



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Светлана Бачкалић

**Временски приступ у методама
истраживања фреквенције
саобраћајних незгода**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2014



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

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Светлана Бачкалић
Ментор, МН:	Проф. др Драган Јовановић
Наслов рада, НР:	ВРЕМЕНСКИ ПРИСТУП У МЕТОДАМА ИСТРАЖИВАЊА ФРЕКВЕНЦИЈЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски/Енглески
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина
Година, ГО:	2014
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	ФТН, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/157/229/9/6/18/0
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Безбедност саобраћаја
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Анализе безбедности саобраћаја, саобраћајне незгоде, теорија поузданости, теорија реалокације
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Анализа фреквенције саобраћајних незгода представља важан предмет истраживања многих аутора. Једно од кључних питања које се поставља пред управљача пута је где да прво делује, односно које деоница пута треба да се третирају како би се постигао жељени ниво поузданости одређеног пута. Дисертација показује да се теорија поузданости система може користити за анализу фреквенција саобраћајних незгода. Након анализе фреквенције саобраћајних незгода, следећи корак представља примена теорије реалокације поузданости. Предложени модели развијени су за избор деоница за третман на основу прецизно дефинисаног повећања нивоа поузданости одређеног пута.
Датум прихватања теме, ДП:	31.03.2014.
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Проф. др Милан Вујанић Члан: Проф. др Матјаж Шрамл Члан: Проф. др Крсто Липовац Члан: Проф. др Јованка Пантовић Члан, ментор: Проф. др Драган Јовановић

Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed document
Contents code, CC :	PhD Thesis
Author, AU :	Svetlana Bačkalić
Mentor, MN :	PhD Dragan Jovanović
Title, TI :	Temporal approach in research methods of road traffic accidents frequency
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 :	2014
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg D. Obradovica 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	7/157/229/9/6/18/0
Scientific field, SF :	Traffic engineering
Scientific discipline, SD :	Traffic safety
Subject/Key words, S/KW :	Traffic safety analysis, traffic accident, reliability theory, reliability reallocation
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	Analysis of traffic accident frequency represents an important subject of research of many authors. One of the essential questions placed before a road authority is where to act first, i.e. which road sections should be treated in order to achieve the desired level of reliability. Dissertation shows that the system reliability theory can be used to analyze traffic accident frequency. After analysis of the traffic accident frequency, further step is application of the reliability reallocation theory. Tools have been developed for selecting road sections for treatment on the basis of a precisely defined increase in the level of reliability of a particular road.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	31.03.2014.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: PhD Milan Vujanić
	Member: PhD Matjaž Šraml
	Member: PhD Krsto Lipovac
	Member: PhD Jovanka Pantović
	Member, Mentor: PhD Dragan Jovanović

Menthor's sign

REZIME

Analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda predstavlja važan predmet istraživanja mnogih autora. Sa aspekta vremenske analize nastanka saobraćajne nezgode, u dosadašnjoj praksi izdvojila su se dva pristupa: kolektivni (analiza saobraćajnih nezgoda u dužem vremenskom periodu) i individualni (analiza saobraćajnih nezgoda u realnom vremenu). Jedno od ključnih pitanja koje se postavlja pred upravljača puta je gde da prvo deluje, odnosno koje deonica puta treba da se tretiraju kako bi se postigao željeni nivo pouzdanosti određenog puta.

Disertacija pokazuje da se teorija pouzdanosti sistema, uz određene korekcije, može u velikoj meri koristiti za analizu frekvencija saobraćajnih nezgoda na osnovu individualnog pristupa. Uočena je određena sličnost između teorije pouzdanosti sistema i teorije bezbednosti saobraćaja i na osnovu toga izvršeno je konceptualno prilagođavanje ekvivalentnih termina i stanja. Model je uspešno testiran na realnom sistemu (put sastavljen od deonica) i određene su frekvencija nastanka nezgoda, verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda i srednje vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode.

Nakon analize frekvencije saobraćajnih nezgoda, sledeći korak predstavlja istraživanje mogućnosti primene teorije realokacije pouzdanosti u analizi bezbednosti puta koji se sastoji od deonica. Metode koje se koriste za izbor i tretman opasnih mesta na putevima ne daju precizne vrednosti za zahtevane frekvencije saobraćajnih nezgoda, odnosno za zahtevani vremenski period između pojave dve nezgode. Drugim rečima, oni ne omogućavaju uspostavljanje veze između preciznog zahteva za povećanjem pouzdanosti (izraženo u procentima) i izbora pojedinih deonica puteva za dalju analizu. Disertacija pokazuje da se modeli realokacije pouzdanosti takođe mogu primeniti u analizi bezbednosti saobraćaja, ili tačnije, u sklopu mera za povećanje nivoa bezbednosti na putevima. Model je uspešno testiran pomoću dva metoda realokacije - ARINC i algoritam minimalno uloženog napora. Navedeni modeli primenjeni su u analizi bezbednosti saobraćaja kao osnovni korak, radi postizanja višeg nivoa pouzdanosti.

