0.0268	0.000
x ₂	0.000117	0.0000	0.000	0.000110	0.0000	0.000
x ₅	-43.650540	22.6626	0.054	-43.641320	22.6627	0.058
x ₆	0.023593	0.0089	0.008	0.021571	0.0095	0.023
x ₇	-0.000959	0.0062	0.878	-0.000948	0.0061	0.778
x ₈	0.000770	0.0044	0.860	0.000760	0.0043	0.760
x ₉	-0.000326	0.0016	0.836	-0.000315	0.0015	0.736
x ₁₀	0.133209	0.0300	0.000	0.117095	0.0358	0.001
x ₁₁	0.033598	0.0060	0.000	0.031953	0.0070	0.000
x ₁₂	0.063031	0.0272	0.061	0.066136	0.0272	0.083
x ₁₃	-0.002397	0.0135	0.859	-0.002400	0.0135	0.864
x ₁₄	0.004926	0.0087	0.573	0.004927	0.0087	0.574
x ₁₅	0.053435	0.0208	0.064	0.055535	0.0218	0.087
x ₁₆	0.158940	0.0613	0.010	0.150191	0.0671	0.025
x ₁₇	0.092711	0.1295	0.474	0.099689	0.1545	0.519
x ₁₈	0.212578	0.1253	0.090	0.179738	0.1510	0.234
Parametar disperzije	-			0.122		

У овом истраживању коришћено је неколико мјера за тестирање модела тачније за провјеру слагања развијеног модела са стварним подацима. У табели 6.9 дате су вриједности индекса подесности за омјер лог-вјероватноће (изражен кроз *McFadden* ρ^2 (једн. (5.31)), апсолутно средње одступање (једн. (5.34)), средњу квадратну грешку предвиђања (једн. (5.36)) и информационе критеријуме (AIC (једн. (5.37)) и BIC (једн. (5.38))). Ове мјере су

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

коришћене за провјеру укупног слагања развијених модела, поређење модела и провјеру предиктивне способности развијених модела. Додатна провјера, у смислу слагања са стварним подацима, извршена је помоћу Вуонг теста (једн. (5.39)), тј. избор између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделом.

Табела 6.8: Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНТОТАЛ

Varijable	ZIP model			ZINB model		
	β	S.E.	$P> z $	β	S.E.	$P> z $
Count						
Constant	-1.273521	0.9380	0.175	-1.222069	1.0184	0.230
x ₁	0.071894	0.0264	0.006	0.087570	0.0252	0.001
x ₂	0.000124	0.0000	0.000	0.000122	0.0000	0.000
x ₅	-51.05966	22.74166	0.075	-46.936790	22.5076	0.067
x ₆	0.002880	0.0115	0.802	0.001977	0.0121	0.871
x ₇	-0.0067985	0.006277	0.279	-0.006710	0.0062	0.282
x ₈	0.0050809	0.0044011	0.248	0.004993	0.0044	0.253
x ₉	-0.0033176	0.0017439	0.057	-0.003301	0.0017	0.058
x ₁₀	0.142252	0.0326	0.000	0.126339	0.0337	0.000
x ₁₁	0.032505	0.0069	0.000	0.033182	0.0071	0.000
x ₁₂	0.058121	0.0282	0.059	0.052259	0.0276	0.058
x ₁₃	0.007687	0.0137	0.573	0.009420	0.0136	0.489
x ₁₄	0.010689	0.0088	0.224	0.009313	0.0088	0.288
x ₁₅	0.032864	0.0217	0.131	0.032777	0.0214	0.125
x ₁₆	0.147392	0.0635	0.020	0.138804	0.0668	0.038
x ₁₇	0.123170	0.1409	0.382	-1.111800	0.9942	0.263
x ₁₈	0.220591	0.1346	0.101	-1.044168	1.0181	0.305
Inflate						
Constant	2.084249	4.9658	0.038	2.104359	4.6790	0.046
x ₁	-1.496085	1.4624	0.306	-2.300766	1.7572	0.190
x ₂	-0.0000259	0.0001594	0.871	0.000030	0.0001	0.827
x ₅	-1837.631	987.7326	0.089	-1591.905	926.7726	0.086
x ₆	-0.0692756	0.0615992	0.261	-0.113760	0.0652	0.081
x ₇	-0.3569368	0.4556203	0.433	-0.758737	0.8539	0.374
x ₈	0.2764854	0.33005	0.402	0.530235	0.5931	0.371
x ₉	-0.8368682	0.703022	0.234	-1.020072	1.0021	0.309
x ₁₀	0.5900773	0.7187271	0.412	0.276742	0.9915	0.78
x ₁₁	0.0304361	0.0727444	0.676	0.075079	0.0751	0.317
x ₁₂	19.82701	3.394645	0.309	-2.819422	9.1715	0.759
x ₁₃	-14.26671	11.78291	0.226	-7.189599	8.4701	0.396
x ₁₄	7.118054	2.023628	0.94	-12.153890	13.8253	0.379
x ₁₅	-1.276789	1.726585	0.46	-18.652950	15.8206	0.238
x ₁₆	-0.1985973	0.5081259	0.696	-0.507277	0.4828	0.293
x ₁₇	0.2768451	1.102225	0.802	0.093874	1.2694	0.941
x ₁₈	0.1720066	1.11257	0.877	-0.281478	1.2653	0.824
Parametar disperzije	-			0.060		

У Поасоновом и НБ моделу сви коефицијенти независних варијабли су имали очекивани предзнак. Са друге стране, у ЗИП и ЗИНБ моделу неке варијабли су имале исти предзнак у „Count“ („Zero“) и „Inflate“ дијелу модела. Наиме, као што су независне варијабли %КОМ, ПОЛКРИВ и др., при чему долази до проблема у интерпретацији добијених резултата. Нпр. са смањењем полупречника хоризонталне кривине истовремено долази до повећања броја

нула са једне стране, а повећања броја саобраћајних незгода са друге стране. Проблем у интерпретацији добијених резултата у моделима са вишком нула је наглашен у истраживању [Lord et al. \(2005\)](#). На одсуство временских корелација у овом сету података указује статистичка значајност вјештачких варијабли ГОД2015 ($p > .05$) и ГОД2016 ($p > .05$), које нису биле статистички значајне ни у једном моделу. Поред њих, утврђено је да у свим моделима независне варијабле: %КОМ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ и ТИПТУЦ нису статистички значајне. У моделовању фреквенције саобраћајних незгода прво је примјењен Поасонов регресиони модел, у коме је статистички значајно било шест независних варијабли и то: Л ($\beta = 0.087706$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000117$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.023593$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.133209$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.033598$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.158940$; $p < .05$). Све независне варијабле су имале позитиван предзнак, а повећање у вриједностима независних варијабли резултује са повећањем фреквенције саобраћајних незгода. Након Поасоновог модела, тестиран је НБ модел код кога је такође статистички значајно шест независних варијабли, које су имале исти предзнак, али различите вриједности коефицијената (Л ($\beta = 0.101423$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000110$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.021571$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.117095$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.031953$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.150191$; $p < .05$)). Такође, повећање у вриједностима независних варијабли резултује са повећањем фреквенције саобраћајних незгода. Вриједност дисперзионог параметра ($\alpha = 0.122$) указује да би НБ модел могао бити адекватнији од Поасоновог модела. Затим су тестирани модели са вишком нула тј. ЗИП и ЗИНБ модели. У „*Inflate*“ дијелу модела са вишком нула ни једна независна варијабла није била статистички значајна, што указује на неадекватност модела са вишком нула за овај скуп података. Ово је последица малог броја нула у скупу података (30,51%). У ЗИП моделу пет независних варијабли је било статистички значајно у „*Count*“ дијелу модела и то: Л ($\beta = 0.071894$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000124$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.142252$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.032505$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.147392$; $p < .05$). Слично, у ЗИНБ моделу статистички значајно је пет независних варијабли, које су имале исти предзнак, али различите вриједности коефицијената (Л ($\beta = 0.087570$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000122$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.126339$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.033182$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.138804$; $p < .05$)). Вриједност дисперзионог параметра ($\alpha = 0.060$) указује да би ЗИНБ модел могао бити адекватнији од ЗИП модела у смислу слагања са стварним подацима.

Табела 6.9: Индекси подесности и поређење модела – СНТОТАЛ

	Poisson	NB	ZIP	ZINB
Log likelihood at convergence	-294.81	-292.39	-286.74	-285.84
Log likelihood with constant only	-444.19	-441.83	-385.08	-395.65
ρ^2	0.336	0.338	0.255	0.277
AIC	607.61	604.78	609.48	608.69
BIC	636.20	635.54	666.65	660.04
MAD	0.24	0.22	0.82	0.89
MSPE	10.17	8.94	120.42	140.19
Young test	Poisson	ZIP	V = 1.71	
	NB	ZINB	V = 1.60	

Резултати показују да НБ модел резултује са најбољим вриједностима индекса подесности. *McFadden* ρ^2 има најмању вриједност у моделима са вишком нула тј. ЗИП (0.255) и ЗИНБ (0.277) моделима, која се повећава на 0.336 Поасоновом моделу. Највећу вриједност *McFadden* ρ^2 има НБ модел (0.338), што указује на најбоље слагање модела са стварним подацима. Вуонг тест је показао да су за дати скуп података Поасонов и НБ модел

супериорнији у односу на ЗИП и ЗИНБ модел, са вриједношћу тестова $V=1.71$ и $V=1.60$ респективно. Ради упоређивања конкурентских модела на основу информационих критеријума, исти сет независних варијаби је морао бити примјењен у свим моделима. Најмању вриједност информационих критеријума је имао НБ модел тј. АИС (604.78) и ВИС (635.54). Затим слиједи Поасонов модел (АИС=607.61; ВИС =636.20) и ЗИНБ модел (АИС=608.69; ВИС=660.04). Највећу вриједност АИС и ВИС је имао ЗИП модел (АИС=609.48; ВИС=666.65). На основу наведених тестова утврђено је да НБ модел има најбоље перформансе и најбоље вриједности индекса подесности. На основу вриједности МАД и MSPE утврђено је да НБ модел има највећу предиктивну моћ у односу на остале тестиране моделе. Вриједност МАД у НБ моделу је најмања (0.22), затим слиједи Поасонов модел (0.24) и модели са вишком нула (ЗИП=0.82 и ЗИНБ=0.89). Слично и код MSPE, НБ модел има најмању вриједност (8.94), а затим слиједи Поасонов модел (10.17). Модели са вишком нула су далеко непрецизнији у односу на претходна два модела, тако да ЗИП модел има вриједност MSPE 120.42, а ЗИНБ модел 140.19. резултати откривају очигледну адекватност НБ модела у смислу тачности предвиђања у односу на остале моделе.

На основу утврђених резултата моделовања за предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима изабран је НБ модел.

6.5.1. Једначина модела

Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима представљен је једначином:

$$\hat{y}_1 = \exp[-2.818805 + 0.101423 * x_1 + 0.000110 * x_2 + 0.021571 * x_6 + 0.117095 * x_{10} + 0.031953 * x_{11} + 0.150191 * x_{16}] \quad (6.1)$$

гдје је \hat{y}_1 предвиђени број саобраћајних незгода годишње; x_1 – дужина сегмента; x_2 – ПГДС; x_6 – постављено ограничење брзине; x_{11} – број хоризонталних кривина у сегменту; x_{12} – густина приступних путева; x_{16} – индекс равности пута.

Примјер примјене предиктивног модела: На путном сегменту са сљедећим карактеристикама: дужина сегмента је 3,38 km, ПГДС је 3.785,80 voz/dan, постављено ограничење брзине је 60 km/h, 2 хоризонталне кривине у сегменту, густина приступних путева је 8 puteva/km и индекс равности пута износи 2,47 процјењује се 1,1 саобраћајна незгода годишње.

6.5.2. Анализа еластичности

Идентификација везе и квантификација утицаја независних промјеливих на зависну промјенљиву извршена је процјеном релативног утицаја независних промјенљивих. Интерпретација ефеката процијењених параметара експлораторних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода утврђена је израчунавањем еластичности. Анализом еластичности утврђује се смјер и интензитет дјеловања независних промјенљивих. Еластичности (једн. (6.2)) мјере ефекат од 1% промјене у експлораторној варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Еластичност је дефинисана као пропорционална промјена у фреквенцији саобраћајних незгода која је резултат пропорционалне промјене у датом атрибуту i , а дата је сљедећим изразом ([Washington et al., 2011](#)):

$$E_{x_{itj}}^{\lambda_i} = \frac{\partial \lambda_{it}}{\partial x_{itj}} \frac{x_{itj}}{\lambda_{it}} \quad (6.2)$$

гдје је $E_{x_{itj}}^{\lambda_i}$ – коефицијент еластичности j -те експлораторне варијабле, x_{itj} је вриједност j -те експлораторне варијабле за сегмент i у години t .

Табела 6.10: Анализа еластичности (НБ модел) – СНТОТАЛ

Varijable	Mean	Koeficijent	Koeficijent elastičnosti
x ₁	3.38	0.1014	0.34
x ₂	3785.72	0.0001	0.41
x ₆	74.07	0.0216	1.60
x ₁₀	1.64	0.1171	0.19
x ₁₁	7.46	0.0320	0.24
x ₁₆	2.47	0.1500	0.37

У табели 6.10. приказани су резултати анализе еластичности на основу НБ модела. Шест независних варијабли је статистички значајно у НБ моделу. Независна варијабла Л је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода, што указује да са повећањем Л од 10% долази до повећања у фреквенцији саобраћајних незгода око 3,4%. Коефицијент еластичности независне варијабле ПГДС је 0.41, што указује да повећање од 10% у ПГДС-у води до повећања за 4,1% у фреквенцији саобраћајних незгода. Такође, постављено ограничење брзине је позитивно повезано са фреквенцијом саобраћајних незгода, те са повећањем од 10% код независне варијабле ОГРБРЗ узрокује повећање од 16% у фреквенцији саобраћајних незгода. Процјене еластичности предлажу да је повећање у ГУСПУТ за 10% повезано са повећањем у фреквенцији саобраћајних незгода за 2,4%. Коефицијент еластичности независне варијабле ИРИ је 0.37, што сугерише да повећање од 10% у вриједности индекса равности пута води до повећања од 3,7% у фреквенцији саобраћајних незгода. Најнижу вриједност коефицијент еластичности има независна варијабла БРКРИВ, који износи 0.19, што сугерише да повећање од 10% у БРКРИВ води до повећања за 1,9% у фреквенцији саобраћајних незгода.

6.6. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА СА НАСТРАДАЛИМ ЛИЦИМА

Резултати моделовања за четири изабрана модела из породице ГЛИМ-а за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима приказани су у овом дијелу докторске дисертације. Такође, статистички модели, представљени у једначинама (5.1) – (5.29), су фитовани стварним подацима за државни пут ИБ-12 ради развоја предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Након тога, спроведена је анализа у циљу идентификовања везе и квантификације утицаја изабраних независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Вриједности коефицијената независних варијабли са стандардним грешкама и *p-vrijednostima* за Поасонов и НБ модел приказане су у табели 6.11, а за ЗИП и ЗИНБ модел у табели 6.12. Исти сет независних промјенљивих коришћених код СНТОТАЛ употријебљен је и за развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Коришћено је укупно 16 независних промјенљивих и то: Л, ПДГС, %КОМ, ОГРБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ, ИРИ, ГОД2015

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

и ГОД2016. Као и код СНТОТАЛ, лог-линеарни регресиони модел $\mu_i(x_i; \beta) = \exp(\sum_{i=1}^n \beta_i x_i)$ је претпостављен за очекиван број саобраћајних незгода са настрадалим лицима на сегменту пута i . Код примјене Поасоновог, НБ, ЗИП и ЗИНБ модела утврђено је 177 независних посматрања фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима.

За провјеру слагања развијеног модела са стварним подацима коришћене су мјере за тестирање модела, као у поглављу 6.5. У табели 6.13 дате су вриједности индекса подесности за омјер лог-вјероватноће (изражен кроз *McFadden* ρ^2 (једн. (5.31)), апсолутно средње одступање (једн. (5.34)), средњу квадратну грешку предвиђања (једн. (5.36)) и информационе критеријуме (AIC (једн. (5.37)) и BIC (једн. (5.38))). Ове мјере су коришћене за провјеру укупног слагања развијених модела фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима, поређење модела и провјеру предиктивне способности развијених модела. Додатна провјера, у смислу слагања са стварним подацима, извршена је помоћу Вуонг теста (једн. (5.39)), тј. избор између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделом.

Табела 6.11: Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНН

Variable	Poisson model			NB model		
	β	S.E.	P> z	β	S.E.	P> z
Constant	-5.714757	1.1457	0.000	-5.693608	1.1402	0.000
x ₁	0.055114	0.0281	0.050	0.055311	0.0281	0.049
x ₂	0.000122	0.0000	0.000	0.000121	0.0000	0.000
x ₅	-45.494400	28.8860	0.115	-40.450320	27.4975	0.141
x ₆	0.054712	0.0140	0.000	0.054595	0.0140	0.000
x ₇	0.002352	0.0075	0.755	-0.003319	0.0066	0.616
x ₈	-0.001397	0.0053	0.791	0.002496	0.0046	0.589
x ₉	-0.000084	0.0020	0.966	-0.001148	0.0019	0.544
x ₁₀	0.138074	0.0375	0.000	0.138047	0.0375	0.000
x ₁₁	0.029138	0.0081	0.000	0.029125	0.0081	0.000
x ₁₂	0.096922	0.0350	0.506	0.064948	0.0286	0.223
x ₁₃	-0.008947	0.0174	0.608	-0.011872	0.0159	0.456
x ₁₄	0.009070	0.0108	0.400	0.010631	0.0106	0.315
x ₁₅	0.059088	0.0262	0.084	0.024536	0.0227	0.280
x ₁₆	0.196585	0.0758	0.010	0.196377	0.0758	0.010
x ₁₇	0.019343	0.1576	0.902	0.056523	0.1558	0.717
x ₁₈	-0.027749	0.1583	0.861	-0.029237	0.1581	0.853
Parametar disperzije	-	-	-	0.086	-	-

У прва два тестирана модела тј. Поасоновом и НБ моделу скоро сви коефицијенти независних варијабли су имали очекивани предзнак. Изузетак су независне промјенљиве у Поасоновом моделу, тачније ПОЛКРИВ (позитиван предзнак), ЛУККРИВ (негативан предзнак) и ГОД2016 (негативан предзнак). У НБ моделу само је вјештачка варијабла ГОД2016 имала супротан предзнак од очекиваног (негативан предзнак). У ЗИП и ЗИНБ су утврђени слични проблеми, претходно евидентирани код СНТОТАЛ, јер су неке варијабле имале исти предзнак у „Count“ („Zero“) и „Inflate“ дијелу модела. Наиме, као што су независне варијабле ОГРБРЗ, ТИПТРАВЗЕМ и др., при чему долази до проблема у интерпретацији добијених резултата. Нпр. са повећањем постављеног ограничења брзине истовремено долази до повећања броја нула са једне стране, а повећања броја саобраћајних незгода са друге стране. За моделе фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима утврђено је одсуство временских корелација у сету података, на што указује статистичка значајност вјештачких варијабли ГОД2015 ($p > .05$) и ГОД2016 ($p > .05$), које нису биле статистички значајне ни у једном моделу. Поред њих, утврђено је да у свим моделима

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

независне варијабле: %КОМ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ и ТИПТУЦ нису статистички значајне. Такође, утврђено је да независна варијабла Л није статистички значајна у Поасоновом моделу ($p > .05$).