Predloženi modeli razvijeni su za izbor deonica za tretman na osnovu precizno definisanog povećanja nivoa pouzdanosti određenog puta, odnosno srednjeg vremena između dve uzastopne saobraćajne nezgode.

ABSTRACT

Analysis of traffic accident frequency represents an important subject of research of many authors. From the aspect of temporal analysis of traffic accident occurrence, two approaches have been singled out in previous practice: the collective (analyzes traffic accidents over a longer period of time) and individual (analyzes traffic accidents in real time). One of the essential questions placed before a road authority is where to act first, i.e. which road sections should be treated in order to achieve the desired level of reliability of a particular road.

Dissertation shows that the system reliability theory, with certain adjustments, can be largely used to analyze traffic accident frequency based on the individual approach. A certain similarity has been observed between the system reliability theory and the traffic safety theory, and conceptual adjustment of equivalent terms and states has been performed based on this. A model has been successfully tested on the basis of which, for the road and sections, we have determined the traffic accident frequency, the probability of the occurrence of a certain number of traffic accidents and the mean time between two consecutive traffic accidents.

After analysis of the traffic accident frequency, further step is application of the reliability reallocation theory can be applied in safety analysis of a road consisting of sections. Methods used for selecting hazardous locations do not provide precise values for the required frequency of accidents, i.e. the time period between the occurrences of two accidents. In other words, they do not allow for the establishment of a connection between a precise demand for increased reliability (expressed as a percentage) and the selection of particular road sections for further analysis. The dissertation shows that reallocation models can also be applied in road safety analysis, or more precisely, as part of the measures for increasing their level of safety. The model has been successfully tested using two apportionment techniques - ARINC and the minimum effort algorithm. The given methods were applied in the traffic safety analysis as a basic step, for the purpose of achieving a higher level of reliability.

Tools have been developed for selecting road sections for treatment on the basis of a precisely defined increase in the level of reliability of a particular road, i.e. the mean time between the occurrences of two accidents.

SADRŽAJ

1. UVODNA RAZMATRANJA	1
1.1. UVOD.....	2
1.2. DIMENZIJE PROBLEMA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA.....	4
1.3. KONCEPT ISTRAŽIVANJA	7
1.4. STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE	8
1.5. REFERENCE	9
2. METODOLOŠKI KONCEPT	11
2.1. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	12
2.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA	17
2.3. CILJ ISTRAŽIVANJA I POLAZNE PRETPOSTAVKE	17
2.4. PRIMENJENE METODE	19
2.5. OSNOVNI ELEMENTI ISTRAŽIVANJA.....	21
2.6. NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST.....	22
2.7. REFERENCE	23
3. PREGLED LITERATURE	29
3.1. UVOD.....	30
3.2. MODELOVANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA.....	31
3.2.1. Značaj i uloga modelovanja.....	31
3.2.2. Problemi i ograničenja u procesu modelovanja.....	32
3.2.3. Primena statističkih modela u oblasti modelovanja saobraćajnih nezgoda.....	36
3.3. PROSTORNI MODELI	41
3.3.1. Osnovni pojmovi o prostornim modelima.....	41
3.3.2. Odabrane metoda koje se koriste kod prostornih modela.....	44
3.4. VREMENSKI MODELI	45
3.4.1. Osnovni pojmovi o vremenskim modelima.....	45
3.4.2. Modeli frekvencije saobraćajnih nezgoda sa empirijskog stanovišta.....	50
3.4.3. Vremenske serije	56
3.4.3.1. Osnovni pojmovi, predmet i cilj metoda vremenskih serija.....	56
3.4.3.2. Vrste i izbor modela vremenskih serija	57
3.4.3.3. Primena modela vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja	57
3.4.3.4. Pregled rezultata najznačajnije literature iz oblasti vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja	59

3.5. PROSTORNO-VREMENSKI MODELI	65
3.6. VREMENSKO-PROSTORNI MODELI	69
3.7. DISKUSIJA	73
REFERENCE	75
4. ANALIZA FREKVENCIJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA PRIMENOM TEORIJE POUZDANOSTI	86
4.1. UVOD.....	87
4.2. MOGUĆNOSTI POVEZIVANJA OSNOVNIH POSTULATA TEORIJE POUZDANOSTI SA ANALIZOM UČESTALOSTI SAOBRAĆAJNIH NEZGODA	88
4.3. DEFINISANJE MODELA	89
4.3.1. Određivanje pouzdanosti puta	90
4.3.2. Određivanje pouzdanosti puta kod koga su deonice u rednoj vezi.....	94
4.3.3. Osnovne karakteristike procesa uspostavljanja saobraćaja	96
4.3.3.1. Vreme do n - tog uspostavljanja saobraćaja	97
4.3.3.2. Broj uspostavljanja saobraćaja za vreme t.....	99
4.3.3.3. Funkcija uspostavljanja saobraćaja	100
4.3.3.4. Gustina uspostavljanja saobraćaja	102
4.3.4. Pouzdanost puta kada se obnavlja saobraćaj po deonicama.....	102
4.4. TESTIRANJE MODELA.....	104
4.5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I DISKUSIJA	114
5. PRIMENA MODELA REALOKACIJE POUZDANOSTI PRI IZBORU DEONICA PUTA ZA TRETIRANJE	118
5.1. UVOD.....	119
5.2. POJAM (RE)ALOKACIJE POUZDANOSTI SISTEMA	120
5.2.1. Značaj realokacije pouzdanosti	121
5.2.2. Kako i kada je najbolje koristiti alokaciju.....	121
5.2.3. Izbor metoda realokacije pouzdanosti sistema	123
5.3. DEFINISANJE MODELA REALOKACIJE POUZDANOSTI PRI IZBORU DEONICA PUTA ZA TRETIRANJE.....	125
5.3.1. Realokacija pouzdanosti primenom ARINC metode alokacije.....	125
5.3.2. Realokacija pouzdanosti primenom metode alokacije uz minimalni uloženi napor	126
5.4. TESTIRANJE MODELA.....	128
5.5. REZULTATI.....	130
5.6. ZAKLJUČAK I DISKUSIJA	133
5.7. REFERENCE.....	135

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	137
6.1. ZAKLJUČAK.....	138
6.2. PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA	140
6.3. REFERENCE	142
7. LITERATURA	143

SPISAK SLIKA I GRAFIKONA

Grafik 1.1. Procentualna promena broja poginulih u saobraćajnim nezgodama 2001. i 2011. godine u Evropskim zemljama (<i>izvor podataka: CARE</i>)	5
Grafik 1.2. Komparacija javnog rizika poginulih u saobraćajnim nezgodama na milion stanovnika u 2001. i 2011. godini u Evropskim zemljama (<i>izvor podataka: CARE</i>)	5
Slika 1.1. Saobraćajne nezgode sa poginulima u Evropi prema kategoriji puta (adaptirano prema: Road Safety Report, 2013)	6
Grafik 1.3. Broj poginulih na ruralnim putevima u Evropi između 1999-2010.god. (adaptirano prema: Road Safety Report, 2013)	7
Grafik 3.1. Trend poginulih u saobraćajnim nezgodama, saobraćajne nezgode sa povređenima, stepen motorizacije i pređenih vozilo-kilometara, Austrija, 1990-2011 (<i>izvor: IRTAD, 2013</i>)	46
Grafik 3.2. Broj saobraćajnih nezgoda sa nastradalima po mesecima, AP Vojvodina, period 2001-2009	47
Grafik 3.3. Broj saobraćajnih nezgoda sa nastradalima prema danima i časovima, AP Vojvodina, period 2001-2009	48
Grafik 3.4. Broj saobraćajnih nezgoda po deonicama puta M22 za svaku godinu, period 2005-2011	50
Slika 4.1. Put posmatran kao sistem	90
Slika 4.2. Oblik eksponencijalne raspodele	91
Slika 4.3. Funkcija pouzdanosti za eksponencijalnu raspodelu	92
Slika 4.4. Funkcija intenziteta otkaza u slučaju eksponencijalne raspodele	93
Slika 4.5. Proces obnavljanja	96
Grafik 4.1. Učestalost saobraćajnih nezgoda (broj nezgoda/sedmici) po deonicama puta	107
Grafik 4.2. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u period od 7 dana	109
Grafik 4.3. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u period od 30 dana	109
Grafik 4.4. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u periodu od 365 dana	110
Grafik 4.5. Verovatnoće nastanka nezgoda („jednako ili više od određenog broja“, „određen broj“ i „manje ili jednako od određenog broja“) na putu kao celini za period $t=7$ (dana)=168 (h)	111
Grafik 4.6. Verovatnoće nastanka nezgoda („jednako ili više od određenog broja“, „određen broj“ i „manje ili jednako od određenog broja“) na putu kao celini za period $t=365$ (dana)=8760 (h)	111
Grafik 4.7. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=7$ (dana)=168 (h)	112

Grafik 4.8. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=30$ (dana)=720 (h)	113
Grafik 4.9. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=365$ (dana)=8760 (h).....	113
Grafik 4.10. Kumulativne vrednosti verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na putu.....	114
Grafik 5.1. Promena verovatnoće nastanka saobraćajne nezgode na putu za period $t=365$ (dana)=8.760 (h) nakon realokacije pouzdanosti	130