Табела 6.12: Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНН

Varijable	ZIP model			ZINB model		
	β	S.E.	$P > z $	β	S.E.	$P > z $
Count						
Constant	-6.258068	1.2140	0.000	-5.092012	1.1761	0.000
X ₁	0.060750	0.0278	0.029	0.037556	0.0288	0.193
X ₂	0.000142	0.0000	0.000	0.000107	0.0000	0.000
X ₅	-71.000060	24.5845	0.094	-72.826620	29.2852	0.073
X ₆	0.065794	0.0150	0.000	0.048940	0.0143	0.001
X ₇	-0.003396	0.0074	0.644	0.004169	0.0077	0.588
X ₈	0.003045	0.0052	0.555	-0.002802	0.0054	0.602
X ₉	-0.000283	0.0021	0.893	-0.001658	0.0020	0.410
X ₁₀	0.097540	0.0397	0.014	0.153725	0.0377	0.000
X ₁₁	0.024284	0.0084	0.004	0.023791	0.0083	0.004
X ₁₂	0.048127	0.0289	0.096	0.070843	0.0286	0.093
X ₁₃	-0.013882	0.0159	0.383	-0.029831	0.0169	0.078
X ₁₄	0.019584	0.0105	0.063	0.013631	0.0108	0.205
X ₁₅	0.023257	0.0233	0.318	0.034794	0.0232	0.134
X ₁₆	0.140127	0.0758	0.064	0.205671	0.0735	0.005
X ₁₇	-0.006130	0.1636	0.970	0.077194	0.1558	0.620
X ₁₈	-0.165814	0.1633	0.310	-0.000194	0.1581	0.999
Inflate						
Constant	-17.170400	19.4335	0.377	111.240500	246.3069	0.652
X ₁	0.172875	0.2677	0.518	-33.879820	54.5353	0.534
X ₂	0.000388	0.0003377	0.251	-0.037835	0.0611	0.536
X ₅	823.1951	976.3764	0.399	-1970.78	2046.61	0.336
X ₆	0.2735403	0.254029	0.282	0.562919	1.1823	0.634
X ₇	-0.0133197	0.5509234	0.981	9.106378	2.8227	0.724
X ₈	0.0194139	0.3832653	0.96	-6.396603	1.0396	0.723
X ₉	0.0404363	0.0698668	0.563	-0.871524	1.3048	0.504
X ₁₀	-1.898693	1.17115	0.105	21.294020	35.8473	0.552
X ₁₁	-0.3299339	0.2303232	0.152	-19.347870	29.9454	0.518
X ₁₂	3.577483	5.807929	0.538	3.258900	15.3580	0.832
X ₁₃	-4.813307	8.086857	0.552	-17.074930	28.1962	0.545
X ₁₄	0.0909573	1.095751	0.934	8.907982	9.7804	0.362
X ₁₅	0.0691498	2.454578	0.978	-5.275581	18.3975	0.774
X ₁₆	-1.804523	1.013772	0.075	7.733851	14.3615	0.59
X ₁₇	1.352105	1.321961	0.306	4.635408	22.8785	0.839
X ₁₈	0.152825	0.1395529	0.273	17.808950	41.2595	0.666
Parametar disperzije	-			0.046		

У моделовању саобраћајних незгода са настрадалим лицима прво је примјењен Поасонов регресиони модел, у коме је статистички значајно пет независних варијабли и то: ПДГС ($\beta = 0.000122$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.054712$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.138074$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.029138$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.196585$; $p < .05$). Све независне варијабле су имале позитиван предзнак, а повећање у вриједностима независних варијабли доприноси повећању фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Након Поасоновог

модела, тестиран је НБ модел код кога је статистички значајно шест независних варијабли, које су имале позитиван предзнак (Л ($\beta = 0.055311$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000121$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.054595$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.138047$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.029125$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.196377$; $p < .05$)). Резултати указују да повећање у вриједностима независних варијабли доприноси повећању фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Поново, вриједност дисперзионог параметра ($\alpha=0.086$) указује да би НБ модел могао бити адекватније рјешење од Поасоновог модела. Посљедњи су тестирани модели са вишком нула тј. ЗИП и ЗИНБ модели. У „Inflate“ дијелу модела са вишком нула ни једна независна варијабла није била статистички значајна, што указује на неадекватност модела са вишком нула за овај скуп података. Ово је посљедица малог броја нула у скупу података (40,68%). У ЗИП моделу пет независних варијабли је било статистички значајно у „Count“ дијелу модела и то: Л ($\beta = 0.060750$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000142$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.065794$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.097540$; $p < .05$) и ГУСПУТ ($\beta = 0.024284$; $p < .05$). У ЗИНБ моделу сатистички значајно је пет независних варијабли, које су имале позитиван предзнак и то: ПДГС ($\beta = 0.000107$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = 0.048940$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.153725$; $p < .05$), ГУСПУТ ($\beta = 0.023791$; $p < .05$) и ИРИ ($\beta = 0.205671$; $p < .05$). На адекватност ЗИНБ модела у односу на ЗИП модел указује вриједност дисперзионог параметра ($\alpha=0.046$).

Табела 6.13: Индекси подесности и поређење модела – СНН

	Poisson	NB	ZIP	ZINB
Log likelihood at convergence	-233.94	-234.10	-227.68	-229.99
Log likelihood with constant only	-325.42	-336.46	-277.96	-269.06
ρ^2	0.28	0.30	0.18	0.15
AIC	485.89	484.20	489.36	485.30
BIC	514.47	509.61	543.35	545.65
MAD	0.36	0.00	0.29	0.23
MSPE	23.57	0.00	14.69	9.22
Young test	Poisson NB	ZIP ZINB	V = 2.03 V = 3.90	

Најбоље слагање модела са стварним подацима остварено је код НБ модела, који је имао вриједност *McFadden* ρ^2 од 0.30. Поасонов модел се налази на другом мјесту у погледу слагања модела са стварним подацима (0.28). Најмања вриједност *McFadden* ρ^2 је остварена у моделима са вишком нула тј. ЗИП (0.18) и ЗИНБ (0.15) моделима. Додатно поређење између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделима извршено је помоћу Вуонг теста, који је потврдио да су за дати скуп података Поасонов и НБ модел супериорнији у односу на ЗИП и ЗИНБ модел, са вриједношћу тестова $V=2.03$ и $V=3.90$ респективно. Ради упоређивања конкурентских модела коришћени су информациони критеријуми (AIC и BIC). Најмању вриједност информационих критеријума имао је НБ модел тј. AIC (484.20) и BIC (509.61). Поасонов модел је имао боље перформансе у односу на ЗИП и ЗИНБ према AIC критеријуму (485.89), али је имао незнатно лошије перформансе у односу на ЗИНБ модел према BIC критеријуму (514.47). Са друге стране, ЗИП модел је имао боље перформансе према AIC критеријуму (489.36) од ЗИНБ модела, али лошије према BIC критеријуму (543.35). С обзиром, да је НБ модел показао најбоље перформансе и релативно мале разлике између ЗИП и ЗИНБ модела, даљу анализу њихових перформанси, у погледу информационих критеријума, није било потребно радити. Највећу предиктивну моћ у односу на остале тестиране моделе, на основу вриједности MAD и MSPE, остварио је НБ модел. Вриједност MAD у НБ моделу је најмања (0.00), затим слиједи модели са вишком

нула (ЗИНБ=0.23 и ЗИП=0.29). Најлошије перформансе у погледу предвиђања будућих саобраћајних незгода показао је Поасонов модел (0.36). Слично и код MSPE, НБ модел има најмању вриједност (0.00), а затим слиједе модели са вишком нула (ЗИНБ=9.22 и ЗИП=14.69). Поново, Поасонов модел је показао најлошије перформансе (23.57). Резултати показују веома добру адекватност НБ модела, у смислу тачности предвиђања, јер је остварио скоро потпуно слагање са стварним подацима о саобраћајним незгодама са настрадалим лицима.

На основу утврђених резултата моделовања за предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима на руралним путевима изабран је НБ модел.

6.6.1. Једначина модела

Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима на руралним путевима представљен је једначином:

$$\hat{y}_1 = \exp[-5.693608 + 0.055311 * x_1 + 0.000121 * x_2 + 0.054595 * x_6 + 0.138047 * x_{10} + 0.029125 * x_{11} + 0.196377 * x_{16}] \quad (6.3)$$

гдје је \hat{y}_1 предвиђени број саобраћајних незгода са настрадалим лицима годишње; x_1 – дужина сегмента; x_2 – ПГДС; x_6 – постављено ограничење брзине; x_{11} – број хоризонталних кривина у сегменту; x_{12} – густина приступних путева; x_{16} – индекс равности пута.

Примјер примјене предиктивног модела: На путном сегменту са сљедећим карактеристикама: дужина сегмента је 3,38 km, ПГДС је 3.785,80 voz/dan, постављено ограничење брзине је 60 km/h, 2 хоризонталне кривине у сегменту, густина приступних путева је 8 puteva/km и индекс равности пута износи 2,47 процјењује се 0,46 саобраћајних незгода са настрадалим лицима годишње.

6.6.2. Анализа еластичности

Анализа утицаја независних промјенљивих на фреквенцију саобраћајних незгода са настрадалим лицима извршена је процјеном релативног утицаја независних промјенљивих. Интерпретација ефеката процијењених параметара експлораторних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода са настрадалим лицима утврђена је израчунавањем еластичности (једн. (6.2)).

Табела 6.14: Анализа еластичности (НБ модел) – СНН

Varijable	Mean	Koeficijent	Koeficijent elastičnosti
x_1	3.38	0.0553	0.19
x_2	3785.72	0.0001	0.46
x_6	74.07	0.0546	4.04
x_{10}	1.64	0.1380	0.23
x_{11}	7.46	0.0291	0.22
x_{16}	2.47	0.2000	0.49

У табели 6.14. приказани су резултати анализе еластичности на основу НБ модела. Укупно је шест независних варијабли статистички значајно у НБ моделу. Коefицијент еластичности независне варијабле L је 0.19, што указује да повећање од 10% у дужини сегмента води до повећања за 1,9% у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим

лицима. Независна варијабла ПГДС је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода, што указује да са повећањем ПГДС-а од 10% долази до повећања у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим лицима око 4,6%. Највећу вриједност коефицијента еластичности има независна варијабла ОГРБРЗ (4.04), што сугерише да повећање од 10% у постављеном ограничењу брзине води до повећања од 40,4% у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Такође, густина приступних путева је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода са настрадалим лицима, те са повећањем од 10% код независне варијабле ГУСПУТ узрокује повећање од 2,3% у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим лицима. Процјене еластичности предлажу да је повећање у БРКРИВ за 10% повезано са повећањем у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 2,2%. Независна варијабла ИРИ је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода, што указује да са повећањем од 10% у вриједности индекса равности пута долази до повећања у фреквенцији саобраћајних незгода са настрадалим лицима за 4,9%.

6.7. ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛИ ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА СА МАТЕРИЈАЛНОМ ШТЕТОМ

Након што су утврђени предиктивни модели за укупан број саобраћајних незгода и саобраћајне незгоде са настрадалим лицима развијен је предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом. Резултати моделовања за Поасонов и НБ модел су представљени у табели 6.15, а за ЗИП и ЗИНБ модел у табели 6.16. У наведеним табелама су приказане вриједности коефицијената независних варијабли са стандардним грешкама и *p-vrijednostima*. Код примјене модела утврђено је 177 независних посматрања фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом.

Табела 6.15: Процјена параметара у Поасоновом и НБ моделу – СНМАТ

Variable	Poisson model			NB model		
	β	S.E.	P> z	β	S.E.	P> z
Constant	-1.660886	0.9415	0.021	-1.916345	0.9779	0.001
x ₁	0.133440	0.0359	0.000	0.147189	0.0398	0.000
x ₂	0.000114	0.0000	0.001	0.000109	0.0000	0.005
x ₅	-42.959590	36.4338	0.238	-38.629770	37.7589	0.306
x ₆	-0.009936	0.0117	0.395	-0.011523	0.0121	0.340
x ₇	-0.013803	0.0106	0.193	-0.013312	0.0109	0.221
x ₈	0.009654	0.0074	0.193	0.009312	0.0076	0.220
x ₉	-0.000941	0.0027	0.723	-0.000913	0.0027	0.736
x ₁₀	0.128392	0.0499	0.010	0.111086	0.0539	0.039
x ₁₁	0.039806	0.0090	0.000	0.038397	0.0099	0.000
x ₁₂	-0.009333	0.0439	0.832	-0.003418	0.0463	0.941
x ₁₃	0.023581	0.0223	0.290	0.020198	0.0236	0.393
x ₁₄	-0.002112	0.0148	0.886	-0.001030	0.0153	0.946
x ₁₅	0.029884	0.0354	0.399	0.030267	0.0363	0.404
x ₁₆	0.095036	0.1018	0.350	0.084160	0.1067	0.430
x ₁₇	0.065631	0.2266	0.772	0.085437	0.2479	0.730
x ₁₈	0.514808	0.2048	0.712	0.487002	0.2280	0.633
Parametar disperzije	-			0.137		

Лог-линеарни регресиони модел $\mu_i(x_i; \beta) = \exp(\sum_{i=1}^n \beta_i x_i)$ је претпостављен за очекиван број саобраћајних незгода са материјалном штетом на сегменту пута *i*. Сет од 16 независних

6. Развој предиктивног модела за процјену фреквенције саобраћајних незгода

промјенљивих је коришћен у развоју предиктивног модела и то: Л, ПДГС, %КОМ, ОГРБРЗ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПГУЦ, ИРИ, ГОД2015 и ГОД2016.

Табела 6.16: Процјена параметара у ЗИП и ЗИНБ моделима – СНМАТ

Varijable	ZIP model			ZINB model		
	β	S.E.	$P> z $	β	S.E.	$P> z $
Count						
Constant	0.861373	1.0738	0.422	0.536601	1.0313	0.603
X ₁	0.085981	0.0406	0.034	0.116860	0.0399	0.003
X ₂	0.000137	0.0000	0.000	0.000071	0.0000	0.056
X ₅	-76.274460	31.5349	0.056	-62.212260	32.7873	0.058
X ₆	-0.036551	0.0143	0.010	-0.061502	0.0129	0.014
X ₇	-0.009721	0.0106	0.359	-0.003610	0.0111	0.744
X ₈	0.006873	0.0075	0.361	0.002691	0.0078	0.731
X ₉	-0.001321	0.0033	0.692	0.000031	0.0035	0.993
X ₁₀	0.147146	0.0517	0.004	0.150146	0.0529	0.005
X ₁₁	0.028959	0.0094	0.002	0.030499	0.0097	0.002
X ₁₂	0.018864	0.0377	0.617	0.016204	0.0436	0.710
X ₁₃	0.006993	0.0205	0.733	0.001388	0.0231	0.952
X ₁₄	0.016974	0.0120	0.157	0.017227	0.0138	0.212
X ₁₅	-0.006966	0.0330	0.833	0.011349	0.0351	0.746
X ₁₆	0.103382	0.1177	0.380	0.074932	0.1114	0.501
X ₁₇	-0.202278	0.2497	0.418	-0.024784	0.2465	0.920
X ₁₈	0.381626	0.2196	0.082	0.363546	0.2273	0.110
Inflate						
Constant	6.919332	4.1632	0.097	286.410300	284.0862	0.313
X ₁	-1.196881	1.1120	0.048	-103.440400	109.4956	0.345
X ₂	-0.0000878	0.0001541	0.569	-0.036299	0.0392	0.354
X ₅	3012.706	2784.679	0.279	4028.856000	4132.2320	0.33
X ₆	-0.0361717	0.0426106	0.396	-1.064094	0.9962	0.285
X ₇	-6.428075	6.810355	0.345	-4.390528	70.1056	0.95
X ₈	4.289821	4.462571	0.336	2.839940	48.0744	0.953
X ₉	0.4319204	0.7143781	0.545	1.713362	7.1939	0.812
X ₁₀	0.7397723	0.6731526	0.272	94.727720	101.3040	0.35
X ₁₁	-0.0548244	0.0575754	0.341	-6.005372	7.5453	0.426
X ₁₂	-72.8727	81.68725	0.372	-65.335270	500.3484	0.896
X ₁₃	26.54035	23.30912	0.255	16.776520	153.7106	0.913
X ₁₄	-1.671726	6.063017	0.783	-11.349880	11.5975	0.328
X ₁₅	-35.19639	39.92386	0.378	3.700227	15.0957	0.806
X ₁₆	-0.2713884	0.4209323	0.519	-8.790864	6.9768	0.208
X ₁₇	-2.953022	1.519182	0.052	50.366280	46.3799	0.278
X ₁₈	-1.752482	1.182701	0.138	-57.504240	55.1174	0.297
Parametar disperzije	-			0.163		

Мјере за тестирање модела коришћене у потпоглављима 6.5 и 6.6 примјењене су и код саобраћајних незгода са материјалном штетом. Вриједности индекса подесности за омјер лог-вјероватноће (изражен кроз *McFadden* ρ^2 (једн. (5.31)), апсолутно средње одступање (једн. (5.34)), средњу квадратну грешку предвиђања (једн. (5.36)) и информационе критеријуме (AIC (једн. (5.37)) и BIC (једн. (5.38))) су дате у табели 6.17. Ове мјере су коришћене за провјеру укупног слагања развијених модела, поређење модела и провјеру

предиктивне способности развијених модела. Додатна провјера, у смислу слагања са стварним подацима, извршена је помоћу Вуонг теста (једн. (5.39)), тј. избор између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделом.

Коефицијенти независних варијабли Л, ПДГС, %КОМ, ПОЛКРИВ, УГАОКРИВ, БРКРИВ, ГУСПУТ, ТИПТУЦ, ИРИ, ГОД2015 и ГОД2016 су имали очекиван предзнак у Поасоновом и НБ моделу. Са друге стране, коефицијенти независних варијабли ОГРБРЗ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН и ТИПТРАВЗЕМ имали су супротан предзнак од очекиваног код саобраћајних незгода са материјалном штетом. Проблеми у интерпретацији резултата код модела са вишком нула утврђени код СНОТАЛ и СНН, евидентирани су и код саобраћајних незгода са материјалном штетом. Наиме, неке варијабле имале су исти предзнак у „Count“ („Zero“) и „Inflate“ дијелу модела. Нпр, независна варијабла ОГРБРЗ, јер са повећањем постављеног ограничења брзине истовремено долази до повећања броја нула са једне стране, а повећања броја саобраћајних незгода са друге стране. Резултати истраживања показују да независне варијабле: %КОМ, ПОЛКРИВ, ЛУККРИВ, УГАОКРИВ, ТИПАСФАЛТ, ТИПБЕТОН, ТИПТРАВЗЕМ, ТИПТУЦ, ИРИ, ГОД2015 и ГОД2016 нису статистички значајне. Поново је утврђено одсуство временских корелација у сету података, на што указује статистичка значајност вјештачких варијабли ГОД2015 ($p > .05$) и ГОД2016 ($p > .05$). Такође, утврђено је да независна варијабла ОГРБРЗ није статистички значајна у Поасоновом и НБ моделу ($p > .05$).

Табела 6.17: Индекси подесности и поређење модела – СНМАТ

	Poisson	NB	ZIP	ZINB
Log likelihood at convergence	-182.87	-179.43	-173.58	-166.86
Log likelihood with constant only	-249.69	-248.51	-215.74	-201.64
ρ^2	0.27	0.28	0.20	0.17
AIC	383.75	382.86	383.16	382.92
BIC	412.33	410.62	440.33	432.07
MAD	0.29	0.04	0.08	0.16
MSPE	15.12	0.26	1.25	4.80

Voung test	Poisson	ZIP	V = 2.13
	NB	ZINB	V = 4.02

Поасонов регресиони модел је први примјењен у моделовању саобраћајних незгода са материјалном штетом. Утврђено је статистичка значајност код четири независне варијабле и то: Л ($\beta = 0.133440$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000114$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.128392$; $p < .05$) и ГУСПУТ ($\beta = 0.039806$; $p < .05$). Све независне варијабле су имале позитиван предзнак, а повећање у вриједностима независних варијабли доприноси повећању фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом. Други је тестиран НБ модел, а утврђено је да су статистички значајне четири независне варијабле, које су имале позитиван предзнак (Л ($\beta = 0.147189$; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000109$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.111086$; $p < .05$) и ГУСПУТ ($\beta = 0.038397$; $p < .05$)). Вриједност дисперзионог параметра ($\alpha = 0.137$) указује на постојање дисперзије у подацима. На крају су тестирани модели са вишком нула тј. ЗИП и ЗИНБ модели. У „Inflate“ дијелу ЗИП модела независна варијабла Л је била једина статистички значајна ($\beta = -1.196881$; $p < .05$) са негативним предзнаком, док у ЗИНБ моделу ни једна независна варијабла није била статистички значајна. Поново је утврђен мањи број нула у скупу података (56,50%), али знатно већи него код СНОТАЛ и СНН, што указује на могућност примјене модела са вишком нула за овај скуп података. У ЗИП моделу пет независних варијабли је било статистички значајно у „Count“ дијелу модела и то: Л ($\beta =$

0.085981; $p < .05$), ПДГС ($\beta = 0.000137$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = -0.036551$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.147146$; $p < .05$) и ГУСПУТ ($\beta = 0.028959$; $p < .05$). У ЗИНБ моделу статистички значајне су четири независне варијабле и то: Л ($\beta = 0.116860$; $p < .05$), ОГРБРЗ ($\beta = -0.061502$; $p < .05$), БРКРИВ ($\beta = 0.150146$; $p < .05$) и ГУСПУТ ($\beta = 0.030499$; $p < .05$). На постојање дисперзије у подацима указује вриједност дисперзионог параметра ($\alpha=0.163$). Код модела са вишком нула осим независне варијабле ОГРБРЗ, све статистички значајне варијабле су имале позитиван утицај на фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом.

Најлошије слагање модела са стварним подацима остварено је код ЗИНБ модела, који је имао најмању вриједност *McFadden* ρ^2 (0.17). ЗИП модел се налази на трећем мјесту у погледу слагања модела са стварним подацима (0.20). Испред њега налази се Поасонов модел са вриједношћу *McFadden* ρ^2 од 0.27. Највећа вриједност *McFadden* ρ^2 је остварена у НБ моделу (0.28), указујући на најбоље слагање модела са стварним подацима. Додатно поређење између Поасоновог и НБ модела са ЗИП и ЗИНБ моделима извршено је помоћу Вуонг теста, који је потврдио да су за саобраћајне незгоде са материјалном штетом Поасонов и НБ модел супериорнији у односу на ЗИП и ЗИНБ модел, са вриједношћу тестова $V=2.13$ и $V=4.02$ респективно. Упоредивање конкурентских модела на основу информационих критеријума (AIC и BIC) указало је на супериорност НБ модела у односу на остале моделе (AIC=382.86; BIC=410.62). Најмању предиктивну моћ у односу на остале тестиране моделе, остварио је Поасонов модел (MAD=0.29; MSPE=15.12). Затим, слиједи модели са вишком нула тј. ЗИНБ (MAD=0.16; MSPE=4.80) и ЗИП (MAD=0.08; MSPE=1.25) модели. Најмања вриједност MAD и MSPE постигнута је у НБ моделу (MAD=0.04; MSPE=0.26), потврђујући супериорност НБ модела у односу на остале моделе, за саобраћајне незгоде са материјалном штетом.

На основу утврђених резултата моделовања за предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом на руралним путевима изабран је НБ модел.

6.7.1. Једначина модела

Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом на руралним путевима представљен је једначином:

$$\hat{y}_1 = \exp[-1.9163 + 0.1472 * x_1 + 0.000109 * x_2 + 0.1111 * x_{10} + 0.0291 * x_{11}] \quad (6.4)$$

гдје је \hat{y}_1 предвиђени број саобраћајних незгода са материјалном штетом годишње; x_1 – дужина сегмента; x_2 – ПДГС; x_{11} – број хоризонталних кривина у сегменту; x_{12} – густина приступних путева.

Примјер примјене предиктивног модела: На путном сегменту са сљедећим карактеристикама: дужина сегмента је 3,38 km, ПДГС је 3.785,80 voz/dan, 2 хоризонталне кривине у сегменту и густина приступних путева је 8 puteva/km процјењује се 0,62 саобраћајне незгоде са материјалном штетом годишње.

6.7.2. Анализа еластичности

Процјена утицаја независних промјенљивих на фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом утврђена је израчунавањем еластичности (једн. (6.2)). У табели 6.18. приказани су резултати анализе еластичности на основу НБ модела. Укупно су четири независне варијабле статистички значајне у НБ моделу. Процјене еластичности предлажу да је повећање у Л за 10% повезано са повећањем у фреквенцији саобраћајних незгода са

материјалном штетом за 5%. Коефицијент еластичности независне варијабле ПГДС је 0.41, што указује да повећање од 10% у ПГДС-у води до повећања за 4,1% у фреквенцији саобраћајних незгода са материјалном штетом. Независна варијабла БРКРИВ је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода, што указује да са повећањем броја хоризонталних кривина од 10% долази до повећања у фреквенцији саобраћајних незгода са материјалном штетом за 1,8%. Густина приступних путева је позитивно повезана са фреквенцијом саобраћајних незгода са материјалном штетом, те са повећањем од 10% код независне варијабле ГУСПУТ узрокује повећање од 2,9% у фреквенцији саобраћајних незгода са материјалном штетом.

Табела 6.18: Анализа еластичности (НБ модел) – СНМАТ

Varijable	Mean	Koeficijent	Koeficijent elastičnosti
x ₁	3.38	0.1472	0.50
x ₂	3785.72	0.0001	0.41
x ₁₀	1.64	0.1111	0.18
x ₁₁	7.46	0.0384	0.29

6.8. ДИСКУСИЈА

Саобраћајне незгоде на руралним путевима су повезане са широким спектром фактора, који између осталог укључују факторе повезане са обимом саобраћаја, геометријским елементима пута и путног окружења. У овој докторској дисертацији развијени су предиктивни модели фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима, на основу одабраног сета независних варијабли, коришћењем одговарајућих статистичких регресионих алата. Поред тога, истражен је релативни утицај одабраних независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода на руралним путевима.

Избор најпогоднијег статистичког алата представља изазове за сваког истраживача, јер од великог броја статистичких модела треба изабрати онај који најбоље описује дати скуп података. У овом истраживању прво је коришћен Поасонов регресиони модел, који се показао неадекватним за овај скуп података због утврђене наддисперзије. Резултати су потврдили налазе ранијих истраживања ([Miaou & Lum, 1993](#); [Maher & Summersgill, 1996](#)) да постојање наддисперзије у подацима, код примјене Поасоновог регресионог модела, узрокује погрешне процјене параметара и води ка погрешној интерпретацији закључака. Примјена НБ модела је показала да постојање дисперзије у подацима (СНТОТАЛ ($\alpha=0.12$), СНН ($\alpha=0.09$) и СНМАТ ($\alpha=0.14$)) оправдава употребу овог модела ([Abdel-Aty & Radwan, 2000](#)), а у односу на Поасонов модел има бољу вриједност индекса подесности, што је у складу са ранијим истраживањима ([Bonneseon & McCoy, 1993](#); [Miaou, 1994](#)). Најлошије перформансе у моделовању фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима су имали модели са вишком нула (ЗИП и ЗИНБ модели). Треба нагласити да је ово очекиван исход с обзиром на мали број нула у посматраном скупу података (СНТОТАЛ (30,51%), СНН (40,68%) и СНМАТ (56,50%)), за разлику од ранијих истраживања у којима је проценат нула био већи од 80% ([Shankar et al., 1997](#); [Carson & Mannering, 2001](#); [Jiang et al., 2011](#)), те су модели са вишком нула били супериорнији у односу на Поасонов и НБ модел. Ипак, [Lord et al. \(2005\)](#) тврде да вишак нула у скупу података може бити посљедица (1) постојања локација са комбинацијом ниске изложености и високе хетерогености, (2) анализе спроведене са малом просторном или временском скалом, (3) података са високим процентом недостајућих или непријављених саобраћајних незгода или (4) примјена модела

са изостављеним важним предиктивним варијаблама. Закључује се да модели са вишком нула нису погодни за моделовање догађаја као што су саобраћајне незгоде. Најбољу вриједност индекса подесности имао је НБ модел, те највећу предиктивну моћ односно најбоље слагање са стварном фреквенцијом саобраћајних незгода код сва три предиктивна модела тј. СНОТАЛ, СНН и СНМАТ. Предност НБ модела или његових екстензија (РЕНБ, РПНБ и др.) у односу на Поасонов и моделе са вишком нула потврђена је и претходним истраживањима ([Milton & Mannering, 1998](#); [Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Chin & Quddus, 2003](#); [Ma et al., 2017](#); [Hou et al., 2018b](#)). За предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима за СНОТАЛ, СНН и СНМАТ изабран је НБ модел, који је је имао највећу вриједност $McFadden \rho^2$ (0.34, 0.30, 0.28), а најмање вриједности информационог критеријума (СНОТАЛ (AIC=604.78; BIC=635.54), СНН (AIC=484.20; BIC=509.61) и СНМАТ (AIC=382.86; BIC=410.62)). Развијени модели узимају у обзир интуитивне и вјеродостојне саобраћајне и геометријске факторе, који утичу на фреквенцију саобраћајних незгода.

Прелиминарна анализа је спроведена ради процјена утицаја независних промјенљивих на зависну промјенљиву. Анализа са једном промјенљивом омогућила је одбацивање независних промјенљивих, за које није утврђена веза са СНОТАЛ, СНН и СНМАТ у четири тестирана модела. Почетни сет независних промјенљивих се састојао од 19 варијабли, а након анализе са једном промјенљивом одбачене су три независне промјенљиве и то: %ПА, %БУС и ГОД2017. Преостале независне варијабле су укључене у процес моделовања у Поасоновом, НБ, ЗИП и ЗИНБ моделу за све три зависне промјенљиве (СНОТАЛ, СНН и СНМАТ). За СНОТАЛ и СНН укупно је шест независних варијабли статистички значајно у НБ моделу (Л, ПГДС, ОГРБРЗ, БРКРИВ, ГУСПУТ и ИРИ), док су код СНМАТ четири независне варијабле статистички значајне (Л, ПГДС, БРКРИВ и ГУСПУТ). Као што је очекивано дужина сегмента је статистички значајна у сва три развијена предиктивна модела и позитивно корелирана са фреквенцијом саобраћајних незгода. Ови резултати су подржани и потврђени бројним претходним студијама (([Abdel-Aty & Radwan, 2000](#); [Ye et al., 2013](#); [Garach et al., 2016](#); [Mičić et al., 2016](#); [Ma et al., 2017](#); [Rusli et al., 2017](#); [Mičić et al., 2018](#)). [Hou et al. \(2018b\)](#) су утврдили да је ефекат дужине сегмента на фреквенцију саобраћајних незгода посматран у функцији изложености такође позитиван, а да је веза скоро линеарна са хомогеним дужинама сегмента. Такође, за варијаблу ПГДС је утврђено да је конзистентно статистички значајна и има позитиван ефекат на фреквенцију СНОТАЛ, СНН и СНМАТ. [Rusli et al. \(2017\)](#) су посматрали утицај ПДС у функцији изложености на фреквенцију саобраћајних незгода за одређени тип саобраћајних незгода (саобраћајне незгоде са једним возилом), те утврдили да је веза позитивна и нелинеарна. Резултати овог истраживања потврђују ове налазе и налазе других истраживања ([Vangala et al., 2015](#); [Mičić et al., 2016](#); [Ma et al., 2017](#); [Cafiso et al., 2018](#); [Mičić et al., 2018](#)), која тврде да повећање ПГДС-а води до повећања фреквенције саобраћајних незгода. Фактором БРКРИВ представљен је утицај хоризонталних кривина на фреквенцију саобраћајних незгода. Утврђено је да са повећањем броја хоризонталних кривина вјероватноћа укупног броја саобраћајних незгода, саобраћајних незгода са настрадалим и саобраћајних незгода са материјалном штетом се повећава. Позитиван знак који прати ова варијабла пријавили су и други аутори. [Shankar et al. \(1995\)](#) тврде да број хоризонталних кривина са пројектном брзином до 112,6 km/h позитивно утиче на фреквенцију саобраћајних незгода. [Venkataraman et al. \(2013\)](#) су пријавили да је да број хоризонталних кривина у сегменту повезан са повећањем фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом и лакшим тјелесним повредама. Са друге стране, [Milton et al. \(2008\)](#) тврде да већа густина хоризонталних кривина смањује

вјероватноћу догађања саобраћајних незгода са повријеђеним лицима. Овакви резултати могу бити посљедица компензације ризика од стране возача. Наиме, уколико је већи број хоризонталних кривина у сегменту, нарочито са мањим радијусом, очекивано је да ће бити постављено ниже ограничење брзине на сегменту и да ће возачи возити мањом брзином, што има за посљедицу смањење тежине саобраћајних незгода, а не фреквенције. Позитиван знак коефицијента независне варијабле ГУСПУТ указује да ће се фреквенција саобраћајних незгода у сва три предиктивна модела повећати ако је присутна већа густина приступних путева у путном сегменту. Ови резултати потврђују налазе ранијих истраживања да већа густина приступних путева ([Cafiso et al., 2010](#); [Dinu & Veeraragavan, 2011](#); [Wang et al., 2014](#)) или већи број приступних путева ([Saccomanno et al., 2001](#)) или приступних тачака ([Mustakim & Fujita, 2011](#); [Hosseinpour et al., 2014](#)) повећавају фреквенцију саобраћајних незгода. Већи број приступних путева на сегменту повећава број конфликтних тачака, те је очекивано да фреквенција саобраћајних незгода буде већа. Независне варијабле ОГРБРЗ и ИРИ су статистички значајне у предиктивним моделима за СНТОТАЛ и СНН. Међутим, код саобраћајних незгода са материјалном штетом утврђено је да ове варијабле нису статистички значајни предиктори у овом скупу података. Утицај постављеног ограничења брзине на фреквенцију саобраћајних незгода је комплексан. Аутори ([Donnell & Mason, 2006](#); [Guo & Sun, 2013](#)) су показали да веће ограничење брзине води до већег броја саобраћајних незгода, док друга група истраживача ([Milton & Mannering, 1998](#); [Carson & Mannering, 2001](#); [Hosseinpour et al., 2014](#)) тврди да води до смањења фреквенције саобраћајних незгода. Разлике у добијеним резултатима се могу тумачити као посљедица непосматране хетерогености. Ипак, у овом истраживању, слично као у истраживању [Guo & Sun \(2013\)](#) утврђено је да је ограничење брзине повезано са повећањем фреквенције саобраћајних незгода. Са друге стране, слично истраживању [Ahmed et al. \(2011\)](#), утврђено је да иако независна варијабла ОГРБРЗ није статистички значајна код СНМАТ, позитиван знак њеног коефицијента указује да има тенденцију да утиче на повећање фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом. Слично претходним истраживањима ([Anastasopoulos & Mannering, 2009](#); [Chan et al., 2010](#); [Hou et al., 2018b](#)), која су показала да је ИРИ статистички значајан предиктор фреквенције саобраћајних незгода, у овом истраживању је утврђено да је ИРИ статистички значајно повезано са СНТОТАЛ и СНН. Позитиван знак коефицијента независне варијабле ИРИ указује да утиче на повећање фреквенције саобраћајних незгода.

Након спроведеног процеса моделовања потврђена је **основна хипотеза Н₁**. Развијена су три предиктивна модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима и то: за укупан број саобраћајних незгода, за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и саобраћајне незгоде са материјалном штетом. НБ модел је изабран за предиктивни модел у сва три случаја, јер је према свим критеријумима надмашио перформансе других тестираних модела. Поред тога, идентификовано је неколико независних варијабли, за које је утврђено да утичу на фреквенцију саобраћајних незгода, те процијењен њихов релативни утицај. Приказано је да се фреквенција саобраћајних незгода на руралним путевима може предвидјети употребом развијених предиктивних модела.

6.9. РЕФЕРЕНЦЕ

[AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.](#)

- Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. (2000). Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 32(5), 633-642.
- Ahmed, M., Huang, H., Abdel-Aty, M., & Guevara, B. (2011). Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. *Accident Analysis & Prevention*, 43(4), 1581-1589.
- Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. (2009). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis & Prevention*, 41(1), 153-159.
- Bonneson, J. A., & McCoy, P. T. (1993). Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways. *Transportation Research Record*, (1401).
- Boroujerdian, A. M., Saffarzadeh, M., Yousefi, H., & Ghassemian, H. (2014). A model to identify high crash road segments with the dynamic segmentation method. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 274-287.
- Borsos, A., Ivan, J. N., & Orosz, G. (2016). Development of Safety Performance Functions for Two-Lane Rural First-Class Main Roads in Hungary. *Traffic Safety*, 4, 87-100.
- Cafiso, S., D'Agostino, C., & Persaud, B. (2018). Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5(2), 129-136.
- Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42(4), 1072-1079.
- Carson, J., & Mannering, F. (2001). The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities. *Accident Analysis & Prevention*, 33(1), 99-109.
- Chan, C. Y., Huang, B., Yan, X., & Richards, S. (2010). Investigating effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee based on the pavement management system (PMS). *Journal of advanced transportation*, 44(3), 150-161.
- Chin, H. C., & Quddus, M. A. (2003). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 253-259.
- Dinu, R. R., & Veeraragavan, A. (2011). Random parameter models for accident prediction on two-lane undivided highways in India. *Journal of safety research*, 42(1), 39-42.
- Donnell, E. T., & Mason Jr, J. M. (2006). Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania interstate highways. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 590-599.
- Garach, L., de Oña, J., López, G., & Baena, L. (2016). Development of safety performance functions for Spanish two-lane rural highways on flat terrain. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 250-265.

Google Earth (Google). (2018). <<http://www.google.com/earth/index.html>> (August, 2018)

[Guo, Y., & Sun, Q. \(2013\). Modeling Crash Frequency of A Typical Mountainous Freeway. In *ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration* \(pp. 1417-1425\).](#)

[Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., & Sadullah, A. F. \(2014\). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 209-222.](#)

[Hou, Q., Tarko, A. P., & Meng, X. \(2018b\). Investigating factors of crash frequency with random effects and random parameters models: New insights from Chinese freeway study. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 1-12.](#)

[Jiang, X., Yan, X., Huang, B., & Richards, S. H. \(2011\). Influence of curbs on traffic crash frequency on high-speed roadways. *Traffic injury prevention*, 12\(4\), 412-421.](#)

[Lord, D., Manar, A., & Vizioli, A. \(2005\). Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 37\(1\), 185-199.](#)

[Ma, Z., Zhang, H., Steven, I., Chien, J., Wang, J., & Dong, C. \(2017\). Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 214-222.](#)

[Maher, M. J., & Summersgill, I. \(1996\). A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. *Accident Analysis & Prevention*, 28\(3\), 281-296.](#)

[Miaou, S. P. \(1994\). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26\(4\), 471-482.](#)

[Miaou, S. P., & Lum, H. \(1993\). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, 25\(6\), 689-709.](#)

Mićić, S., Đorđević, M., Jasnić, S., Subotić, I. (2018). Accident frequency prediction model for flat rural roads. *XIV International Symposium "Road Accidents Prevention 2018", Novi Sad*, vol. 1, pp. 93-103, (ISBN 978-86-6022-099-0).

Mićić, S., Jovanović, D., Matović, B. (2016). A crash frequency – prediction model: case study for IB-21 road. *XIII International Symposium "Road Accidents Prevention 2016", Novi Sad*, vol. 1, pp. 73-80, (ISBN 978-86-7892-855-0).

[Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. \(2008\). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(1\), 260-266.](#)

[Milton, J., & Mannering, F. \(1998\). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25\(4\), 395-413.](#)

- Mustakim, F., & Fujita, M. (2011). Development of accident predictive model for rural roadway. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58(10), 126-31.
- Republički zavod za statistiku Srbije (2017). Registrovana drumska motorna i priključna vozila i saobraćajne nezgode na putevima, 2016 (saopštenje broj 072 - god. LXVII, 17.03.2017.). Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0353-9555.
- Republički zavod za statistiku Srbije (2018a). Registrovana drumska motorna i priključna vozila i saobraćajne nezgode na putevima, 2017 (saopštenje broj 063 - god. LXVIII, 09.03.2018.). Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0353-9555.
- Republički zavod za statistiku Srbije (2018b). Statistički godišnjak Republike Srbije, 2018. Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0354-4206.
- Rusli, R., Haque, M. M., King, M., & Voon, W. S. (2017). Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model. *Accident Analysis & Prevention*, 102, 153-164.
- Saccomanno, F. F., Grossi, R., Greco, D., & Mehmood, A. (2001). Identifying black spots along highway SS107 in Southern Italy using two models. *Journal of transportation engineering*, 127(6), 515-522.
- Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27(3), 371-389.
- Shankar, V., Milton, J., & Mannering, F. (1997). Modeling accident frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 829-837.
- Vangala, P., Lord, D., & Geedipally, S. R. (2015). Exploring the application of the negative binomial-generalized exponential model for analyzing traffic crash data with excess zeros. *Analytic methods in accident research*, 7, 29-36.
- Venkataraman, N., Ulfarsson, G. F., & Shankar, V. N. (2013). Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 309-318.
- Wang, X., Song, Y., Yu, R., & Schultz, G. G. (2014). Safety modeling of suburban arterials in Shanghai, China. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 215-224.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2011. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.
- Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. C. (2013). A simultaneous equations model of crash frequency by severity level for freeway sections. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 140-149.

7. ПРИМЈЕНА ПРЕДИКТИВНОГ МОДЕЛА НА ДРЖАВНОМ ПУТУ IB РЕДА

7.1. УВОД

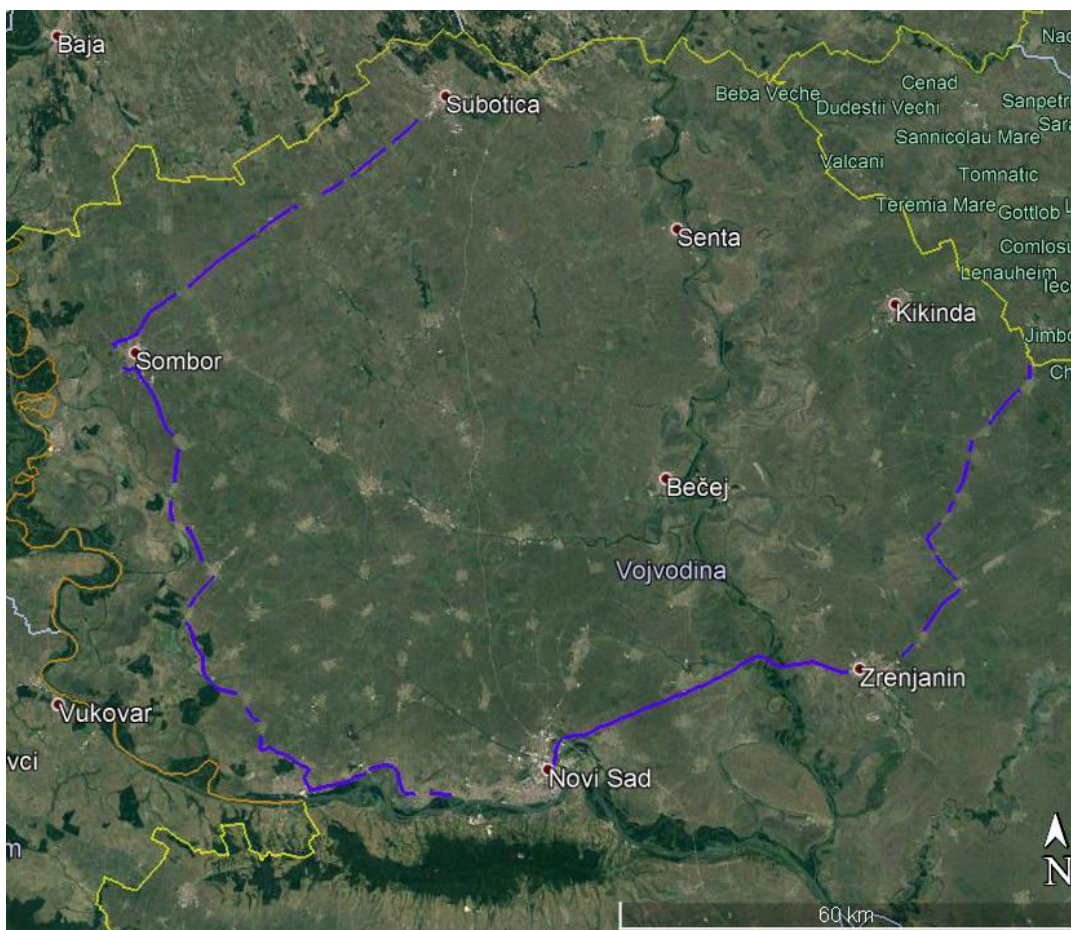
У овом поглављу тестиране су **основна и помоћне хипотезе:**

- **H₁**, која гласи: „Идентификовање и рангирање деоница руралних путева може се извршити примјеном ЕБ метода“.
- **H₂₁**, која гласи: „Могуће је идентификовати деонице руралног пута са највећим бројем предвиђених и очекиваних саобраћајних незгода“.
- **H₂₂**, која гласи: „Деонице руралног пута се могу рангирати према потенцијалу за побољшања безбједности пута“.

Преглед и анализа путне мреже је први корак у процесу унапређења безбједности пута и представља процес прегледа путне мреже ради идентификације опасних локација (деоница, одсјек, сегмент, раскрсница и сл.) и рангирања истих, од највјероватнијих до најмање вјероватних, према потенцијалу за предузимање контрамјера ([AASHTO, 2010](#)). Ефикасно управљање путном мрежом започиње идентификацијом локација које захтјевају додатно испитивање безбједности. Веома је важно имати ефикасан процес идентификације, у супротном долази до непотребног трошења ионако оскудних ресурса на погрешно одређене локације, а стварно опасне локације неће бити идентификоване у овом процесу.