SPISAK TABELA

Tabela 3.1. Prikaz postojećih modela koji se koristi u analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda (adaptirano na osnovu Lord and Mannering, 2010).....	39
Tabela 3.2. Parametri deskriptivne statistike saobraćajnih nezgoda, period 2005-2011....	49
Tabela 4.1. Terminološko preslikavanje iz teorije pouzdanosti tehničkih sistema u teoriju bezbednosti drumskog saobraćaja.....	89
Tabela 4.2. Podela putnog pravca na mikrodeonice	105
Tabela 4.3. Osnovne karakteristike puta (dužina, broj saobraćajnih nezgoda), kao i osnovni parametri analize pouzdanosti deonica i puta za vremenski period $t = 365$ (dana) = 8.760 (h)	106
Tabela 4.4. Osnovni parametri analize pouzdanosti deonica i puta za vremenski period $t = 7$ (dana) = 168 (h)	107
Tabela 5.1. Vrednosti zahtevane pouzdanosti za parametre puta.....	129
Tabela 5.2. Rezultati realokacije pouzdanosti primenom ARINC metode (+ ili -20%) ..	131
Tabela 5.3. Rezultati realokacije pouzdanosti primenom metode minimalno uloženog napora (+ ili -20%)	132

1. UVODNA RAZMATRANJA

1.1 UVOD

1.2 DIMENZIJE PROBLEMA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

1.3 KONCEPT ISTRAŽIVANJA

1.4 STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

1.5 REFERENCE

1.1. UVOD

Razvoj civilizacije može se pratiti kroz posmatranje razvoja urbanizacije, proizvodnje i razmene dobara. Navedene procese u potpunosti obeležava i određuje stepen mobilnosti ljudi, sirovina i proizvoda. Njihova međuzavisnost i uporedni razvoj dovode do napretka civilizacije, ali i do porasta negativnih posledica povećane mobilnosti. U Rimskom carstvu, kolevci moderne civilizacije, velika pažnja poklanjala se sistemskom pristupu u organizaciji države i društva, tako da ni saobraćaj nije zanemaren. Posle toga, sve do početka XIX veka, negativne posledice saobraćaja na kopnu nisu bile predmet posebnih proučavanja. Međutim, od druge polovine XIX veka do danas, uporedo sa razvojem saobraćajno-transportnog sistema, svest o važnosti proučavanja negativnih posledica saobraćaja kreće se od prepoznavanja problema bezbednosti saobraćaja do definisanja nacionalnih i kontinentalnih ciljeva i strategija, organizovanja institucija, sprovođenja istraživanja, definisanja i implementacije mera za poboljšanje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Analiza bezbednosti saobraćaja na nekom području (putu ili deonici puta) predstavlja značajan zadatak u oblasti bezbednosti saobraćaja. Stoga je neophodno stalno praćenje, analiza, poređenje stanja bezbednosti saobraćaja u cilju razvoja i unapređenje mera za povećanje nivoa bezbednosti saobraćaja. Pri analizi nekog procesa, sleda pojava ili događaja neophodno je njihovo pozicioniranje, odnosno određivanje koordinata u koordinatnom sistemu prostor-vreme.

Fenomenologija saobraćajnih nezgoda je nauka koja se bavi opisivanjem i izučavanjem (spoljnih) oblika saobraćajnih nezgoda (kako je do nezgode došlo). U okviru fenomenologije izučavaju se spoljni pojavni oblici saobraćajnih nezgoda, dinamika-frekvencija i struktura ovih pojava, strukturne promene, posledice saobraćajnih nezgoda, prostorna distribucija (gde su se nezgode dogodile) i njihove karakteristike, vremenska distribucija (ritam) saobraćajnih nezgoda, način izvršenja, cena i težina saobraćajnih nezgoda, struktura nastradalih lica i drugi pojavni oblici (Inić, 2004).

Razumevanje uticaja faktora na verovatnoću nastanka saobraćajnih nezgoda bilo je predmet istraživanja tokom više decenija. U odsustvu podataka o vožnji koji bi pomogli u unapređenju identifikacije uzroka i posledica saobraćajnih nezgoda, mnogi autori su pokušali da problem objasne razumevanjem faktora koji utiču na frekvenciju saobraćajnih nezgoda (broj nezgoda koji se dogodi na nekom području, obično raskrsnici ili deonici puta u nekom periodu vremena) (Lord and Mannering, 2010). Rezultati brojnih radova i studija iz oblasti bezbednosti saobraćaja jasno ističu značaj i potrebu za stalnim razvojem i modifikacijom vremenskih i prostornih modela.

Klasična analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda sa vremenskog aspekta predstavlja statistički pregled podataka o nezgodama po godinama, mesecima u toku godine, danima u toku sedmice ili časovima u toku dana. Vremenska distribucija je različita u vremenu i prostoru zbog dejstva različitih faktora koji utiču na vremenski ritam nezgoda. U prvom redu izdvajaju se privredne aktivnosti, turistička sezona, geografski i klimatski uslovi, dnevna ritmička kretanja i sve ostalo što uslovljava saobraćajne aktivnosti ljudi.

Višegodišnje praćenje i analiza vremenske distribucije saobraćajnih nezgoda omogućava uočavanje trendova kretanja. Mesečna raspodela je od značaja za prepoznavanja i praćenje sezonskih oscilacija i izradu planova rada na nivou godine. Raspodela nezgoda po danima u toku godine ili po danima u toku sedmice utiče na planiranje sedmičnih rasporeda rada, a časovna raspodela je važna za planiranje rada u toku dana.

U mnogim zemljama kao što su Holandija, Francuska, Norveška, Velika Britanija, a poslednjih godina i u drugim državama Evropske unije, vremenske serije su našle značajnu primenu kod vremenskih analiza bezbednosti saobraćaja na putevima (Dupont and Martensen, 2007; Commandeur et al., 2007; Bergel-Hayat, 2012; Commandeur et al., 2013). S obzirom na domen analize, vremenske serije mogu se analizirati u vremenskom i frekventnom domenu. Analiza u vremenskom domenu podrazumeva analizu vremenskih serija u funkciji vremena, dok u domenu frekvencija, vremenska serija se posmatra kao kompozicija sinusoida frekvencija, od kojih svaka nosi određene informacije (Pollock et al., 1999). Analiza vremenskih serija koristi se u cilju postizanja što je moguće boljeg uvida u stanje saobraćajnih nezgoda u posmatranom regionu ili zemlji. Sledeći korak predstavlja predviđanje nekog budućeg stanja s ciljem minimiziranja broja saobraćajnih nezgoda sa smrtnim ishodom. Pomoću različitih obeležja saobraćajnih nezgoda (starost i kategorija vozača, područje gde se nezgoda dogodila, stacionaža puta, nezgode prema posledicima i dr.) dolazi se do utvrđivanja nivoa izloženosti saobraćajnim nezgodama, nivoa rizika za posmatrani period ili čak za neki budući period.

Poslednjih godina prepoznat je značajan potencijal pri unapređenju bezbednosti puta. Razvijaju se različiti pristupi za unapređenja bezbednosti puta, koji su namenjeni za primenu od strane, pre svega upravljača puta (Hauer et al., 2002; Elvik and Vaa, 2004; Sørensen and Elvik, 2007; Elvik, 2008a; Elvik, 2008b; AASHTO, 2010). Neki od njih imaju za cilj prostorne analize bezbednosti saobraćaja pomoću kojih se određuju opasna mesta („*crne tačke*“ „*crne deonice*“, eng. *black spot*) na putevima. Metodologija upravljanja bezbednošću saobraćajnom mrežom (eng. *Network Safety Management (NSM)*) koristi se u procesu donošenja odluka pri izboru deonice puta koju treba tretirati. NSM predstavlja jedno od metoda za identifikaciju i rangiranje mreže puteva (deonica) na osnovu potencijala za smanjenje troškova saobraćajnih nezgoda. Takođe za rangiranje deonica primenjuju se razne metodologije kontrole mreže (eng. *network screening-a*).

Za upravljača puta od velike je važnosti poznavanje i primena razvijenih metoda i modela u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja. Otuda se javila i potreba za razvojem modela koji upravljaču puta može da posluži kao značajan alat za donošenje odluka gde i kada primeniti mere u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja. Analizom postojeće literature koja se bavi frekvencijom saobraćajnih nezgoda sa vremenskog i prostornog aspekta, uočeno je da do sada nije uloženo dovoljno napora na analizi vremena između dve saobraćajne nezgode. Glavni cilj upravljača puta je da vreme između dve saobraćajne nezgode bude što duže, jer se na taj način smanjuje broj nezgoda, odnosno povećava bezbednost saobraćaja. Na osnovu toga jasno se ističe značaj razvoja modela koji se bazira na analizi vremena između dve uzastopne nezgode koje se dogode na ruralnim putevima. Prednost ovih modela je što odgovornom licu omogućavaju delovanje u realnom vremenu. Zemlje u razvoju susreću se sa problemom nekompletnih i nedovoljno detaljnih baza