Метода рангирања се, поред методе клизног прозора и методе тражења врхова, користи у процесу анализе безбједности путне мреже ([AASHTO, 2010](#)). Локације су рангиране на основу највеће вриједности проблема, у зависности од изабране методологије идентификације. У претходном периоду различите методе рангирања деоница путне мреже су примјењене у процесу идентификације опасних локација на путној мрежи. Једна од првих метода идентификације опасних локација, коју одликује једноставност у примјени је метода фреквенције саобраћајних незгода – CF метода ([Zegeer, 1986](#)). Многи субјекти користе овај метод за избор иницијалне групе опасних локација за даљу анализу. За избор опасних локација мора се прво утврдити критична вриједност (нпр. 10 или више саобраћајних незгода годишње), с тим да критична вриједност мора бити постављена разумно, тако да субјекти могу идентификоване локације детаљније истражити. Ако је број саобраћајних незгода на некој локацији једнак или већи од критичне вриједности, локација је означена као опасна локација ([Zegeer, 1981](#)). Обзиром да CF метод не узима у обзир изложеност, метода стопе саобраћајних незгода (CR метода) је примјењена у идентификацији опасних локација ([Hauer, 1995](#)), јер се употребом изложености нормализује фреквенција саобраћајних незгода. Да би се узели у обзир трошкови саобраћајних незгода развијена је EPDO метода. Применом EPDO методе упоређује се релативна важност саобраћајних незгода са материјалном штетом у односу на саобраћајне незгоде са повријеђеним и погинулим лицима ([Donnell & Mason, 2004](#)). Овом методом узимају се у обзир посљедице саобраћајних незгода, али се не узима у обзир изложеност. У претходним годинама, метода критичне стопе саобраћајних незгода (CCR метода) је често коришћена у пракси. Она упоређује стопу саобраћајних незгода на свакој локацији са критичном стопом саобраћајних незгода за сличне локације ([Lu & Weng, 2010](#)). Разматра изложеност и обезбјеђује адекватан ниво статистичке поузданости. Све

наведене традиционалне методе се могу разликовати у својим приступима, али све деле исти проблем, а то је проблем регресије ка средњој вредности. Да би се решио овај проблем примењена је емпиријска Бајесова метода – ЕБ метода ([Cheng & Washington, 2008](#)). ЕБ метода комбинује податке о саобраћајним незгодама на одређеној деоници са фреквенцијом саобраћајних незгода, која је утврђена предиктивним моделом. Обзиром да користи предиктивни модел има могућност откривања скривених безбједносних проблема, које друге методе не могу утврдити. Након извршене идентификације опасних деоница, резултат прегледа и анализе је листа деоница које су рангиране према опасностима које производе тј. представљају приоритете за детаљне инжењерске истраге, ради идентификације фактора, образаца саобраћајних незгода и потенцијалних контрамјера ([Hauer et al., 2002](#); [Hauer et al., 2004](#)). Ни један метод идентификације опасних деоница није генерално супериорнији у односу на друге. Све методе имају ограничења и недостатке у примјени.



Слика 7.1: Траса државног пута IB-12 (рурални путни сегменти)

У овом поглављу докторске дисертације извршено је поређење различитих метода идентификације опасних деоница на руралним путевима. Предиктивни модел за укупан број саобраћајних незгода развијен у поглављу 6.5 је примјењен у оквиру ЕБ метода. Поред тога, представиће се предности и недостаци анализираних метода и извршиће тестирање конзистентности метода у идентификацији опасних деоница током времена.

7.2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

7.2.1. Прикупљање података

Подаци неопходни за спровођење метода прегледа и анализа путне мреже прикупљени су за државни пут IB-12 (Слика 7.1). Укупна дужина пута је 276,70 km, подељена на 23 деонице. Државни пут IB-12 садржи 59 руралних хомогених сегмената, укупне дужине 199,63 km (Табела 7.1). За наведене сегменте прикупљени су подаци о дужини сегмената, саобраћајном оптерећењу и саобраћајним незгодама описани у поглављу 6.2. Поред ових података, подаци о саобраћајним незгодама за временски период 2011-2013. године добијени су из Јединственог информационог система МУП-а Републике Србије. Додатно, из базе података ЈП „Путеви Србије“ преузети су подаци о саобраћајном оптерећењу на државним путевима IB реда за период 2011-2013. године.

Да би се могле поредити конкурентске методе, а на основу прикупљених информација за шестогодишњи период, формирана је посебна база података, у *Microsoft Excel*-у, за два трогодишња временска периода: период 2011-2013. године (период 1) и период 2015-2017. године (период 2). У бази су садржани подаци о саобраћајним незгодама, саобраћајном оптерећењу и дужинама руралних сегмената. На 59 посматраних сегмената у првом временском периоду догодиле су се 244 саобраћајне незгоде, а у другом 386 саобраћајних незгода. Максималан ПГДС на посматраним деоницама у првом периоду износио је 36.717 воз/дан, док је у другом периоду износио 42.139 воз/дан. Са друге стране, минималан ПГДС на посматраним деоницама у првом периоду износио је 3.604 воз/дан, а у другом периоду 2.662 воз/дан. Средња вриједност ПГДС-а на посматраним руралним хомогеним сегментима у првом периоду је 10.583 воз/дан, док је у другом периоду 11.357 воз/дан.

7.2.2. Методе идентификације опасних деоница

У претходном периоду многи алати, методе и мјере су развијене, како би помогле у процесу идентификације опасних деоница и примјени одговарајућих контрамјера. Методе за идентификацију опасних деоница, између осталог, укључују традиционалне методе као што су: CF метода, CR метода и CCR метода. Поред њих, у раду је истражена и савремена метода тј. ЕБ метода. Компарација примјењених метода извршена је помоћу 3 теста у два временска периода. Примењени су тест конзистентности локације, тест конзистентности методе и тест укупне разлике ранга ([Cheng & Washington, 2008](#); [Montella, 2010](#); [Bandyopadhyaya & Mitra, 2011](#)). Метод који има најбоље перформансе на наведеним тестовима је најпогоднији за идентификацију опасних деоница на државним путевима IB реда.

➤ Метода фреквенције саобраћајних незгода

Најједноставнију методу идентификације опасних деоница представља CF метода. За идентификацију опасних деоница користи само број саобраћајних незгода у одређеном временском периоду. Примењујући овај метод, деонице су рангиране у опадајућем редоследу посматране фреквенције саобраћајних незгода. Да би се могле поредити путне деонице различите дужине, укупан број саобраћајних незгода је подјељен са дужином деонице и временским периодом ([Montella, 2010](#)). Основне предности CF методе су

једноставност у употреби и мали захтјеви у погледу података. Са друге стране, CF метода не узима у обзир регресију ка средњој вриједности, утицај ПГДС-а, посљедице саобраћајних незгода, те производи грешке у процјени деоница веће дужине и високог ПГДС-а. Фреквенција саобраћајних незгода се рачуна према формули ([AASHTO, 2010](#)):

$$CF = \frac{N}{L*t} [nez/km/god] \quad (7.1)$$

гдје је: CF – фреквенција саобраћајних незгода, N – број саобраћајних незгода, L – дужина деонице, t – временски период.

➤ Метода стопе саобраћајних незгода

Ова метода пореди број саобраћајних незгода на одређеној деоници са бројем возила или бројем пређених километара на тој деоници. Деонице су рангиране у опадајућем редоследу према стопи саобраћајних незгода. За разлику од CF методе, применом CR методе могу се рачунати безбједносни ефекти који се могу приписати промјенама у ПГДС-у. Стопа саобраћајних незгода се изражава као број саобраћајних незгода по милион возило километара. Предности CR методе су једноставност у употреби, мали захтјеви у погледу података и разматрање утицаја изложености/саобраћаја. Недостатке представљају неразматрање регресије ка средњој вриједности, претпоставка линеарне везе између ПГДС-а и саобраћајних незгода и грешка која се јавља код процјене на краћим деоницама и деоницама са ниским ПГДС-ом. Стопа саобраћајних незгода се рачуна према формули ([Lim & Kweon, 2013](#)):

$$CR = \frac{N*10^6}{PGDS*365*L*t} \quad (7.2)$$

гдје је: CR – стопа саобраћајних незгода, N – број саобраћајних незгода, PGDS – просјечан годишњи дневни саобраћај, L – дужина деонице, t – временски период.

➤ Метода критичне стопе саобраћајних незгода

CCR метода или метода за контролу квалитета стопе незгода (енгл. *rate quality control method*) утврђује да ли је стварна стопа саобраћајних незгода на деоници пута абнормално висока у односу на просјечну стопу саобраћајних незгода на сличним деоницама ([Lu & Weng, 2010](#)). Предности CCR методе се огледају у смањивању презаступљености деоница са ниским ПГДС-ом, узимање у обзир варијансе у подацима о саобраћајним незгодама, успостављање прага за поређење са CR методом и разврставање деоница у поткатогеорије. Недостаци ове методе су неразматрање регресије ка средњој вриједности и претпоставка линеарне везе између ПГДС-а и саобраћајних незгода. Критична стопа саобраћајних незгода рачуна се према формули ([AASHTO, 2010](#)):

$$CCR = CR_a + \left[P * \sqrt{\frac{CR_a}{EXPO}} \right] + \left[\frac{1}{2*EXPO} \right] \quad (7.3)$$

гдје је: CCR – критична стопа саобраћајних незгода, CR_a – просјечна стопа саобраћајних незгода на сличним деоницама ($CR_a = \sum_{i=1} (PGDS * CR) / \sum_{i=1} PGDS$), P – p-vrijednost за одговарајући интервал поверења (нпр. за интервал поверења 95% износи 1,645), EXPO – изложеност ($EXPO = (PGDS * 365 * L * t) / 10^6$).

7. Примјена предиктивног модела на државном путу IB реда

Табела 7.1: Рурални хомогени сегменти државног пута IB-12

ИД сегмента	Назив саобраћајне деонице	Дужина сегмента (km)	ИД сегмента	Назив саобраћајне деонице	Дужина сегмента (km)
1	Суботица (Сомбор) - Бајмок	4.771	66	Бачка Паланка (обил.) - Бачка Паланка	0.379
3	Суботица (Сомбор) - Бајмок	6.299	67	Бачка Паланка - Челарево	3.681
5	Суботица (Сомбор) - Бајмок	3.480	68	Бачка Паланка - Челарево	1.419
8	Бајмок - Светозар Милетић	6.640	69	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1.646
10	Бајмок - Светозар Милетић	11.775	70	Бачка Паланка - Челарево	1.004
15	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	3.006	72	Челарево - Нови Сад (Руменка)	8.661
16	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	1.384	76	Челарево - Нови Сад (Руменка)	3.015
17	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	7.275	90	петља Нови Сад исток - Каћ	0.424
18	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.654	91	Каћ - Жабал (Шајкаш)	13.314
22	Сомбор (Апатин) - Сомбор (инд. зона)	2.520	93	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	12.870
25	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	0.627	94	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	1.097
26	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	1.953	95	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	6.050
27	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	0.632	96	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.386
28	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	3.833	97	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	4.072
29	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	4.002	98	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.294
33	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	4.665	105	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1.446
37	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	1.315	106	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.728
38	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	0.296	110	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	6.886
39	Сомбор (инд. зона) - Српски Милетић	1.496	111	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.278
43	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	3.035	112	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.530
44	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.629	118	Житиште - Банатско Карађорђево	4.299
45	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	1.631	120	Житиште - Банатско Карађорђево	4.501
49	Оџаци (Кула) - Бач	5.083	122	Житиште - Банатско Карађорђево	1.867
50	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.424	124	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.609
54	Оџаци (Кула) - Бач	5.810	125	Банатско Карађорђево - Нова Црња	4.151
55	Оџаци (Кула) - Бач	0.228	127	Банатско Карађорђево - Нова Црња	1.726
56	Бач - Мајур	6.816	131	Војвода Степа - гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња)	5.165
60	Бач - Мајур	3.049	132	Нова Црња - Војвода Степа	1.486
64	Бачка Паланка (обил.) - Бачка Паланка	4.439	136	Војвода Степа - гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња)	2.146
65	Мајур - Бачка Паланка (обил.)	7.737			

➤ Емпиријска Бајесова метода

ЕБ метода је статистичка метода која комбинује посматрану фреквенцију саобраћајних незгода са предвиђеном фреквенцијом саобраћајних незгода, користећи предиктивне моделе (Поаснов, НБ, ЗИП, ЗИНБ и др.), за израчунавање очекиване фреквенције саобраћајних незгода за локацију односно деоницу од интереса. Овом методом очекиван број саобраћајних незгода се „вуче“ према средњој вриједности, узимајући у обзир проблем регресије ка средњој вриједности. У ЕБ процедури, прво се користи предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода за одређивање предвиђеног броја саобраћајних незгода на одређеној деоници у одређеном временском периоду. Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода (једн. (6.1)) је искоришћен као улазни параметар у ЕБ методу. Очекивана фреквенција саобраћајних незгода се рачуна као пондерисани просјек предвиђене и посматране фреквенције саобраћајних незгода, према формули ([Montella, 2010](#)):

$$N_{\text{о̀чекивано}} = w * N_{\text{предвиђено}} + (1 - w) * N_{\text{посматрано}} \quad (7.4)$$

гдје је: $N_{\text{о̀чекивано}}$ – очекиван број саобраћајних незгода на путном сегменту, $N_{\text{посматрано}}$ – посматран број саобраћајних незгода на путном сегменту, w – тежински фактор, који се процјењује на основу формуле ([Montella, 2010](#)):

$$w = \frac{1}{1 + (\alpha * N_{\text{предвиђено}})} \quad (7.5)$$

гдје је α – дисперзиони параметар.

Примјена ЕБ методе је извршена кроз потенцијал за унапређење безбједности локације – PSI ([Gan et al. 2012](#)), који представља разлику између очекиване и предвиђене фреквенције саобраћајних незгода на посматраној локацији. Када PSI има вриједност већу од 0, посматрана локација се сматра небезбједном и потребно је даље истраживати. Предности у примјени ЕБ методе огледају се у рјешавању проблема регресије ка средњој вриједности, претпоставка нелинеарне везе између фреквенције саобраћајних незгода и изложености и могућности идентификације и приоритизације локација према њиховом потенцијалу за унапређење безбједности. Недостатке представљају неопходна статистичка експертиза, потреба за функцијом перформанси безбједности или предиктивним моделом фреквенције саобраћајних незгода и потреба за подацима.

7.3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Методe, описане у потпоглављу 7.2, примењене су у идентификацији опасних деоница на државном путу IB-12, тачније руралних сегмената у оквиру дефинисаних деоница. Резултати процјене конкурентских метода приказани су у Табели 7.2. Такође, идентификовано је 5% (3 путна сегмента), 10% (6 путних сегмената) и 20% (12 путних сегмената) најопаснијих руралних сегмената примјеном ових метода у два трогодишња временска периода. Применом CF методе најкритичније деонице у првом периоду су деонице Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 76 – 1,99 нез/км/год), Српски Милетић – Озаци (Кула) (сегмент ИД 43 – 1,43 нез/км/год) и Бачка Паланка – Челарево (сегмент ИД 67 – 1,36 нез/км/год). У првих 10% опасних деоница, поред наведених улазе сегмент деонице Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 72 – 1,35 нез/км/год) и сегменти деонице Бачка Паланка – Челарево (сегмент ИД 70 – 1,33 нез/км/год и сегмент ИД 68 – 1,17 нез/км/год). У

20% опасних деоница спадају и деонице Војвода Степа – гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња) (сегмент ИД 136 – 1,09 нез/км/год), Мајур – Бачка Паланка (обил.) (сегмент ИД 65 – 1,08 нез/км/год), Сомбор (инд. зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 25 – 1,06 нез/км/год и сегмент ИД 37 – 1,01 нез/км/год) и Сомбор (Апатин) – Сомбор (инд. зона) (сегмент ИД 22 – 0,93 нез/км/год). У другом периоду 5% најопаснијих деоница идентификованих овом методом представљају деонице у оквиру којих се налазе путни сегменти ИД 96, 76 и 66, у 10% опасних деоница још спадају и деонице са сегментима ИД 50, 90 и 98, док у 20% опасних деоница улазе и деонице са сегментима ИД 27, 72, 18, 70 и 69. Након СФ методе примњена је СР метода, која узима у обзир утицај изложености. У периоду 1, као најопасније деонице идентификоване су деонице Војвода Степа – гр. СРБ/РУМ (Ср. Црња) (сегмент ИД 136 – 0,62 нез/милион воз/км/год), Мајур – Бачка Паланка (обил.) (сегмент ИД 65 – 0,48 нез/милион воз/км/год) и Српски Милетић – Оџаци (Кула) (сегмент ИД 43 – 0,43 нез/милион воз/км/год). Поред њих у 10% деоница спадају и деонице Сомбор (инд. зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 25 – 0,41 нез/милион воз/км/год и сегмент ИД 37 – 0,39 нез/милион воз/км/год) и Сомбор (Апатин) – Сомбор (инд. зона) (сегмент ИД 22 – 0,36 нез/милион воз/км/год). Додатно 20% опасних деоница чине и деонице Оџаци (Кула) – Бач (сегмент ИД 54 – 0,35 нез/милион воз/км/год и сегмент ИД 49 – 0,25 нез/милион воз/км/год), Челарево – Нови Сад (Руменка) (сегмент ИД 76 – 0,34 нез/милион воз/км/год) и Светозар Милетић – Сомбор (Бездан) (сегмент ИД 15 – 0,24 нез/милион воз/км/год). За период 2 идентификоване су деонице са путним сегментима ИД 66, 96 и 27 (5% најопаснијих деоница). Поред њих, деонице са путним сегментима ИД 50, 60 и 132 спадају у 10% најопаснијих деоница, а деонице са путним сегментима ИД 28, 38, 65, 76, 120 и 136 спадају у 20% најопаснијих деоница. ССР метода је у првих 5% опасних деоница идентификовала деонице са путним сегментима ИД 136 (0,29 нез/милион воз/км/год), 65 (0,17 нез/милион воз/км/год) и 43 (0,20 нез/милион воз/км/год) у првом периоду. Поред наведених, 10% опасних деоница чине и деонице са путним сегментима ИД 76 (0,17 нез/милион воз/км/год), 54 (0,22 нез/милион воз/км/год) и 22 (0,23 нез/милион воз/км/год). Деонице са путним сегментима ИД 37 (0,30 нез/милион воз/км/год), 72 (0,14 нез/милион воз/км/год), 67 (0,16 нез/милион воз/км/год), 29 (0,20 нез/милион воз/км/год), 10 (0,16 нез/милион воз/км/год) и 28 (0,20 нез/милион воз/км/год) спадају, поред раније наведених деоница, у 20% најопаснијих деоница. Према ССР методи, деоница је идентификована као опасна, ако је стварна стопа саобраћајних незгода на посматраној деоници већа или једнака критичној стопи саобраћајних незгода на тој деоници. У другом периоду деонице са путним сегментима ИД 66, 69 и 27 спадају у 5% најопаснији деоница, док поред њих у 10% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 76, 60 и 28. С обзиром да према овој методи, на преосталим путним сегментима, није испуњен услов да је стварна стопа саобраћајних незгода на посматраним сегментима већа или једнака критичној стопи саобраћајних незгода на тим сегментима, нису идентификоване додатне опасне деонице у другом периоду. На крају примењена је ЕБ метода кроз потенцијал за унапређење безбједности деонице. Применом ЕБ методе, 5% најопаснијих деоница идентификованих у првом периоду представљају деонице са путним сегментима ИД 65 (PSI=14,16 незгода), 72 (PSI=13,32 незгода) и 67 (PSI=8,47 незгода). Поред њих, у првом периоду, у 10% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 43 (PSI=8,31 незгода), 76 (PSI=7,52 незгода) и 10 (PSI=6,08 незгода). У 20% најопаснијих деоница спадају још и деонице са путним сегментима ИД 136 (PSI=5,37 незгода), 22 (PSI=4,63 незгода), 29 (PSI=4,18 незгода), 3 (PSI=3,60 незгода), 68 (PSI=2,86 незгода) и 15 (PSI=2,18 незгода). У другом периоду, у 5% најопаснијих деоница спадају деонице са путним сегментима ИД 72 (PSI=17,83 незгода), 76 (PSI=11,78 незгода) и 120

7. Примјена предиктивног модела на државном путу IБ реда

(PSI=7,28 незгода). Додатно, у 10% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 29 (PSI=7,01 незгода), 96 (PSI=6,50 незгода) и 60 (PSI=5,79 незгода). У 20% најопаснијих деоница спадају и деонице са путним сегментима ИД 66, 28, 67, 91, 3 и 97.

Табела 7.2: Резултати процјене четири методе за идентификацију првих 5%, 10% и 20% деоница

ID segmenta	Период 1 (2011-2013)				Период 2 (2015-2017)			
	CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)	CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)
1	0.35	0.09	0.17	-0.10	0.35	0.08	0.34	-0.41
3	0.48	0.13	0.16	3.60	0.48	0.11	0.33	3.28
5	0.29	0.08	0.19	-1.37	0.19	0.04	0.36	-2.61
8	0.30	0.15	0.19	-3.33	0.40	0.17	0.36	-1.63
10	0.42	0.21	0.16	6.08	0.20	0.08	0.33	-2.06
15	0.67	0.24	0.21	2.18	0.55	0.17	0.40	1.07
16	0.00	0.00	0.29	-6.90	0.48	0.15	0.49	-5.21
17	0.32	0.11	0.17	-5.46	0.55	0.17	0.33	-1.01
18	0.00	0.00	0.43	-5.59	1.53	0.31	0.54	-4.32
22	0.93	0.36	0.23	4.63	0.40	0.15	0.43	0.83
25	1.06	0.41	0.42	-0.05	0.53	0.19	0.67	-1.04
26	0.34	0.13	0.26	-1.41	0.68	0.24	0.46	0.45
27	0.00	0.00	0.42	-1.13	2.11	0.75	0.67	2.49
28	0.61	0.23	0.20	-1.31	1.13	0.40	0.39	4.42
29	0.67	0.26	0.20	4.18	0.92	0.33	0.38	7.01
33	0.36	0.14	0.19	0.46	0.21	0.08	0.37	-1.59
37	1.01	0.39	0.30	0.25	0.51	0.18	0.51	-1.77
38	0.00	0.00	0.64	-1.21	1.13	0.40	0.93	-0.32
39	0.00	0.00	0.28	-2.53	0.22	0.08	0.49	-1.63
43	1.43	0.43	0.20	8.31	0.66	0.18	0.38	1.38
44	0.00	0.00	0.37	-1.61	0.00	0.00	0.61	-1.66
45	0.00	0.00	0.25	-3.24	0.82	0.22	0.45	0.53
49	0.33	0.25	0.23	-0.66	0.33	0.23	0.43	-0.71
50	0.00	0.00	0.46	-3.51	2.36	0.65	0.71	-0.70
54	0.46	0.35	0.22	1.64	0.29	0.21	0.41	-1.36
55	0.00	0.00	1.18	-0.92	0.00	0.00	1.57	-0.93
56	0.29	0.13	0.18	-0.28	0.44	0.18	0.35	2.55
60	0.22	0.10	0.23	-1.90	1.09	0.45	0.42	5.79
64	0.00	0.00	0.21	-3.38	0.15	0.15	0.49	-1.12
65	1.08	0.48	0.17	14.16	0.39	0.39	0.42	-0.41
66	0.00	0.00	0.65	-2.44	6.16	6.34	1.44	4.45
67	1.36	0.23	0.16	8.47	1.00	0.15	0.33	4.10
68	1.17	0.20	0.22	2.86	0.23	0.04	0.40	-1.04
69	1.01	0.17	0.20	1.10	1.22	0.18	0.39	1.82
70	1.33	0.23	0.24	0.25	1.33	0.20	0.44	-0.01
72	1.35	0.23	0.14	13.32	1.58	0.24	0.30	17.83
76	1.99	0.34	0.17	7.52	2.54	0.39	0.34	11.78
90	0.00	0.00	0.25	-3.60	2.36	0.15	0.44	-1.43
91	0.05	0.01	0.12	-32.12	1.05	0.12	0.28	3.50
93	0.00	0.00	0.13	-31.86	0.67	0.09	0.28	-6.25
94	0.00	0.00	0.22	-2.42	0.61	0.08	0.41	-0.53
95	0.06	0.01	0.14	-7.09	0.22	0.03	0.30	-4.21
96	0.00	0.00	0.32	-3.11	8.63	1.12	0.55	6.50
97	0.00	0.00	0.15	-6.83	0.82	0.11	0.32	2.94
98	0.00	0.00	0.36	-2.23	2.27	0.30	0.61	-0.35

7. Примјена предиктивног модела на државном путу IБ реда

ID segmenta	Период 1 (2011-2013)				Период 2 (2015-2017)			
	CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)	CF metoda	CR metoda	CCR metoda	EB metoda (PSI)
105	0.00	0.00	0.22	-4.85	1.15	0.20	0.41	-0.14
106	0.00	0.00	0.28	-2.12	0.46	0.08	0.49	-1.25
110	0.05	0.01	0.15	-4.75	0.24	0.04	0.31	-1.04
111	0.00	0.00	0.44	-2.16	1.20	0.20	0.69	-1.29
112	0.00	0.00	0.32	-3.14	0.63	0.11	0.55	-2.30
118	0.00	0.00	0.21	-3.73	0.31	0.14	0.40	0.11
120	0.00	0.00	0.21	-3.32	0.81	0.37	0.40	7.28
122	0.00	0.00	0.28	-3.64	0.00	0.00	0.50	-3.67
124	0.00	0.00	0.48	-0.86	0.00	0.00	0.76	-0.86
125	0.00	0.00	0.21	-3.44	0.40	0.19	0.40	1.39
127	0.00	0.00	0.29	-2.14	0.00	0.00	0.51	-2.14
131	0.39	0.22	0.21	1.91	0.26	0.14	0.40	-0.04
132	0.00	0.00	0.33	-2.11	0.90	0.42	0.54	1.64
136	1.09	0.62	0.29	5.37	0.62	0.35	0.51	2.72

Напомена: predstavlja 5%, predstavlja 10%, predstavlja 20% opasnih deonica

Како би се упоредили конкурентске методе идентификације опасних деоница примењена су три теста тј. тест конзистентности локације (Т1), тест конзистентности методе (Т2) и тест укупне разлике ранга (Т3). Из теста Т1 утврђено је да ЕБ метода има најбоље перформансе у погледу конзистентности локације у односу на друге методе идентификације опасних деоница (Табела 7.3). ЕБ методом је утврђена највећа фреквенција саобраћајних незгода у периоду 2 за идентификацију 5%, 10% и 20% опасних деоница тачније 61 незгода, 97 незгода и 130 незгода. На другом месту налази се CF метода са фреквенцијом саобраћајних незгода у периоду 2 од 40 незгода (5% опасних деоница), 86 незгода (10% опасних деоница) и 111 незгода (20% опасних деоница). Код идентификације 5% опасних деоница затим слиједи CR и CCR методе са по 19 незгода, док је код идентификације 10% опасних деоница CCR метода показала боље перформансе (50 незгода). Ипак, за идентификацију 20% опасних деоница CCR метода није могла бити примјењена због неиспуњавања елементарних услова за примјену ове методе.

Табела 7.3: Тест конзистентности локације

Metoda	$\alpha=0.95$	$\alpha=0.90$	$\alpha=0.80$
CF	40 (2)	86 (2)	111 (2)
CR	19 (3)	25 (4)	87 (3)
CCR	19 (3)	50 (3)	-
EB (PSI)	61 (1)	97 (1)	130 (1)

Напомена: $\alpha=0.95$, $\alpha=0.90$ и $\alpha=0.80$ представљају 5%, 10% и 20% идентификованих опасних деоница респективно

У табели 7.4 представљени су резултати Т2 теста. Најбоље перформансе на овом тесту приликом идентификације 5% опасних деоница показале су ЕБ и CF методе. Наиме, током два временска периода овим методама је идентификован 1 путни сегмент као опасан. Остале двије методе нису идентификовале ни један идентичан путни сегмент као опасан током два временска периода. Код идентификације 10% опасних деоница ЕБ метода је идентификовала 2 иста путна сегмента у два временска периода. Преостале методе тј. CF, CR и CCR су идентификовале по 1 исти путни сегмент у два временска периода.

7. Примјена предиктивног модела на државном путу IБ реда

За идентификацију 20% опасних деоница ЕБ методом је идентификовано 5 истих путних сегмената у два временска периода. Затим, слиједи CF метода са 4 иста путна сегмента у два временска периода. Најлошије перформансе на овом тесту показала је CR метода, док CCR методу није било могуће примјенити због неиспуњавања елементарних услова за примјену ове методе.

Табела 7.4: Тест конзистентности методе

Metoda	$\alpha=0.95$	$\alpha=0.90$	$\alpha=0.80$
CF	1 (33,33%)	1 (16,67%)	4 (33,33%)
CR	1 (00,00%)	1 (00,00%)	3 (25,00%)
CCR	1 (00,00%)	1 (16,67%)	-
ЕБ (PSI)	1 (33,33%)	2 (33,33%)	5 (41,67%)

Напомена: $\alpha=0.95$, $\alpha=0.90$ и $\alpha=0.80$ представљају 5%, 10% и 20% идентификованих опасних деоница респективно

Последњи тест коришћен за поређење конкурентских метода је Т3 тест (Табела 7.5). Поново је ЕБ метода показала најбоље перформансе у односу на друге методе. Ова метода има најмању сумирану разлику ранга деоница како код идентификације 5% и 10% опасних деоница, тако и код идентификације 20% опасних деоница. Затим следе CCR метода, па CF метода. CR метода има најгоре перформансе у погледу овог теста.

Табела 7.5: Тест укупне разлике ранга

Metoda	$\alpha=0.95$	$\alpha=0.90$	$\alpha=0.80$
CF	41 (3)	92 (3)	220 (4)
CR	42 (4)	118 (4)	169 (3)
CCR	38 (2)	90 (2)	165 (2)
ЕБ (PSI)	37 (1)	89 (1)	162 (1)

Напомена: $\alpha=0.95$, $\alpha=0.90$ и $\alpha=0.80$ представљају 5%, 10% и 20% идентификованих опасних деоница респективно

Узимајући у обзир резултате спроведених тестова закључено је да ЕБ метода има најбоље перформансе приликом идентификације опасних деоница у односу на друге посматране методе.

7.4. ДИСКУСИЈА

Идентификација опасних деоница је један од кључних корака код планирања и алокације људских и материјалних ресурса. У овом поглављу докторске дисертације је извшена идентификација опасних деоница на руралним путевима примјеном четири методе идентификације опасних деоница. Компаративна анализа конкурентских метода извршена је примјеном теста конзистентности локације, теста конзистентности методе и теста укупне разлике ранга. Развијени предиктивни модел за укупан број саобраћајних незгода је коришћен као улазни параметар у ЕБ методу.

Тестови су показали да ЕБ метода има боље перформансе него друге методе идентификације опасних деоница. Резултати тестова су показали да је ЕБ метода најконзистентнија и најпоузданија метода, што је у складу са претходним истраживањима ([Elvik, 2007](#); [Cheng & Washington, 2008](#); [Montella, 2010](#)). У овом истраживању CF метода је имала боље резултате на Т1 и Т2 тестовима него CCR и CR методе, што је у складу са претходним истраживањима ([Persaud et al., 1999](#); [Elvik, 2007](#); [Cheng & Washington, 2008](#); [Elvik, 2008](#)). CR метода се генерално показала као најнепоузданија и најнеконзистентнија

метода у идентификацији опасних деоница током времена. Овај податак је забрињавајући, обзиром да већима субјеката користи овај метод ([Montella, 2010](#)).

Применом ЕБ методе, на основу њиховог PSI, идентификовано је 5%, 10% и 20% најопаснијих деоница на државном путу IB-12. Највећи ефекти од примјене потенцијалних контрамјера ће се осјетити на деоницама Челарево – Нови Сад (сегмент ИД 72 и 76), Бачка Паланка – Челарево (Руменка) (сегмент ИД 67), Житиште - Банатско Карађорђево (сегмент ИД 120), Сомбор (индустријска зона) – Српски Милетић (сегмент ИД 29), Суботица (Сомбор) – Бајмок (сегмент ИД 3) и Мајур - Бачка Паланка (обилазница) (сегмент ИД 65). У зависности од расположивих средстава управљач пута би људске и материјалне ресурсе требао усмерити на ове деонице. Потребно је извршити истраживање локалних фактора који доприносе настанку саобраћајних незгода на овим деоницама. Резултати истраживања могу помоћи управљачу пута да изабере најадекватнији метод за идентификацију опасних деоница, те да изврши рангирање истих, како би ресурсе за побољшање безбедности саобраћаја инвестирани што ефектније и рационалније. Поред тога, може се имати користи код израде просторно-планске и пројектне документације и код студија „пре и после“.

Након спроведеног процеса прегледа и анализа путне мреже кроз рангирање опасних деоница потврђена је **основна хипотеза H₂** и помоћне хипотезе **H₂₁** и **H₂₂**. Примјењене су четири методе идентификације опасних деоница тј. три традиционале методе (CF, CR и CCR методе) и савремена ЕБ метода. Идентификоване су деонице руралног пута са највећим бројем предвиђених и очекиваних саобраћајних незгода. Затим је извршено поређење конкурентских метода идентификације опасних деоница и показано да се деонице могу рангирати према потенцијалу за побољшања безбједности пута кроз ЕБ методу. Показано је да ЕБ метода има боље перформансе од традиционалних метода и представља поуздан алат у идентификацији и рангирању опасних деоница руралног пута.

7.5. РЕФЕРЕНЦЕ

[AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.](#)

[Bandyopadhyaya, R., & Mitra, S. \(2011\). Comparative Analysis of Hotspot Identification Methods in the Presence of Limited Information. In 3rd International Conference on Road Safety and Simulation Transportation Research Board, Indianapolis, USA.](#)

[Cheng, W., & Washington, S. \(2008\). New criteria for evaluating methods of identifying hot spots. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(2083\), 76-85.](#)

[Donnell, E., & Mason Jr, J. \(2004\). Predicting the severity of median-related crashes in Pennsylvania by using logistic regression. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(1897\), 55-63.](#)

[Elvik, R. \(2007\). State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks. Transportøkonomisk institutt.](#)

[Elvik, R. \(2008\). Comparative analysis of techniques for identifying locations of hazardous roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(2083\), 72-75.](#)

Gan, A., K. Haleem, P. Alluri, J. Lu, T. Wang, M. Ma, and C. Diaz, "Preparing Florida for Deployment of SafetyAnalyst for All Road," Final Report Submitted to FDOT Research Center, Lehman Center for Transportation Research, Florida International University, 2012.

Hauer, E. (1995). On exposure and accident rate. *Traffic engineering & control*, 36(3).

Hauer, E., Allery, B.K., Kononov, J., Griffith, M.S. (2004). How Best to Rank Sites with Promise. *Transportation Research Record*, 1897. TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 48–54.

Hauer, E., Kononov, J., Allery, B., & Griffith, M. (2002). Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1784), 27-32.

Lim, I. K., & Kweon, Y. J. (2013). Identifying High-Crash-Risk Intersections: Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes-Safety Performance Function Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2364), 44-50.

Lu, J., & Weng, J. (2010). Improvement of Rate Quality Control Method in Identifying Hazardous Locations. In *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable* (pp. 591-602).

Montella, A., & Imbriani, L. L. (2015). Safety performance functions incorporating design consistency variables. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 133-144.

Persaud, B., Lyon, C., & Nguyen, T. (1999). Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1665), 7-12.

Zegeer, C. V. (1986). Methods for identifying hazardous highway elements (No. 128).

Zegeer, C. V., "Highway Safety Improvement Program – User's Guide," FHWA-TS-81-218, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C. (1981).

8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

8.1. ЗАКЉУЧАК

Примарни задатак ове докторске дисертације је развој предиктивног модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима, на основу историје саобраћајних незгода и одабраног сета независних варијабли. Подаци из различитих извора (МУП Републике Србије, ЈП „Путеви Србије“, google maps итд.) су прикупљени, анализирани и коришћени у оквиру ове докторске дисертације. Сет података је прикупљен за трогодишњи временски период (2015-2017. године). Поред њега, ради спровођења процедуре идентификације саобраћајних незгода, прикупљени су подаци за временски период 2011-2013. године (подаци о саобраћаним незгодама, дужинама деоница и ПГДС-у). Моделовање саобраћајних незгода је извршено коришћењем четири статистичка модела тј. Поасоновог, НБ, ЗИП и ЗИНБ модела. Укупан број саобраћајних незгода, саобраћајне незгоде са настрадалим лицима и саобраћајне незгоде са материјалном штетом су коришћене као зависне промјенљиве у тестираним моделима. Коришћен је сет од 19 независних промјенљивих, тачније 16 саобраћајних и геометријских варијабли и 3 вјештачке варијабле (за „хватање“ временских корелација у подацима). Након завршеног процеса моделовања развијена су три предиктивна модела фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима на основу НБ модела (једн. (6.1), једн. (6.3) и једн. (6.4)). Практична примјена развијеног модела (једн. (6.1)) спроведена је на државном путу ИБ-12, ради идентификације опасних руралних деоница. Предиктивни модел је представљао основу за коришћење ЕБ методе у идентификацији опасних деоница. Поред ЕБ методе, у идентификацији су коришћене 3 традиционалне методе (CF, CR и CCR методе). Секундарни задатак представља процјену релативног утицаја независних варијабли на фреквенцију саобраћајних незгода. Процјена је извршена спровођењем анализе еластичности.

Сљедећи закључци су извучени из резултата добијених у оквиру докторске дисертације:

- ✓ Најбоље перформансе, у погледу слагања са стварним подацима, у односу на друге конкурентске моделе (Поасонов, ЗИП и ЗИНБ модел) показао је НБ модел;
- ✓ НБ модел се показао најпрецизнијим у погледу предвиђања будућих саобраћајних незгода у односу на друге конкурентске моделе (Поасонов, ЗИП и ЗИНБ модел);
- ✓ Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода на руралним путевима развијен је на основу НБ модела:
 - за укупан број саобраћајних незгода;
 - за саобраћајне незгоде са настрадалим лицима;
 - за саобраћајне незгоде са материјалном штетом;
- Предиктивни модел фреквенције укупног броја саобраћајних незгода изграђен је користећи шест независних варијабли и то: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, БРКРИВ, ГУСПУТ и ИРИ;
- Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са настрадалим лицима изграђен је користећи шест независних варијабли и то: Л, ПДГС, ОГРБРЗ, БРКРИВ, ГУСПУТ и ИРИ;

- Предиктивни модел фреквенције саобраћајних незгода са материјалном штетом изграђен је користећи четири независне варијабле и то: Л, ПДГС, БРКРИВ и ГУСПУТ;
- ЕБ метода се показала као најефикаснија у идентификацији опасних деоница на основу спроведених тестова (конзистентности локације, конзистентности методе и укупне разлике ранга) у односу на CF, CR и CCR методу;
- Од 19 тестираних независних промјенљивих утврђено је да на фреквенцију укупног броја саобраћајних незгода и саобраћајних незгода са настрадалим лицима утиче 6 независних промјенљивих, а на фреквенцију саобраћајних незгода са материјалном штетом 4 независне промјенљиве. Све независне промјенљиве су имале позитиван предзнак;
- Утврђено је да са повећањем дужине деонице од 10% долази до повећања СНТОТАЛ за 3,4%, СНН за 1,9% и СНМАТ за 5%;
- Повећање од 10% у ПГДС-у води до повећања за 4,1% у СНТОТАЛ, 4,6% у СНН и 4,1% у СНМАТ;
- Постављено ограничење брзине је позитивно повезано са фреквенцијом саобраћајних незгода, те са повећањем од 10% долази до повећања од 16% у СНТОТАЛ и 40,4% у СНН;
- Процјене еластичности предлажу да повећање у густини приступних путева од 10% узрокује повећање од 2,4% у СНТОТАЛ, 2,3% у СНН и 2,9% у СНМАТ;
- Индекс равности пута је позитивно повезан са фреквенцијом укупног броја саобраћајних незгода и саобраћајних незгода са настрадалим лицима, те са повећањем од 10% долази до повећања од 3,7% у СНТОТАЛ и 4,9% у СНН;
- Анализа еластичности указује да повећање броја хоризонталних кривина у сегменту за 10% узрокује повећање СНТОТАЛ за 1,9%, СНН за 2,2% и СНМАТ за 1,8%.

Практична примјена развијеног модела спроведена је на државном путу ИБ-12, ради идентификације опасних руралних деоница. Предиктивни модел је представљао основу за коришћење ЕБ метода у идентификацији опасних деоница и идентификовано је 5%, 10% и 20% опасних деоница. Поред тога, развијени модел је нарочито користан алат код спровођења Процјене утицаја пута на безбједност саобраћаја (*RSIA*), јер представља нови метод у предвиђању фреквенције саобраћајних незгода, који може помоћи у доношењу одлуке код избора пројектне варијанте пута. Такође, резултати о утицају густине приступних путева на фреквенцију саобраћајних незгода представљају подршку у спровођењу савремених процедура Ревизија безбједности пута (*RSA*) и Провјера безбједности пута (*RSI*).

8.2. ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

Као што је раније наведено, истраживање спроведено у оквиру ове докторске дисертације се односи на руралне путеве. Утврђено је да су подаци кључни за анализу саобраћајних незгода. Квалитет истраживања је уско везан са доступношћу и квалитетом података. Из ограниченог сета података извучено је 19 независних промјенљивих, које су примјењене у моделовању фреквенције саобраћајних незгода. С тога, будућа истраживања у области безбједности саобраћаја, која се односе на предвиђање фреквенције саобраћајних незгода би требало да истраже сљедеће:

- Друге саобраћајне и геометријске варијабле које се могу укључити у модел (часовно саобраћајно оптерећење, вертикалне кривине, прегледност пута, подужни нагиб, поречни нагиб и сл.);
- Моделе фреквенције саобраћајних незгода за путеве у насељу, кривине, тангенте, за различите типове терена (равничарси, брдски и планински);
- Друге статистичке моделе из породице ГЛМ-а, као што су модели са фиксним и промјенљивим ефектима, те модели са фиксним и промјенљивим параметрима.