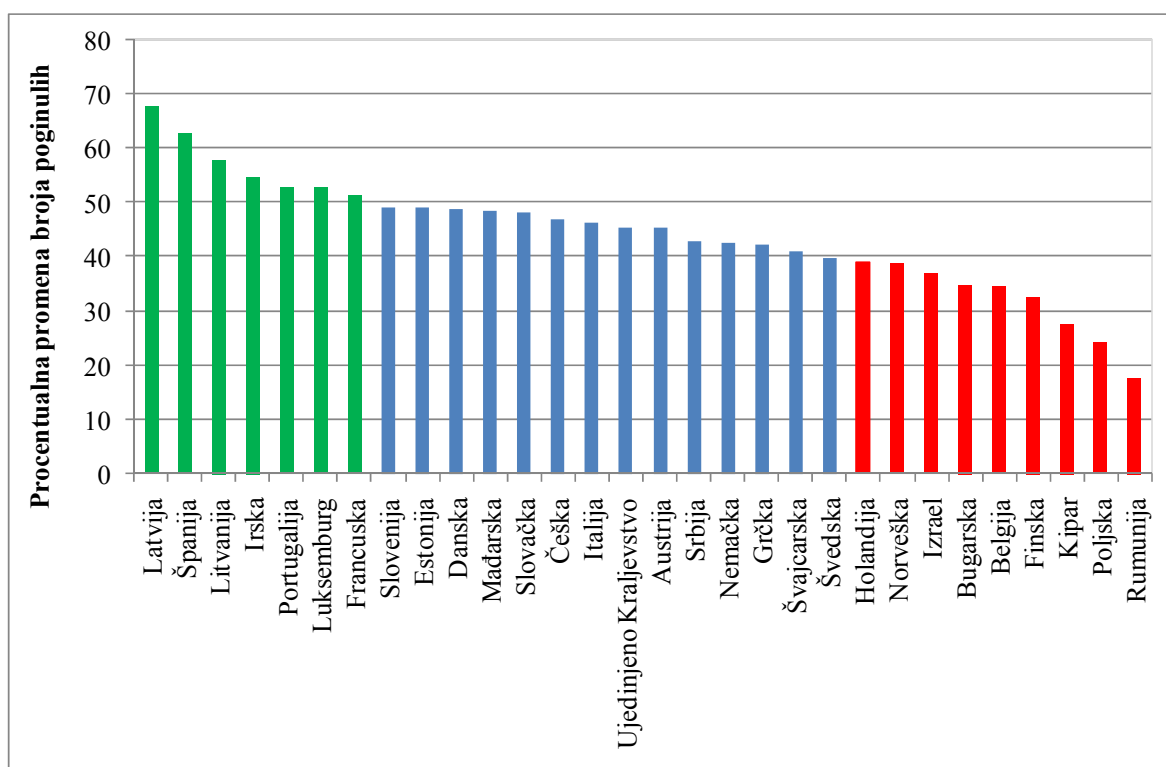
podataka koji u mnogo čemu otežavaju procese modelovanja, pa je neophodno istaći prednosti ovih modela posebno za zemlje u razvoju jer za proces modelovanja su potrebni samo podaci o vremenu nastanka saobraćajne nezgode i prostornom aspektu.

1.2. DIMENZIJE PROBLEMA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Povrede u drumskom saobraćaju predstavljaju značajan globalni javni problem (Evans, 2004), koji zahteva zajedničke napore za efikasnu prevenciju saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica. Od svih sistema sa kojima se ljudi svakodnevno susreću drumski saobraćaj je najsloženiji i najopasniji. Prema procenama Svetske zdravstvene organizacije (*eng. WHO-World Health Organization*), svake godine 1,24 miliona ljudi širom sveta pogine u drumskim saobraćajnim nezgodama, dok je broj povređenih između 20 i 50 miliona (Global status report, 2013).

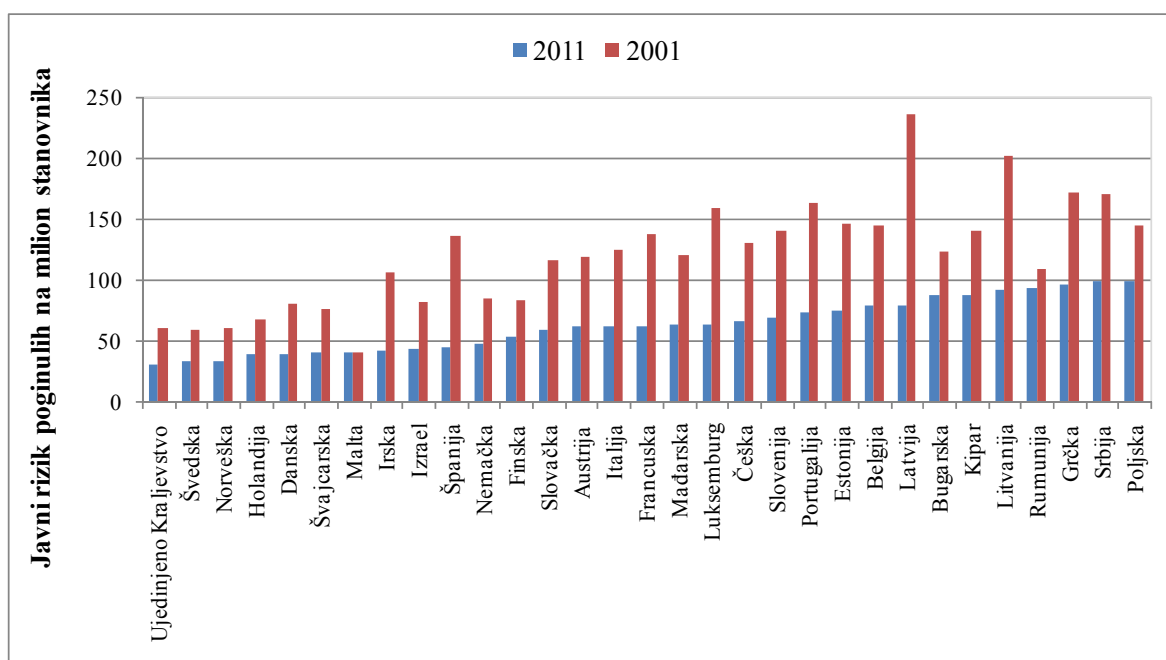
Istraživanja u Evropi (EU27) pokazuju da je oko 30.100 ljudi poginulo od posledica saobraćajnih nezgoda, dok je oko 324.000 teže povređeno u 2011. godini (Jost et al., 2012). U Republici Srbiji 2001. godine život je izgubilo 1.275 lica, dok je 2011. broj poginulih u saobraćaju smanjen na 728.

Ako se izvrši komparacija broja poginulih 2001. i 2011. godine Letonija, Španija i Litvanija su vodeće zemlje po smanjenju broja poginulih. Letonija je dostigla smanjenje broja poginulih od 68% od 2001. godine, Španija 63% i Litvanija 58%. Irska, Portugalija, Luksemburg i Francuska su takode ostvarile smanje broja poginulih od 50%. Povećanje broja poginulih (6%) jedino je zabeleženo u Malti. Srbija je ostvarila smanjenje broja poginulih od 43% (grafik 1.1).



Grafik 1.1. Procentualna promena broja poginulih u saobraćajnim nezgodama 2001. i 2011. godine u Evropskim zemljama (izvor podataka: CARE)

Ako se posmatra javni rizik poginulih na nekom području na milion stanovnika uočava se da su Ujedinjeno Kraljevstvo, Švedska, Norveška, Holandija i Danska pet najbezbednijih zemalja Evrope u 2011. godini (javni rizik je manji od 40 poginulih na milion stanovnika u 2011. godini). Zemlje u kojima je javni rizik poginulih na milion stanovnika imao vrednost 100 u 2011. godini su Poljska i Srbija i one su ujedno po ovom pokazatelju zemlje u kojima je nivo bezbednosti na najnižem nivou (grafik 1.2).