9. ЛИТЕРАТУРА

- [AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.](#)
- [Abbas, K. A. \(2004\). Traffic safety assessment and development of predictive models for accidents on rural roads in Egypt. Accident Analysis & Prevention, 36\(2\), 149-163.](#)
- [Abdel-Aty, M. A., & Radwan, A. E. \(2000\). Modeling traffic accident occurrence and involvement. Accident Analysis & Prevention, 32\(5\), 633-642.](#)
- [Abdel-Aty, M., & Keller, J. \(2005\). Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. Accident Analysis & Prevention, 37\(3\), 417-425.](#)
- [Abdelwahab, H., & Abdel-Aty, M. \(2001\). Development of artificial neural network models to predict driver injury severity in traffic accidents at signalized intersections. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(1746\), 6-13.](#)
- [ABS, 2017. Pregledni izveštaj, Uticaj puta na bezbednost saobraćaja. Agencija za bezbednost saobraćaja, Beograd.](#)
- [ABS, 2018. Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2017. godini. Agencija za bezbednost saobraćaja, Beograd.](#)
- [Aeron-Thomas, A., Astrop, A., & Jacobs, G. \(2000\). Estimating global road fatalities. TRL REPORT 445.](#)
- [Agresti, A., & Kateri, M. \(2011\). Categorical data analysis \(pp. 206-208\). Springer Berlin Heidelberg.](#)
- [Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P. \(2008\). Analysis of road crash frequency with spatial models. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, \(2061\), 55-63.](#)
- [Ahmed, M., Huang, H., Abdel-Aty, M., & Guevara, B. \(2011\). Exploring a Bayesian hierarchical approach for developing safety performance functions for a mountainous freeway. Accident Analysis & Prevention, 43\(4\), 1581-1589.](#)
- [Akaike, H. \(1974\). A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control, 19\(6\), 716-723.](#)
- [Anarkooli, A. J., Persaud, B., Hosseinpour, M., & Saleem, T. \(2018\). Comparison of univariate and two-stage approaches for estimating crash frequency by severity—Case study for horizontal curves on two-lane rural roads. Accident Analysis & Prevention.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. \(2009\). A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. Accident Analysis & Prevention, 41\(1\), 153-159.](#)

- [Anastasopoulos, P. C., & Mannering, F. L. \(2011\). An empirical assessment of fixed and random parameter logit models using crash-and non-crash-specific injury data. *Accident Analysis & Prevention*, 43\(3\), 1140-1147.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., Mannering, F. L., Shankar, V. N., & Haddock, J. E. \(2012\). A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 628-633.](#)
- [Anastasopoulos, P. C., Tarko, A. P., & Mannering, F. L. \(2008\). Tobit analysis of vehicle accident rates on interstate highways. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(2\), 768-775.](#)
- [Ayati, E., & Abbasi, E. \(2014\). Modeling Accidents on Mashhad Urban Highways. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 4\(01\), 22.](#)
- [Baker, S. P., & Haddon Jr, W. \(1974\). Reducing injuries and their results: the scientific approach. *The Milbank Memorial Fund Quarterly. Health and Society*, 377-389.](#)
- [Bandyopadhyaya, R., & Mitra, S. \(2011\). Comparative Analysis of Hotspot Identification Methods in the Presence of Limited Information. In *3rd International Conference on Road Safety and Simulation Transportation Research Board, Indianapolis, USA.*](#)
- [Bauer, K. M., & Harwood, D. W. \(2013\). Safety effects of horizontal curve and grade combinations on rural two-lane highways. *Transportation research record*, 2398\(1\), 37-49.](#)
- [Bhat, C. R., Born, K., Sidharthan, R., & Bhat, P. C. \(2014\). A count data model with endogenous covariates: formulation and application to roadway crash frequency at intersections. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 53-71.](#)
- [Bonneson, J. A., & McCoy, P. T. \(1993\). Estimation of safety at two-way stop-controlled intersections on rural highways. *Transportation Research Record*, \(1401\).](#)
- [Boroujerdian, A. M., Saffarzadeh, M., Yousefi, H., & Ghassemian, H. \(2014\). A model to identify high crash road segments with the dynamic segmentation method. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 274-287.](#)
- [Borsos, A., Ivan, J. N., & Orosz, G. \(2016\). Development of Safety Performance Functions for Two-Lane Rural First-Class Main Roads in Hungary. *Traffic Safety*, 4, 87-100.](#)
- [Brijs, T., Karlis, D., & Wets, G. \(2008\). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(3\), 1180-1190.](#)
- [Brüde, U., & Larsson, J. \(1993\). Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit?. *Accident Analysis & Prevention*, 25\(5\), 499-509.](#)
- [Buddhavarapu, P., Banerjee, A., & Prozzi, J. A. \(2013\). Influence of pavement condition on horizontal curve safety. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 9-18.](#)
- [Cafiso, S., D'Agostino, C., Kieć, M., & Bak, R. \(2018\). Safety assessment of passing relief lanes using microsimulation-based conflicts analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 116, 94-102.](#)

- [Cafiso, S., D'Agostino, C., & Persaud, B. \(2018\). Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering \(English Edition\)*, 5\(2\), 129-136.](#)
- [Cafiso, S., Di Graziano, A., Di Silvestro, G., La Cava, G., & Persaud, B. \(2010\). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis & Prevention*, 42\(4\), 1072-1079.](#)
- [Caliendo, C., De Guglielmo, M. L., & Guida, M. \(2013\). A crash-prediction model for road tunnels. *Accident Analysis & Prevention*, 55, 107-115.](#)
- [Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. \(2007a\). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39\(4\), 657-670.](#)
- [Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. \(2007b\). The association of rainfall and geometric characteristics on traffic crashes. In *4th International SHIV Congress, Palermo, Italy* \(pp. 12-14\).](#)
- [Cameron, A. C., & Trivedi, P. K. \(1998\). Regression analysis of count data. New York, NY: Cambridge University Press.](#)
- [Carson, J., & Mannering, F. \(2001\). The effect of ice warning signs on ice-accident frequencies and severities. *Accident Analysis & Prevention*, 33\(1\), 99-109.](#)
- [Chan, C. Y., Huang, B., Yan, X., & Richards, S. \(2010\). Investigating effects of asphalt pavement conditions on traffic accidents in Tennessee based on the pavement management system \(PMS\). *Journal of advanced transportation*, 44\(3\), 150-161.](#)
- [Chang, L. Y. \(2005\). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety science*, 43\(8\), 541-557.](#)
- [Chang, L. Y., & Chen, W. C. \(2005\). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of safety research*, 36\(4\), 365-375.](#)
- [Chen, C., & Xie, Y. \(2016\). Modeling the effects of AADT on predicting multiple-vehicle crashes at urban and suburban signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 72-83.](#)
- [Chen, F., Chen, S., & Ma, X. \(2016\). Crash frequency modeling using real-time environmental and traffic data and unbalanced panel data models. *International journal of environmental research and public health*, 13\(6\), 609.](#)
- [Chen, T., Wei, L., & Zhou, W. X. \(2011\). Study on the Relationship between the Horizontal Alignment Indices and Traffic Safety in Mountainous Freeway. In *ICCTP 2011: Towards Sustainable Transportation Systems* \(pp. 2319-2325\).](#)
- [Cheng, W., & Washington, S. \(2008\). New criteria for evaluating methods of identifying hot spots. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2083\), 76-85.](#)
- [Chengye, P., & Ranjitkar, P. \(2013\). Modelling motorway accidents using negative binomial regression. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 10, 1946-1963.](#)

- [Chin, H. C., & Quddus, M. A. \(2003\). Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, 35\(2\), 253-259.](#)
- [Christensen, P., & Ragnøy, A. \(2006\). Vegdekkets tilstand og trafikksikkerhet. Rapport 840/2006. Oslo: Transportøkonomisk institutt.](#)
- [Chung, Y. \(2010\). Development of an accident duration prediction model on the Korean Freeway Systems. *Accident Analysis & Prevention*, 42\(1\), 282-289.](#)
- [Corben, B., Newstead, S., Diamantopoulou, K., & Cameron, M. \(1996\). Results of an evaluation of TAC funded accident black spot treatments. In *Combined 18th ARRB Transport Research Conference and Transit New Zealand Land Transport Symposium, 1996, Christchurch, New Zealand* \(Vol. 18, No. 5\).](#)
- [Council, F. \(1998\). Safety benefits of spiral transitions on horizontal curves on two-lane rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1635\), 10-17.](#)
- [Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., & Wets, G. \(2010\). Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis & Prevention*, 42\(2\), 393-402.](#)
- [Das, A., Pande, A., Abdel-Aty, M., & Santos, J. \(2008\). Characteristics of urban arterial crashes relative to proximity to intersections and injury severity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2083\), 137-144.](#)
- [Dinu, R. R., & Veeraragavan, A. \(2011\). Random parameter models for accident prediction on two-lane undivided highways in India. *Journal of safety research*, 42\(1\), 39-42.](#)
- [Donnell, E. T., & Mason Jr, J. M. \(2006\). Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania interstate highways. *Accident Analysis & Prevention*, 38\(3\), 590-599.](#)
- [Donnell, E. T., Gayah, V. V., & Jovanis, P. \(2014\). *Safety Performance Functions* \(No. FHWA-PA-2014-007-PSU WO 1\). Pennsylvania Department of Transportation.](#)
- [Donnell, E., & Mason Jr, J. \(2004\). Predicting the severity of median-related crashes in Pennsylvania by using logistic regression. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1897\), 55-63.](#)
- [Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., & Stefan, C. \(2008\). Accident prediction models and road safety impact assessment: recommendations for using these tools. Institute for Road Safety Research, Leidschendam.](#)
- [Eisenberg, D. \(2004\). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident analysis & prevention*, 36\(4\), 637-647.](#)
- [El-Basyouny, K., & Sayed, T. \(2006\). Comparison of two negative binomial regression techniques in developing accident prediction models. *Transportation Research Record*, 1950\(1\), 9-16.](#)
- [El-Basyouny, K., & Sayed, T. \(2009\). Accident prediction models with random corridor parameters. *Accident Analysis & Prevention*, 41\(5\), 1118-1123.](#)

- [Elvik, R. \(2000\). How much do road accidents cost the national economy?. *Accident Analysis & Prevention*, 32\(6\), 849-851.](#)
- [Elvik, R. \(2007\). *State-of-the-art approaches to road accident black spot management and safety analysis of road networks*. Transportøkonomisk institutt.](#)
- [Elvik, R. \(2008\). Comparative analysis of techniques for identifying locations of hazardous roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2083\), 72-75.](#)
- [Elvik, R., Høye, A., Vaa, T., & Sørensen, M. \(Eds.\). \(2009\). *The handbook of road safety measures*. Emerald Group Publishing Limited.](#)
- [European Commission, 2016. Annual Accident Report. European Commission, Directorate General for Transport](#)
- [Fambro, D. B., Fitzpatrick, K., & Koppa, R. J. \(1997\). *Determination of stopping sight distances*. Transportation Research Board.](#)
- [Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., & Thomsen, L. K. \(1995\). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis & Prevention*, 27\(1\), 1-20.](#)
- [Fu, R., Guo, Y., Yuan, W., Feng, H., & Ma, Y. \(2011\). The correlation between gradients of descending roads and accident rates. *Safety science*, 49\(3\), 416-423.](#)
- [Gan, A., K. Haleem, P. Alluri, J. Lu, T. Wang, M. Ma, and C. Diaz, “Preparing Florida for Deployment of SafetyAnalyst for All Road,” Final Report Submitted to FDOT Research Center, Lehman Center for Transportation Research, Florida International University, 2012.](#)
- [Garach, L., de Oña, J., López, G., & Baena, L. \(2016\). Development of safety performance functions for Spanish two-lane rural highways on flat terrain. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 250-265.](#)
- [Gargoum, S. A., & El-Basyouny, K. \(2016\). Exploring the association between speed and safety: A path analysis approach. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 32-40.](#)
- [Geedipally, S. R., Lord, D., & Dhavala, S. S. \(2012\). The negative binomial-Lindley generalized linear model: Characteristics and application using crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 258-265.](#)
- [Gomes, S. V. \(2013\). The influence of the infrastructure characteristics in urban road accidents occurrence. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 289-297.](#)
- [Gooch, J. P., Gayah, V. V., & Donnell, E. T. \(2016\). Quantifying the safety effects of horizontal curves on two-way, two-lane rural roads. *Accident Analysis & Prevention*, 92, 71-81.](#)
- [Google Earth \(Google\). \(2018\). <<http://www.google.com/earth/index.html>> \(August, 2018\)](#)
- [Greibe, P. \(2003\). Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, 35\(2\), 273-285.](#)

- [Guo, Y., & Sun, Q. \(2013\). Modeling Crash Frequency of A Typical Mountainous Freeway. In *ICTIS 2013: Improving Multimodal Transportation Systems-Information, Safety, and Integration* \(pp. 1417-1425\).](#)
- [Gustavsson, J., & Svensson, Å. \(1976\). A Poisson regression model applied to classes of road accidents with small frequencies. *Scandinavian Journal of Statistics*, 49-60.](#)
- [Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L. F., & Wattleworth, J. A. \(1995\). Estimating safety effects of cross-section design for various highway types using negative binomial regression. *Transportation Research Record*, 1500, 169.](#)
- [Hanley, K. E., Gibby, A. R., & Ferrara, T. C. \(2000\). Analysis of accident-reduction factors on California state highways. *Transportation Research Record*, 1717\(1\), 37-45.](#)
- [Harwood, D. W., Torbic, D. J., Richard, K. R., & Meyer, M. M. \(2010\). *SafetyAnalyst: Software tools for safety management of specific highway sites* \(No. FHWA-HRT-10-063\).](#)
- [Hauer, E. \(1995\). On exposure and accident rate. *Traffic engineering & control*, 36\(3\).](#)
- [Hauer, E. \(1997\). OBSERVATIONAL BEFORE-AFTER STUDIES IN ROAD SAFETY-- ESTIMATING THE EFFECT OF HIGHWAY AND TRAFFIC ENGINEERING MEASURES ON ROAD SAFETY.](#)
- [Hauer, E. \(2015\). The art of regression modeling in road safety \(Vol. 38\). Springer.](#)
- [Hauer, E., Allery, B.K., Kononov, J., Griffith, M.S. \(2004\). How Best to Rank Sites with Promise. *Transportation Research Record*, 1897. TRB, National Research Council, Washington, DC, pp. 48–54.](#)
- [Hauer, E., Council, F., & Mohammedshah, Y. \(2004\). Safety models for urban four-lane undivided road segments. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1897\), 96-105.](#)
- [Hauer, E., Harwood, D., Council, F., & Griffith, M. \(2002\). Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1784\), 126-131.](#)
- [Hauer, E., Kononov, J., Allery, B., & Griffith, M. \(2002\). Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1784\), 27-32.](#)
- [Hauer, E., Ng, J. C., & Lovell, J. \(1988\). *Estimation of safety at signalized intersections \(with discussion and closure\)* \(No. 1185\).](#)
- [Hausman, J. A., Hall, B. H., & Griliches, Z. \(1984\). Econometric models for count data with an application to the patents-R&D relationship.](#)
- [Hosseinpour, M., Yahaya, A. S., & Sadullah, A. F. \(2014\). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 209-222.](#)

- [Hou, D., Han, J., Sun, X., & He, Y. \(2010\). Study on the Relationship between Speed Difference and Crash Rate on Freeway. In *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable* \(pp. 354-359\).](#)
- [Hou, Q., Tarko, A. P., & Meng, X. \(2018b\). Investigating factors of crash frequency with random effects and random parameters models: New insights from Chinese freeway study. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 1-12.](#)
- [Hou, Q., Tarko, A.P., Meng, X., 2018a. Analyzing crash frequency in freeway tunnels: a correlated random parameters approach. *Accid. Anal. Prev.* 111, 94–100.](#)
- [Imprialou, M. I. M., Quddus, M., Pitfield, D. E., & Lord, D. \(2016\). Re-visiting crash–speed relationships: A new perspective in crash modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 86, 173-185.](#)
- Inić, M.: Bezbednost drumskog saobraćaja, FTN izdavaštvo, Novi Sad, 2001
- iRAP (2014), Business Case for Safer Roads, International Road Assessment Programme www.irap.org/en/about-irap-2/a-business-case-for-safer-roads
- [Jackisch, J., Sethi, D., Mitis, F., Szymański, T., & Arra, I. \(2016\). European facts and the global status report on road safety 2015. *Injury Prevention*, 22\(Suppl 2\), A29-A29.](#)
- [Jiang, X., Yan, X., Huang, B., & Richards, S. H. \(2011\). Influence of curbs on traffic crash frequency on high-speed roadways. *Traffic injury prevention*, 12\(4\), 412-421.](#)
- [Jones, B., Janssen, L., & Mannering, F. \(1991\). Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle. *Accident Analysis & Prevention*, 23\(4\), 239-255.](#)
- [Joshua, S. C., & Garber, N. J. \(1990\). Estimating truck accident rate and involvements using linear and Poisson regression models. *Transportation planning and Technology*, 15\(1\), 41-58.](#)
- [Jovanis, P. P., & Chang, H. L. \(1986\). Modeling the relationship of accidents to miles traveled. *Transportation Research Record*, 1068, 42-51.](#)
- [Jovanović, D., Bačkalić, T., & Bašić, S. \(2011\). The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. *Safety science*, 49\(8\), 1246-1251.](#)
- [Jovanović, D., Lipovac, K., Stanojević, P., & Stanojević, D. \(2011\). The effects of personality traits on driving-related anger and aggressive behaviour in traffic among Serbian drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 14\(1\), 43-53.](#)
- [Karlaftis, M. G., & Golias, I. \(2002\). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, 34\(3\), 357-365.](#)
- [Kumara, S. S. P., & Chin, H. C. \(2003\). Modeling accident occurrence at signalized tee intersections with special emphasis on excess zeros. *Traffic Injury Prevention*, 4\(1\), 53-57.](#)
- [Kumara, S., & Chin, H. \(2005\). Application of Poisson underreporting model to examine crash frequencies at signalized three-legged intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1908\), 46-50.](#)

- [Labi, S. \(2011\). Efficacies of roadway safety improvements across functional subclasses of rural two-lane highways. *Journal of safety research*, 42\(4\), 231-239.](#)
- [Lambert, D. \(1992\). Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, 34\(1\), 1-14.](#)
- [Lee, A. H., Stevenson, M. R., Wang, K., & Yau, K. K. \(2002\). Modeling young driver motor vehicle crashes: data with extra zeros. *Accident Analysis & Prevention*, 34\(4\), 515-521.](#)
- [Lee, J., & Mannering, F. \(2002\). Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 34\(2\), 149-161.](#)
- [Lim, I. K., & Kweon, Y. J. \(2013\). Identifying High-Crash-Risk Intersections: Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes-Safety Performance Function Method. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2364\), 44-50.](#)
- Lipovac, K., Jovanović, D., & Vujanić, M. (2014). Osnove bezbednosti saobraćaja. JP „Službeni glasnik“, Beograd. ISBN 978-86-7020-301-3.
- [Lord, D., & Mahlawat, M. \(2009\). Examining application of aggregated and disaggregated Poisson-gamma models subjected to low sample mean bias. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2136\), 1-10.](#)
- [Lord, D., & Mannering, F. \(2010\). The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44\(5\), 291-305.](#)
- [Lord, D., & Miranda-Moreno, L. F. \(2008\). Effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter of Poisson-gamma models for modeling motor vehicle crashes: a Bayesian perspective. *Safety Science*, 46\(5\), 751-770.](#)
- [Lord, D., & Persaud, B. \(2000\). Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1717\), 102-108.](#)
- [Lord, D., Guikema, S. D., & Geedipally, S. R. \(2008\). Application of the Conway–Maxwell–Poisson generalized linear model for analyzing motor vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(3\), 1123-1134.](#)
- [Lord, D., Manar, A., & Vizioli, A. \(2005\). Modeling crash-flow-density and crash-flow-V/C ratio relationships for rural and urban freeway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 37\(1\), 185-199.](#)
- [Lord, D., Washington, S. P., & Ivan, J. N. \(2005\). Poisson, Poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis & Prevention*, 37\(1\), 35-46.](#)

- Lu, J., & Weng, J. (2010). Improvement of Rate Quality Control Method in Identifying Hazardous Locations. In *ICCTP 2010: Integrated Transportation Systems: Green, Intelligent, Reliable* (pp. 591-602).
- Ma, J., Kockelman, K. M., & Damien, P. (2008). A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods. *Accident Analysis & Prevention*, 40(3), 964-975.
- Ma, X., Chen, F., & Chen, S. (2015). Modeling crash rates for a mountainous highway by using refined-scale panel data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2515), 10-16.
- Ma, Z., Zhang, H., Steven, I., Chien, J., Wang, J., & Dong, C. (2017). Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model: A case study in China. *Accident Analysis & Prevention*, 98, 214-222.
- Maher, M. J., & Summersgill, I. (1996). A comprehensive methodology for the fitting of predictive accident models. *Accident Analysis & Prevention*, 28(3), 281-296.
- Malyshkina, N. V., & Mannering, F. L. (2010a). Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 131-139.
- Malyshkina, N. V., & Mannering, F. L. (2010b). Zero-state Markov switching count-data models: an empirical assessment. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 122-130.
- Malyshkina, N. V., Mannering, F. L., & Tarko, A. P. (2009). Markov switching negative binomial models: an application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 41(2), 217-226.
- Mannering, F. L. (1993). Male/female driver characteristics and accident risk: some new evidence. *Accident Analysis & Prevention*, 25(1), 77-84.
- Mannering, F. L., & Bhat, C. R. (2014). Analytic methods in accident research: methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 1-22.
- Mannering, F. L., Shankar, V., & Bhat, C. R. (2016). Unobserved heterogeneity and the statistical analysis of highway accident data. *Analytic methods in accident research*, 11, 1-16.
- Miaou, S. P. (1994). The relationship between truck accidents and geometric design of road sections: Poisson versus negative binomial regressions. *Accident Analysis & Prevention*, 26(4), 471-482.
- Miaou, S. P., & Lum, H. (1993). Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis & Prevention*, 25(6), 689-709.
- Mičić, S., Đorđević, M., Jasnić, S., Subotić, I. (2018). Accident frequency prediction model for flat rural roads. *XIV International Symposium "Road Accidents Prevention 2018", Novi Sad*, vol. 1, pp. 93-103, (ISBN 978-86-6022-099-0).

- Mićić, S., Jovanović, D., Matović, B. (2016). A crash frequency – prediction model: case study for IB-21 road. *XIII International Symposium "Road Accidents Prevention 2016", Novi Sad*, vol. 1, pp. 73-80 , (ISBN 978-86-7892-855-0).
- [Milton, J. C., Shankar, V. N., & Mannering, F. L. \(2008\). Highway accident severities and the mixed logit model: an exploratory empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 40\(1\), 260-266.](#)
- [Milton, J., & Mannering, F. \(1998\). The relationship among highway geometrics, traffic-related elements and motor-vehicle accident frequencies. *Transportation*, 25\(4\), 395-413.](#)
- [Miranda-Moreno, L. F., & Fu, L. \(2006\). A comparative study of alternative model structures and criteria for ranking locations for safety improvements. *Networks and Spatial Economics*, 6\(2\), 97-110.](#)
- [Mitra, S., Chin, H. C., & Quddus, M. \(2002\). Study of intersection accidents by maneuver type. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1784\), 43-50.](#)
- [Montella, A. \(2010\). A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, 42\(2\), 571-581.](#)
- [Montella, A., & Imbriani, L. L. \(2015\). Safety performance functions incorporating design consistency variables. *Accident Analysis & Prevention*, 74, 133-144.](#)
- [Montella, A., Colantuoni, L., & Lamberti, R. \(2008\). Crash prediction models for rural motorways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(2083\), 180-189.](#)
- [Mothafer, G. I., Yamamoto, T., & Shankar, V. N. \(2017\). A negative binomial crash sum model for time invariant heterogeneity in panel crash data: Some insights. *Analytic methods in accident research*, 14, 1-9.](#)
- [Mothafer, G. I., Yamamoto, T., & Shankar, V. N. \(2018\). A multivariate heterogeneous-dispersion count model for asymmetric interdependent freeway crash types. *Transportation research part B: methodological*, 108, 84-105.](#)
- [Mustakim, F., & Fujita, M. \(2011\). Development of accident predictive model for rural roadway. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58\(10\), 126-31.](#)
- [National Center for Statistics and Analysis. \(2017a, February\). Summary of motor vehicle crashes \(Early edition\): 2015 data. \(Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 376\). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.](#)
- [National Center for Statistics and Analysis. \(2017b\). A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System: 2015 data. \(Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 384\). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.](#)

- National Center for Statistics and Analysis. (2018, April). Rural/urban comparison of traffic fatalities: 2016 data. (Traffic Safety Facts. Report No. DOT HS 812 521). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized linear models. Encyclopedia of statistical sciences.
- OECD (1999), Safety Strategies for Rural Roads, OECD Publishing, Paris.
- Oh, J., Washington, S. P., & Nam, D. (2006). Accident prediction model for railway-highway interfaces. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 346-356.
- Oh, J., Washington, S., & Lee, D. (2010). Property damage crash equivalency factors to solve crash frequency-severity dilemma: case study on South Korean rural roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2148), 83-92.
- Omari-Sasu, A. Y., Isaac, A. M., & Boadi, R. K. (2016). Statistical Models for Count Data with Applications to Road Accidents in Ghana. *International Journal of Statistics and Applications*, 6(3), 123-137.
- Papayannoulis, V., Gluck, J. S., Feeney, K., & Levinson, H. S. (1999, June). Access spacing and traffic safety. In *Urban Street Symposium* (pp. 28-30).
- Park, E. S., Carlson, P. J., Porter, R. J., & Andersen, C. K. (2012). Safety effects of wider edge lines on rural, two-lane highways. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 317-325.
- Peden, M., Kobusingye, O., & Monono, M. E. (2013). Africa's roads-the deadliest in the world. *SAMJ: South African Medical Journal*, 103(4), 228-229.
- Persaud, B. N. (2001). *Statistical methods in highway safety analysis* (No. Project 20-5 FY 1999).
- Persaud, B., Lyon, C., & Nguyen, T. (1999). Empirical Bayes procedure for ranking sites for safety investigation by potential for safety improvement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1665), 7-12.
- Persaud, B., Lyon, C., Bagdade, J., & Ceifetz, A. (2013). Evaluation of safety performance of passing relief lanes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2348), 58-63.
- Poch, M., & Mannering, F. (1996). Negative binomial analysis of intersection-accident frequencies. *Journal of transportation engineering*, 122(2), 105-113.
- Qin, X., Ivan, J. N., & Ravishanker, N. (2004). Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis & Prevention*, 36(2), 183-191.
- Raffo, V., Bose, D., & Shotten, M. (2014). *Measuring Road Safety Performance Through Regional Observatory in Latin America* (No. 87824).
- Republički zavod za statistiku Srbije (2017). Registrovana drumska motorna i priključna vozila i saobraćajne nezgode na putevima, 2016 (saopštenje broj 072 - god. LXVII, 17.03.2017.). Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0353-9555.

- [Republički zavod za statistiku Srbije \(2018a\). Registrovana drumska motorna i priključna vozila i saobraćajne nezgode na putevima, 2017 \(saopštenje broj 063 - god. LXVIII, 09.03.2018.\). Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0353-9555.](#)
- [Republički zavod za statistiku Srbije \(2018b\). Statistički godišnjak Republike Srbije, 2018. Republički zavod za statistiku Srbije, Beograd. ISSN 0354-4206.](#)
- [Rusli, R., Haque, M. M., King, M., & Voon, W. S. \(2017\). Single-vehicle crashes along rural mountainous highways in Malaysia: An application of random parameters negative binomial model. *Accident Analysis & Prevention*, 102, 153-164.](#)
- [Sacomanno, F. F., Grossi, R., Greco, D., & Mehmood, A. \(2001\). Identifying black spots along highway SS107 in Southern Italy using two models. *Journal of transportation engineering*, 127\(6\), 515-522.](#)
- [Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D., & Quddus, M. A. \(2011\). The statistical analysis of highway crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis & Prevention*, 43\(5\), 1666-1676.](#)
- [Schwarz, G. \(1978\). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6\(2\), 461-464.](#)
- [Shankar, V. N., Ulfarsson, G. F., Pendyala, R. M., & Nebergall, M. B. \(2003\). Modeling crashes involving pedestrians and motorized traffic. *Safety Science*, 41\(7\), 627-640.](#)
- [Shankar, V., Albin, R., Milton, J., & Mannering, F. \(1998\). Evaluating median crossover likelihoods with clustered accident counts: An empirical inquiry using the random effects negative binomial model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, \(1635\), 44-48.](#)
- [Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. \(1995\). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27\(3\), 371-389.](#)
- [Shankar, V., Milton, J., & Mannering, F. \(1997\). Modeling accident frequencies as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis & Prevention*, 29\(6\), 829-837.](#)
- [Shirazi, M., Lord, D., Dhavala, S. S., & Geedipally, S. R. \(2016\). A semiparametric negative binomial generalized linear model for modeling over-dispersed count data with a heavy tail: Characteristics and applications to crash data. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 10-18.](#)
- [Sittikariya, S., Shankar, V. N., Shyu, M. B., & Chayanan, S. \(2005\). Accounting for serial correlation in count models of traffic safety. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 3645-3657.](#)
- [Sl. glasnik RS \(2005\). Zakon o javnim putevima. Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije, 101/2005.](#)
- [Sl. glasnik RS \(2015\). Strategija bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije za period od 2015. do 2020. godine. Beograd: Službeni glasnik Republike Srbije, 64/2015.](#)

- Srinivasan, R., Gross, F., Lan, B., & Bahar, G. (2016). *Reliability of Safety Management Methods: Network Screening* (No. FHWA-SA-16-037).
- Sterman, J. (2002). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*.
- Strawderman, L., Rahman, M. M., Huang, Y., & Nandi, A. (2015). Driver behavior and accident frequency in school zones: assessing the impact of sign saturation. *Accident Analysis & Prevention*, 82, 118-125.
- Taylor, M. C., Baruya, A., & Kennedy, J. V. (2002). *The relationship between speed and accidents on rural single-carriageway roads* (Vol. 511). TRL.
- Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1979). Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report. Executive summary.
- Vadlamani, S., Chen, E., Ahn, S., & Washington, S. (2010). Identifying large truck hot spots using crash counts and PDOEs. *Journal of Transportation Engineering*, 137(1), 11-21.
- Vangala, P., Lord, D., & Geedipally, S. R. (2015). Exploring the application of the negative binomial-generalized exponential model for analyzing traffic crash data with excess zeros. *Analytic methods in accident research*, 7, 29-36.
- Vayalamkuzhi, P., & Amirthalingam, V. (2016). Influence of geometric design characteristics on safety under heterogeneous traffic flow. *Journal of traffic and transportation engineering (English edition)*, 3(6), 559-570.
- Venkataraman, N., Ulfarsson, G. F., & Shankar, V. N. (2013). Random parameter models of interstate crash frequencies by severity, number of vehicles involved, collision and location type. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 309-318.
- Vogt, A., & Bared, J. (1998). Accident models for two-lane rural segments and intersections. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1635), 18-29.
- Voigt, A. P., & Krammes, R. (1998). An operational and safety evaluation of alternative horizontal curve design approaches on rural two-lane highways. *Transportation research circular*, (E-C003), 11-1.
- Vuong, Q. H. (1989). Likelihood ratio tests for model selection and non-nested hypotheses. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 307-333.
- Wang, X., Song, Y., Yu, R., & Schultz, G. G. (2014). Safety modeling of suburban arterials in Shanghai, China. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 215-224.
- Washington, S., Haque, M. M., Oh, J., & Lee, D. (2014). Applying quantile regression for modeling equivalent property damage only crashes to identify accident blackspots. *Accident Analysis & Prevention*, 66, 136-146.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2011. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.

- [Wood, J. S., Donnell, E. T., & Fariss, C. J. \(2016\). A method to account for and estimate underreporting in crash frequency research. *Accident Analysis & Prevention*, 95, 57-66.](#)
- [World Health Organization, 2013. Global Status Report on Road Safety 2013: Supporting a Decade of Action. World Health Organization, Geneva, Switzerland.](#)
- [World Health Organization, 2015. Global Status Report on Road Safety 2015. World Health Organization, Geneva, Switzerland.](#)
- [Wouters, P. I., & Bos, J. M. \(2000\). Traffic accident reduction by monitoring driver behaviour with in-car data recorders. *Accident Analysis & Prevention*, 32\(5\), 643-650.](#)
- [Xie, Y., Lord, D., & Zhang, Y. \(2007\). Predicting motor vehicle collisions using Bayesian neural network models: An empirical analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 39\(5\), 922-933.](#)
- [Xu, X., Teng, H., Kwigizile, V., & Mulokozi, E. \(2014\). Modeling signalized-intersection safety with corner clearance. *Journal of Transportation Engineering*, 140\(6\), 04014016.](#)
- [Yaacob, W. F. W., Lazim, M. A., & Wah, Y. B. \(2010, December\). Evaluating spatial and temporal effects of accidents likelihood using random effects panel count model. In *Science and Social Research \(CSSR\), 2010 International Conference on* \(pp. 960-964\). IEEE.](#)
- [Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. C. \(2013\). A simultaneous equations model of crash frequency by severity level for freeway sections. *Accident Analysis & Prevention*, 57, 140-149.](#)
- [Young, J., Park, P., & Eng, P. \(2012, October\). Comparing the Highway Safety Manual's Safety Performance Functions with Jurisdiction-Specific Functions for Intersections in Regina. In *Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Fredericton, New Brunswick.*](#)
- [Yu, R., & Abdel-Aty, M. \(2013b\). Multi-level Bayesian analyses for single-and multi-vehicle freeway crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 58, 97-105.](#)
- [Yu, R., & Abdel-Aty, M. \(2013a\). Investigating different approaches to develop informative priors in hierarchical Bayesian safety performance functions. *Accident Analysis & Prevention*, 56, 51-58.](#)
- [Yu, R., Abdel-Aty, M., & Ahmed, M. \(2013\). Bayesian random effect models incorporating real-time weather and traffic data to investigate mountainous freeway hazardous factors. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 371-376.](#)
- [Yu, R., Xiong, Y., & Abdel-Aty, M. \(2015\). A correlated random parameter approach to investigate the effects of weather conditions on crash risk for a mountainous freeway. *Transportation research part C: emerging technologies*, 50, 68-77.](#)
- [Zegeer, C. V. \(1986\). Methods for identifying hazardous highway elements \(No. 128\).](#)
- [Zegeer, C. V., "Highway Safety Improvement Program – User's Guide," FHWA-TS-81-218, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C. \(1981\).](#)

Zegeer, C., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., ... & Hunter, W. (1991). Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves.

Zou, Y., & Tarko, A. P. (2016). An insight into the performance of road barriers– redistribution of barrier-relevant crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 152-161.

Zou, Y., Geedipally, S. R., & Lord, D. (2013). Evaluating the double Poisson generalized linear model. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 497-505.

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ 1. ИСПИС ИЗ ИНТЕГРИСАНЕ БАЗЕ ПОДАТАКА (%ПА, %БУС, %КОМ, ПГДС)

ИД дионице	Назив дионице	%ПА 2015	%БУС 2015	%КОМ 2015	ПГДС 2015	%ПА 2016	%БУС 2016	%КОМ 2016	ПГДС 2016	%ПА 2017	%БУС 2017	%КОМ 2017	ПГДС 2017
1	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
2	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
3	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
4	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
5	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
6	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0.90	0.02	0.02	3664	0.91	0.02	0.02	4030	0.91	0.02	0.02	4225
7	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
8	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
9	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
10	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
11	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
12	Бајмок - Светозар Милетић	0.88	0.01	0.02	1987	0.88	0.01	0.02	2166	0.88	0.01	0.02	2252
13	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.88	0.01	0.02	2747	0.88	0.01	0.02	2995	0.89	0.01	0.02	2999
14	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.88	0.01	0.02	2747	0.88	0.01	0.02	2995	0.89	0.01	0.02	2999
15	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.88	0.01	0.02	2747	0.88	0.01	0.02	2995	0.89	0.01	0.02	2999
16	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.88	0.01	0.02	2747	0.88	0.01	0.02	2995	0.89	0.01	0.02	2999
17	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.88	0.01	0.02	2747	0.88	0.01	0.02	2995	0.89	0.01	0.02	2999
18	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.89	0.01	0.02	4360	0.90	0.01	0.02	4756	0.88	0.01	0.02	4592
19	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.89	0.01	0.02	4360	0.90	0.01	0.02	4756	0.88	0.01	0.02	4592
20	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.89	0.01	0.02	4360	0.90	0.01	0.02	4756	0.88	0.01	0.02	4592
21	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.89	0.01	0.02	4360	0.90	0.01	0.02	4756	0.88	0.01	0.02	4592
22	Сомбор (Апатин) - Сомбор (индустриска зона)	0.89	0.01	0.02	2453	0.88	0.01	0.02	2550	0.91	0.01	0.01	2405
25	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
26	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
27	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
28	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667

ИД дионице	Назив дионице	%ПА 2015	%БУС 2015	%КОМ 2015	ПГДС 2015	%ПА 2016	%БУС 2016	%КОМ 2016	ПГДС 2016	%ПА 2017	%БУС 2017	%КОМ 2017	ПГДС 2017
29	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
30	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
31	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
32	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
33	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
34	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
35	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
36	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
37	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
38	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
39	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
40	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.88	0.01	0.02	2475	0.88	0.01	0.02	2578	0.88	0.01	0.02	2667
41	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
42	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
43	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
44	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
45	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
46	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
47	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
48	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
49	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322
50	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0.88	0.01	0.02	3199	0.87	0.01	0.02	3321	0.88	0.01	0.02	3446
51	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322
52	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322
53	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322
54	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322

ИД дионице	Назив дионице	%ПА 2015	%БУС 2015	%КОМ 2015	ПГДС 2015	%ПА 2016	%БУС 2016	%КОМ 2016	ПГДС 2016	%ПА 2017	%БУС 2017	%КОМ 2017	ПГДС 2017
55	Оџаци (Кула) - Бач	0.81	0.01	0.02	1216	0.81	0.01	0.03	1285	0.82	0.01	0.03	1322
56	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
57	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
58	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
59	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
60	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
61	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
62	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
63	Бач - Мајур	0.87	0.02	0.02	2098	0.88	0.02	0.02	2225	0.89	0.02	0.02	2327
64	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	0.87	0.02	0.02	895	0.88	0.02	0.03	951	0.88	0.01	0.02	816
65	Мајур - Бачка Паланка (обилазница)	0.79	0.04	0.03	955	0.80	0.03	0.04	1008	0.89	0.02	0.02	760
66	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	0.87	0.02	0.02	895	0.88	0.02	0.03	951	0.88	0.01	0.02	816
67	Бачка Паланка - Челарево	0.89	0.01	0.01	5616	0.88	0.01	0.02	6042	0.88	0.01	0.02	6276
68	Бачка Паланка - Челарево	0.89	0.01	0.01	5616	0.88	0.01	0.02	6042	0.88	0.01	0.02	6276
69	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
70	Бачка Паланка - Челарево	0.89	0.01	0.01	5616	0.88	0.01	0.02	6042	0.88	0.01	0.02	6276
71	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
72	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
73	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
74	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
75	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
76	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
77	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
78	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
79	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
80	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
81	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
82	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
83	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308
84	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.87	0.01	0.02	5688	0.87	0.01	0.02	6068	0.87	0.01	0.02	6308

ИД дионице	Назив дионице	%ПА 2015	%БУС 2015	%КОМ 2015	ПГДС 2015	%ПА 2016	%БУС 2016	%КОМ 2016	ПГДС 2016	%ПА 2017	%БУС 2017	%КОМ 2017	ПГДС 2017
85	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
86	Нови Сад (Руменка) - Нови Сад (Сириг)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
87	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
88	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
89	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
90	петља Нови Сад исток - Каћ	0.91	0.02	0.01	15195	0.92	0.01	0.01	13710	0.92	0.01	0.01	13234
91	Каћ - Жабал (Шајкаш)	0.88	0.01	0.01	7917	0.89	0.01	0.01	8095	0.89	0.01	0.02	8140
92	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
93	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
94	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
95	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
96	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
97	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
98	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
99	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.87	0.01	0.02	7058	0.88	0.01	0.02	7339	0.88	0.01	0.02	6653
100	Зрењанин (Кикинда) - Зрењанин (Ечка)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
101	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
102	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
103	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
104	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
105	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
106	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
107	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
108	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
109	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446

ИД дионице	Назив дионице	%ПА 2015	%БУС 2015	%КОМ 2015	ПГДС 2015	%ПА 2016	%БУС 2016	%КОМ 2016	ПГДС 2016	%ПА 2017	%БУС 2017	%КОМ 2017	ПГДС 2017
110	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
111	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
112	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
113	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.91	0.01	0.02	5241	0.91	0.01	0.01	5377	0.91	0.01	0.02	5446
115	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
116	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
117	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
118	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
119	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
120	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
121	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
122	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
123	Житиште - Банатско Карађорђево	0.86	0.01	0.02	1888	0.85	0.01	0.02	1996	0.85	0.01	0.02	2068
124	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.86	0.01	0.02	1871	0.85	0.01	0.02	1989	0.84	0.01	0.02	2030
125	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.86	0.01	0.02	1871	0.85	0.01	0.02	1989	0.84	0.01	0.02	2030
126	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.86	0.01	0.02	1871	0.85	0.01	0.02	1989	0.84	0.01	0.02	2030
127	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.86	0.01	0.02	1871	0.85	0.01	0.02	1989	0.84	0.01	0.02	2030
128	Нова Црња - Војвода Степа	0.84	0.02	0.02	1831	0.84	0.02	0.02	1962	0.84	0.02	0.02	1991
130	Нова Црња - Војвода Степа	0.84	0.02	0.02	1831	0.84	0.02	0.02	1962	0.84	0.02	0.02	1991
131	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.86	0.01	0.01	1543	0.85	0.01	0.01	1626	0.84	0.01	0.01	1727
132	Нова Црња - Војвода Степа	0.84	0.02	0.02	1831	0.84	0.02	0.02	1962	0.84	0.02	0.02	1991
133	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.86	0.01	0.01	1543	0.85	0.01	0.01	1626	0.84	0.01	0.01	1727
134	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.86	0.01	0.01	1543	0.85	0.01	0.01	1626	0.84	0.01	0.01	1727
135	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.86	0.01	0.01	1543	0.85	0.01	0.01	1626	0.84	0.01	0.01	1727
136	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.86	0.01	0.01	1543	0.85	0.01	0.01	1626	0.84	0.01	0.01	1727

ИД дионице	Назив дионице	Л	ОГР БРЗ	ПОЛ КРИ В	ЛУККР ИВ	УГА ОКР ИВ	БРК РИВ	ТИП СРЕД ИНЕ	ТИПА СФА ЛТ	ТИП БЕТ ОН	ТИПТ РАВЗЕ М	ТИ ПТ УЦ	ГУ СП УТ	ИРИ
1	Суботица (Сомбор) - Бајмок	4.77	80	0.00	0.00	0.00	0	0	2	9	30	17	12.16	2.50
2	Суботица (Сомбор) - Бајмок	1.24	50	0.00	0.00	0.00	0	1	3	9	34	9	44.44	2.40
3	Суботица (Сомбор) - Бајмок	6.30	80	0.00	0.00	0.00	0	0	5	10	40	7	9.84	2.24
4	Суботица (Сомбор) - Бајмок	1.25	50	0.00	0.00	0.00	0	1	2	12	23	10	37.66	2.41
5	Суботица (Сомбор) - Бајмок	3.48	80	103.03	143.60	22.95	2	0	3	1	10	2	4.60	2.45
6	Суботица (Сомбор) - Бајмок	2.23	50	75.94	106.21	35.83	4	1	5	61	23	11	44.78	2.41
7	Бајмок - Светозар Милетић	1.68	50	122.29	172.30	47.88	4	1	9	62	33	3	63.68	2.81
8	Бајмок - Светозар Милетић	6.64	80	197.43	276.41	12.15	5	0	2	12	36	9	8.89	3.22
9	Бајмок - Светозар Милетић	0.57	50	275.19	385.19	140.88	1	1	5	6	5	2	31.62	4.13
10	Бајмок - Светозар Милетић	11.78	80	210.02	292.43	6.78	1	0	0	4	38	5	3.99	3.51
11	Бајмок - Светозар Милетић	0.76	50	189.18	265.39	105.68	2	1	1	25	17	4	61.81	3.34
12	Бајмок - Светозар Милетић	0.22	30	124.77	177.75	364.72	1	1	0	1	1	1	13.40	3.61
13	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.22	30	76.08	107.24	370.01	1	1	0	8	5	2	68.72	2.91
14	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0.83	50	112.13	157.57	96.82	1	1	0	24	27	12	75.75	2.81
15	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	3.01	80	259.83	366.08	26.86	1	0	2	1	10	1	4.66	3.09
16	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	1.38	70	212.66	298.46	58.11	1	0	1	7	35	10	38.30	2.64
17	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	7.28	80	262.17	373.07	11.22	7	0	3	10	42	7	8.52	2.74
18	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.65	80	0.00	0.00	0.00	0	0	3	9	2	8	33.66	2.34
19	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	1.18	50	99.27	139.75	68.14	3	1	3	32	26	13	62.51	3.11
20	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0.26	30	100.06	140.59	312.92	1	1	2	13	3	4	85.52	2.97
21	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	2.13	50	66.69	104.23	42.10	1	1	7	61	28	16	52.65	3.36
22	Сомбор (Апатин) - Сомбор (индустриска зона)	2.52	80	287.11	443.86	35.15	1	0	2	0	5	1	3.17	0.00
25	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.63	70	0.00	0.00	0.00	0	0	1	1	0	0	3.19	3.34
26	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	1.95	80	159.90	230.68	42.33	1	0	3	1	6	1	5.63	3.20
27	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.63	50	0.00	0.00	0.00	0	0	2	0	2	1	7.92	1.85
28	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	3.83	70	0.00	0.00	0.00	0	0	20	53	66	24	42.52	2.14
29	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	4.00	80	234.09	327.54	20.03	1	0	5	3	16	2	6.50	2.04
30	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.96	50	0.00	0.00	0.00	0	1	9	53	29	4	99.45	2.45
31	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.26	30	0.00	0.00	0.00	0	1	6	6	0	0	45.57	2.26
32	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0.98	50	158.36	224.95	83.30	1	1	13	25	10	4	53.22	2.41

ИД дион ице	Назив дионице	Л	ОГР БРЗ	ПОЛ КРИ В	ЛУККР ИВ	УГА ОКР ИВ	БРК РИВ	ТИП СРЕД ИНЕ	ТИПА СФА ЛТ	ТИП БЕТ ОН	ТИПТ РАВЗЕ М	ТИ ПТ УЦ	ГУ СП УТ	ИРИ
33	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	4.66	80	233.65	335.97	17.62	2	0	0	3	18	6	5.79	2.35
34	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.86	50	0.00	0.00	0.00	0	1	4	32	30	3	79.87	2.44
35	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.62	30	0.00	0.00	0.00	0	1	9	27	7	1	71.12	2.45
36	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	1.41	50	69.63	98.25	57.39	4	1	10	43	36	1	63.98	2.59
37	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	1.32	80	167.83	240.38	62.17	3	0	0	0	7	0	5.32	2.66
38	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	0.30	60	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	3.38	2.02
39	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	1.50	80	0.00	0.00	0.00	0	0	2	1	6	0	6.02	2.41
40	Сомбор (индустријска зона) - Српски Милетић	1.01	50	40.51	56.84	79.84	1	1	4	44	35	3	85.40	2.76
41	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.72	30	109.04	153.25	112.10	1	1	8	20	12	4	61.25	5.48
42	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.81	50	72.09	102.21	100.65	2	1	6	30	10	1	58.24	4.77
43	Српски Милетић - Озаци (Кула)	3.03	80	191.95	281.56	27.69	1	0	2	0	7	0	2.97	4.21
44	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.63	40	90.01	125.79	127.40	1	0	1	0	5	0	9.55	3.87
45	Српски Милетић - Озаци (Кула)	1.63	80	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	7	3	6.13	3.38
46	Српски Милетић - Озаци (Кула)	1.21	50	182.77	259.11	66.89	1	1	6	5	5	4	16.47	3.53
47	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.70	30	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	4.57
48	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.31	50	0.00	0.00	0.00	0	1	2	3	0	0	16.11	4.30
49	Озаци (Кула) - Бач	5.08	80	132.58	186.79	15.88	1	0	6	4	40	3	10.43	4.22
50	Српски Милетић - Озаци (Кула)	0.42	80	82.05	115.47	190.39	1	0	1	0	1	0	4.72	4.23
51	Озаци (Кула) - Бач	1.09	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.72
52	Озаци (Кула) - Бач	0.48	30	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.76
53	Озаци (Кула) - Бач	0.87	50	63.55	96.17	101.82	5	1	0	0	0	0	0.00	4.18
54	Озаци (Кула) - Бач	5.81	80	510.83	735.93	14.04	4	0	2	2	28	2	5.85	3.09
55	Озаци (Кула) - Бач	0.23	50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	3.42
56	Бач - Мајур	6.82	80	556.07	790.57	11.91	3	0	6	2	26	6	5.87	2.52
57	Бач - Мајур	1.14	50	154.95	235.53	76.67	2	1	0	0	5	5	8.81	2.49
58	Бач - Мајур	0.27	30	50.41	76.63	319.80	1	1	0	0	0	0	0.00	3.19
59	Бач - Мајур	1.14	50	65.96	97.65	74.43	1	1	0	0	0	0	0.00	3.12
60	Бач - Мајур	3.05	80	280.02	426.48	28.60	2	0	1	0	16	2	6.23	2.68
61	Бач - Мајур	0.57	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.86
62	Бач - Мајур	0.31	30	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.31
63	Бач - Мајур	1.09	50	114.57	164.87	75.67	2	1	0	0	0	0	0.00	2.73

ИД диони це	Назив дионице	Л	ОГР БРЗ	ПОЛ КРИ В	ЛУККР ИВ	УГА ОКР ИВ	БРК РИВ	ТИП СРЕД ИНЕ	ТИПА СФА ЛТ	ТИП БЕТ ОН	ТИПТ РАВЗЕ М	ТИ ПТ УЦ	ГУ СП УТ	ИРИ
64	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	4.44	80	358.86	565.18	19.88	4	0	0	0	12	6	4.06	0.00
65	Мајур - Бачка Паланка (обилазница)	7.74	80	681.26	971.93	10.58	7	0	0	0	16	5	2.71	2.97
66	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	0.38	80	0.00	0.00	0.00	0	0	1	0	2	0	7.92	2.95
67	Бачка Паланка - Челарево	3.68	80	317.93	447.59	21.96	4	0	3	0	31	14	13.04	0.00
68	Бачка Паланка - Челарево	1.42	60	206.85	292.97	57.19	2	0	1	0	4	1	4.23	0.00
69	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1.65	80	413.67	588.42	49.58	3	0	2	0	7	3	7.29	0.00
70	Бачка Паланка - Челарево	1.00	80	102.02	143.80	80.45	1	0	1	0	10	5	15.94	0.00
71	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.49	50	193.84	273.97	163.70	2	1	0	0	0	0	0.00	2.83
72	Челарево - Нови Сад (Руменка)	8.66	80	305.22	442.35	9.50	7	0	0	15	65	20	11.55	2.70
73	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.31	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.85
74	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.56	40	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.52
75	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.90	50	199.68	284.06	90.56	1	1	0	0	0	0	0.00	5.03
76	Челарево - Нови Сад (Руменка)	3.01	80	174.90	314.31	41.74	3	0	7	2	33	18	19.90	2.98
77	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1.65	50	0.00	0.00	0.00	0	1	1	0	1	4	3.65	3.10
78	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.35	40	192.16	279.40	238.42	1	1	0	0	0	0	0.00	2.77
79	Челарево - Нови Сад (Руменка)	2.34	50	142.69	203.52	34.86	1	1	0	0	0	0	0.00	3.92
80	Челарево - Нови Сад (Руменка)	2.01	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.78
81	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.21	40	270.68	398.68	398.01	1	1	0	0	0	0	0.00	2.20
82	Челарево - Нови Сад (Руменка)	5.76	50	175.21	249.77	14.17	2	1	0	0	0	0	0.00	3.04
83	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.24	40	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	0.00
84	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0.71	50	128.54	181.72	114.17	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00
85	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	0.37	50	280.60	409.79	225.64	1	1	0	0	0	0	0.00	2.52
86	Нови Сад (Руменка) - Нови Сад (Сириг)	2.23	50	138.86	206.48	38.22	2	1	0	0	0	0	0.00	4.16
87	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	0.98	80	107.55	151.53	82.49	1	0	1	0	0	0	1.02	2.57
88	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	0.26	60	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	1.57
89	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	2.81	80	1691.67	2526.63	30.46	1	0	0	0	6	1	2.49	2.87
90	петља Нови Сад исток - Каћ	0.42	60	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	1	0	2.36	1.73
91	Каћ - Жабал (Шајкаш)	13.31	80	1269.68	1792.83	6.08	7	0	5	0	28	3	2.70	3.36
92	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	2.74	80	1182.31	1688.00	29.90	1	0	0	0	11	0	4.02	1.50
93	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	12.87	80	912.02	1295.06	6.33	7	0	3	0	49	11	4.90	2.78
94	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	1.10	60	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	1	0.91	3.03
95	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	6.05	80	1222.75	1761.93	13.65	1	0	2	0	27	0	4.79	3.01
96	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.39	60	1253.62	1795.47	212.35	1	0	0	0	0	0	0.00	4.53
97	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	4.07	80	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	23	1	5.89	3.80
98	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0.29	60	1783.31	2555.82	279.30	1	0	1	0	0	0	3.40	1.75
99	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	2.25	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.83

ИД дионице	Назив дионице	Л	ОГР БРЗ	ПОЛ КРИ В	ЛУККР ИВ	УГА ОКР ИВ	БРК РИВ	ТИП СРЕД ИНЕ	ТИПА СФА ЛТ	ТИП БЕТ ОН	ТИПТ РАВЗЕ М	ТИ ПТ УЦ	ГУ СП УТ	ИРИ
100	Зрењанин (Кикинда) - Зрењанин (Ечка)	1.54	50	149.33	214.31	26.14	4	1	0	0	0	0	0.00	4.29
101	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	1.55	50	482.91	683.38	52.36	1	1	0	0	0	0	0.00	3.11
102	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	0.42	50	40.60	58.16	195.34	1	1	0	0	0	0	0.00	0.00
103	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	0.58	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.27
104	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	2.26	50	28.55	40.90	36.35	1	1	3	0	6	6	6.64	2.80
105	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1.45	80	291.68	411.96	55.96	1	0	0	0	7	10	11.76	2.70
106	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.73	60	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	1	2	4.12	3.15
107	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1.29	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.40
108	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.31	40	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.69
109	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.71	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	1	0	1.41	3.22
110	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	6.89	80	286.83	406.19	11.78	1	0	2	0	18	1	3.05	1.97
111	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.28	70	257.93	372.70	297.34	1	0	0	0	1	0	3.59	1.47
112	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.53	80	0.00	0.00	0.00	0	0	1	0	3	1	9.44	1.79
113	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0.36	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.00
115	Житиште - Банатско Карађорђево	0.20	50	257.93	363.02	402.04	1	1	0	0	0	0	0.00	2.04
116	Житиште - Банатско Карађорђево	0.33	30	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.33
117	Житиште - Банатско Карађорђево	0.43	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.63
118	Житиште - Банатско Карађорђево	4.30	80	634.83	893.09	18.75	1	0	1	0	22	6	6.75	2.43
119	Житиште - Банатско Карађорђево	0.67	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.56
120	Житиште - Банатско Карађорђево	4.50	80	0.00	0.00	0.00	0	0	2	1	12	4	4.22	2.85
121	Житиште - Банатско Карађорђево	1.84	50	147.02	207.14	43.86	3	1	0	0	0	0	0.00	3.25
122	Житиште - Банатско Карађорђево	1.87	80	238.41	343.82	44.04	3	0	1	0	7	1	4.82	2.76
123	Житиште - Банатско Карађорђево	1.05	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	2.49
124	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0.61	50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	2.23
125	Банатско Карађорђево - Нова Црња	4.15	80	385.69	541.03	19.36	1	0	0	0	18	2	4.82	2.38
126	Банатско Карађорђево - Нова Црња	1.32	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	3.31
127	Банатско Карађорђево - Нова Црња	1.73	80	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	3	0	1.74	2.41
128	Нова Црња - Војвода Степа	1.65	50	179.48	237.11	45.99	1	1	0	0	0	0	0.00	1.94
130	Нова Црња - Војвода Степа	1.50	50	126.13	177.80	53.85	1	1	0	0	0	0	0.00	2.30
131	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	5.16	80	185.25	262.29	15.72	2	0	3	0	16	1	3.87	2.19
132	Нова Црња - Војвода Степа	1.49	80	0.00	0.00	0.00	0	0	1	0	5	1	4.71	2.02
133	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	1.44	50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	0	0	0	0.00	1.87
134	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.66	40	348.70	489.94	121.94	1	1	0	0	0	0	0.00	2.24
135	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0.60	50	195.81	273.79	134.26	2	1	0	0	0	0	0.00	1.44

ИД дион ице	Назив дионице	Л	ОГР БРЗ	ПОЛ КРИ В	ЛУККР ИВ	УГА ОКР ИВ	БРК РИВ	ТИП СРЕД ИНЕ	ТИПА СФА ЛТ	ТИП БЕТ ОН	ТИПТ РАВЗЕ М	ТИ ПТ УЦ	ГУ СП УТ	ИРИ
136	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	2.15	40	142.61	200.49	37.53	1	0	0	0	0	0	0.00	1.67

ПРИЛОГ 2. ИСПИС ИЗ ИНТЕГРИСАНЕ БАЗЕ ПОДАТАКА (СНМАТ, СНН, СНТОТАЛ)

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
1	Суботица (Сомбор) - Бајмок	1	1	0	2	1	2	0	3	2	3	0	5
2	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Суботица (Сомбор) - Бајмок	2	1	1	4	3	0	2	5	5	1	3	9
4	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0	0	0	0	1	1	2	4	1	1	2	4
5	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2
6	Суботица (Сомбор) - Бајмок	0	0	1	1	3	1	1	5	3	1	2	6
7	Бајмок - Светозар Милетић	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2
8	Бајмок - Светозар Милетић	0	3	1	4	2	1	1	4	2	4	2	8
9	Бајмок - Светозар Милетић	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2
10	Бајмок - Светозар Милетић	1	2	1	4	1	1	1	3	2	3	2	7
11	Бајмок - Светозар Милетић	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Бајмок - Светозар Милетић	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2
13	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	2	0	0	2	0	0	1	1	2	0	1	3
15	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0	0	1	1	1	1	2	4	1	1	3	5
16	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	1	2
17	Светозар Милетић - Сомбор (Бездан)	0	2	1	3	2	3	4	9	2	5	5	12
18	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	0	1	0	1	0	1	1	2	0	2	1	3
19	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	1	1	0	2	3	2	5	10	4	3	5	12
20	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	1	0	0	1	1	1	1	3	2	1	1	4
21	Сомбор (Бездан) - Сомбор (Апатин)	1	2	2	5	9	11	6	26	10	13	8	31
22	Сомбор (Апатин) - Сомбор (индустриска зона)	0	2	0	2	0	1	0	1	0	3	0	3
25	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
26	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0	4	4
27	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	2	0	2	0	1	1	2	0	3	1	4

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
28	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	2	2	2	6	3	3	1	7	5	5	3	13
29	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	2	1	3	3	2	3	8	3	4	4	11
30	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
31	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	2	2	0	4	0	0	0	0	2	2	0	4
32	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	1	1	2	0	0	0	0	0	1	1	2
33	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	1	1	1	1	0	2	1	1	1	3
34	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	1	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	2
35	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	2
36	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3
37	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2
38	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
39	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
40	Сомбор (индустриска зона) - Српски Милетић	1	2	1	4	0	1	0	1	1	3	1	5
41	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	1	0	1	2	2	3	1	6	3	3	2	8
42	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	1	2
43	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	1	0	1	2	2	0	2	4	3	0	3	6
44	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	1	1	0	2	0	1	1	2	1	2	1	4
46	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	3	1	1	5	1	1	2	4	4	2	3	9
47	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0	5	0	5	3	3	1	7	3	8	1	12
48	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	2	0	1	3	1	0	2	3	3	0	3	6
49	Оџаци (Кула) - Бач	0	0	1	1	1	2	1	4	1	2	2	5
50	Српски Милетић - Оџаци (Кула)	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
51	Оџаци (Кула) - Бач	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3
52	Оџаци (Кула) - Бач	0	0	0	0	1	2	0	3	1	2	0	3
53	Оџаци (Кула) - Бач	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
54	Оџаци (Кула) - Бач	2	0	1	3	0	0	2	2	2	0	3	5
55	Оџаци (Кула) - Бач	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	Бач - Мајур	0	0	0	0	6	3	0	9	6	3	0	9
57	Бач - Мајур	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
58	Бач - Мајур	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	4	4
59	Бач - Мајур	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
60	Бач - Мајур	2	0	0	2	1	3	4	8	3	3	4	10
61	Бач - Мајур	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
62	Бач - Мајур	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	Бач - Мајур	0	0	0	0	0	1	2	3	0	1	2	3
64	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	0	0	0	0	0	1	1	2	0	1	1	2
65	Мајур - Бачка Паланка (обилазница)	1	1	1	3	1	2	3	6	2	3	4	9
66	Бачка Паланка (обилазница) - Бачка Паланка	0	1	0	1	3	2	1	6	3	3	1	7
67	Бачка Паланка - Челарево	1	2	0	3	2	2	4	8	3	4	4	11
68	Бачка Паланка - Челарево	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
69	Челарево - Нови Сад (Руменка)	0	2	0	2	2	1	1	4	2	3	1	6
70	Бачка Паланка - Челарево	1	0	0	1	2	1	0	3	3	1	0	4
71	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1	1	0	2	0	0	2	2	1	1	2	4
72	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1	14	4	19	8	6	8	22	9	20	12	41
73	Челарево - Нови Сад (Руменка)	3	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3
74	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1	2	0	3	0	1	0	1	1	3	0	4
75	Челарево - Нови Сад (Руменка)	2	0	0	2	0	2	1	3	2	2	1	5
76	Челарево - Нови Сад (Руменка)	4	2	2	8	4	5	6	15	8	7	8	23
77	Челарево - Нови Сад (Руменка)	6	4	1	11	5	8	2	15	11	12	3	26
78	Челарево - Нови Сад (Руменка)	1	1	1	3	0	2	3	5	1	3	4	8

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
79	Челарево - Нови Сад (Руменка)	3	6	1	10	6	10	6	22	9	16	7	32
80	Челарево - Нови Сад (Руменка)	2	8	3	13	9	6	5	20	11	14	8	33
81	Челарево - Нови Сад (Руменка)	6	1	3	10	3	3	1	7	9	4	4	17
82	Челарево - Нови Сад (Руменка)	26	22	25	73	28	28	33	89	54	50	58	162
83	Челарево - Нови Сад (Руменка)	6	2	4	12	4	4	6	14	10	6	10	26
84	Челарево - Нови Сад (Руменка)	9	3	3	15	14	6	3	23	23	9	6	38
85	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	1	4	9	14	1	0	7	8	2	4	16	22
86	Нови Сад (Руменка) - Нови Сад (Сириг)	25	18	12	55	20	17	17	54	45	35	29	109
87	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	0	6	0	6	0	2	0	2	0	8	0	8
88	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	1	3	2	6	3	3	3	9	4	6	5	15
89	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	4	2	6	12	2	1	4	7	6	3	10	19
90	петља Нови Сад исток - Каћ	2	0	0	2	1	0	0	1	3	0	0	3
91	Каћ - Жабал (Шајкаш)	4	8	6	18	10	9	5	24	14	17	11	42
92	Нови Сад (Сириг) - петља Нови Сад исток	7	3	0	10	10	7	6	23	17	10	6	33
93	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	4	4	1	9	6	6	5	17	10	10	6	26
94	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	2
95	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0	0	0	0	0	4	0	4	0	4	0	4
96	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	2	0	2	4	4	1	1	6	6	1	3	10
97	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0	1	2	3	2	1	4	7	2	2	6	10
98	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	0	1	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2
99	Жабал (Шајкаш) - Зрењанин (Кикинда)	3	2	1	6	8	13	6	27	11	15	7	33
100	Зрењанин (Кикинда) - Зрењанин (Ечка)	4	11	1	16	16	5	5	26	20	16	6	42
101	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	3	1	3	7	3	2	3	8	6	3	6	15
102	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	Зрењанин (Ечка) - Зрењанин (Сечањ)	0	1	1	2	1	1	1	3	1	2	2	5
104	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1	0	2	3	1	0	1	2	2	0	3	5
105	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	1	1	3	5	1	1	3	5

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
106	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
107	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
108	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3
110	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	1	1	1	3	0	2	0	2	1	3	1	5
111	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
112	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
113	Зрењанин (Сечањ) - Житиште	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
117	Житиште - Банатско Карађорђево	1	0	0	1	1	0	3	4	2	0	3	5
118	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	1	1	1	2	0	3	1	2	1	4
119	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	0	0	0	3	0	3	0	3	0	3
120	Житиште - Банатско Карађорђево	0	1	1	2	5	2	2	9	5	3	3	11
121	Житиште - Банатско Карађорђево	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	2
122	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Житиште - Банатско Карађорђево	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
124	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0	2	0	2	1	0	2	3	1	2	2	5
126	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	1	2
127	Банатско Карађорђево - Нова Црња	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	Нова Црња - Војвода Степа	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
130	Нова Црња - Војвода Степа	1	1	0	2	0	0	0	0	1	1	0	2
131	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0	0	1	1	1	1	1	3	1	1	2	4
132	Нова Црња - Војвода Степа	1	1	1	3	1	0	0	1	2	1	1	4
133	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	2	0	0	2	0	1	2	3	2	1	2	5
134	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	1	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	2

ИД дионице	Назив дионице	СНМ АТ 2015	СНМ АТ 2016	СНМ АТ 2017	СНМ АТ	СНН 2015	СНН 2016	СНН 2017	СНН	СНТ ОТА Л 2015	СНТ ОТА Л 2016	СНТ ОТА Л 2017	СНТ ОТА Л
135	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	0	0	0	0	1	1	1	3	1	1	1	3
136	Војвода Степа - граница СРБ/РУМ (Српска Црња)	3	1	0	4	0	0	0	0	3	1	0	4