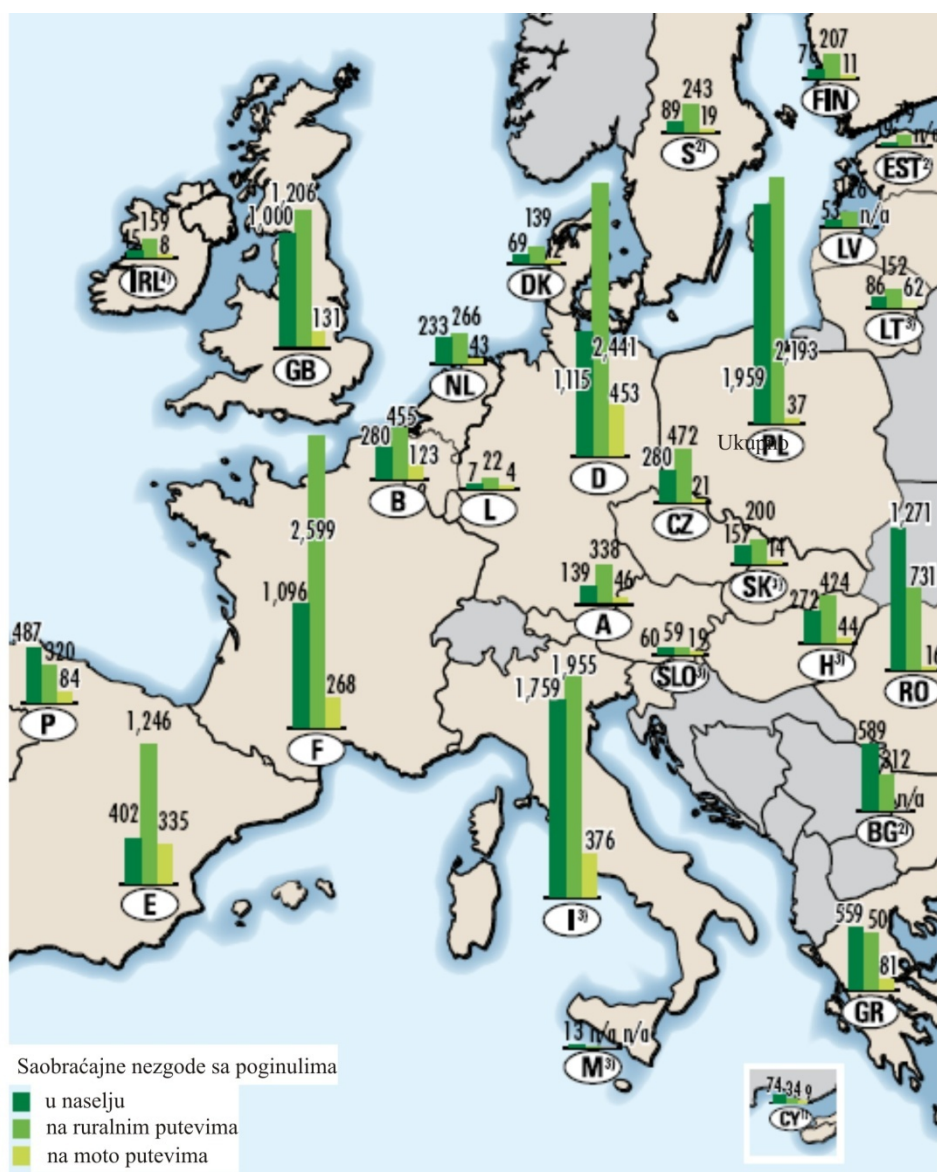


Grafik 1.2. Komparacija javnog rizika poginulih u saobraćajnim nezgodama na milion stanovnika u 2001. i 2011. godini u Evropskim zemljama (izvor podataka: CARE)

Poređenjem javnog rizika poginulih na milion stanovnika u periodu 2001. i 2011. godine, zaključuje se da su mnoge zemlje Evrope posvetile posebnu pažnju problemu stradanja stanovnika u saobraćajnim nezgodama. Počev od manjih akcija koje su usmerene ka jednoj ciljnoj grupi, pa preko sistemskih pristupa smanjenju stradanja, razvijanju posebnih tehnika i metoda čiji je glavni cilj povećanje nivoa bezbednosti saobraćaja.

Saobraćajne nezgode na ruralnim putevima predstavljaju još uvek značajan problem bezbednosti saobraćaja. Na ruralnim putevima u OECD zemljama svake godine pogine više od 75.000 ljudi što predstavlja oko 60% svih poginulih u saobraćajnim nezgodama (OECD, 1999). Broj poginulih na ruralnim putevima u Nemačkoj, Francuskoj i mnogim drugim zemljama Evrope je visok decenijama unazad (slika 1.1).

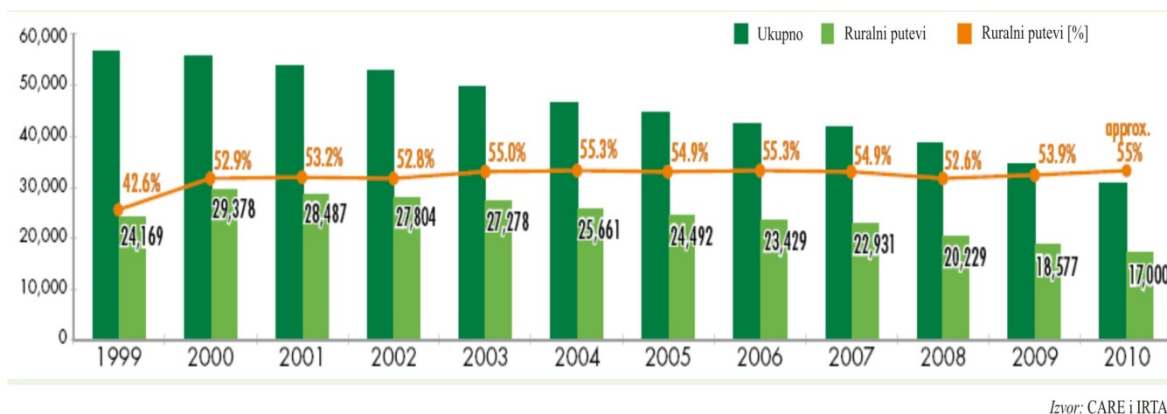
Tako na primer od 4.009 poginulih na putevima u Nemačkoj tokom 2011. godine, 2.441 lice je poginulo upravo na ruralnim putevima (što je oko 60% od ukupnog broja poginulih). Još lošija situacija je u Francuskoj gde je u 2011. godini 3.963 lica poginulo od posledica zadobijenih u saobraćajnim nezgodama, od toga 2.867 je život izgubilo na ruralnim putevima (što čini 72% od ukupnog broja poginulih) (Road Safety Report, 2013).



Slika 1.1. Saobraćajne nezgode sa poginulima u Evropi prema kategoriji puta
(adaptirano prema: Road Safety Report, 2013)

Razlozi za ovakvo stanje bezbednosti saobraćaja su različiti. Prema nekim istraživačima iako se vozači osećaju sigurnije na ovim putevima nego na putevima u naselju ili motoputevima, glavni uzroci nezgoda sa smrtnim i teškim telesnim posledicama su: brzina, prepreke na putevima, preticanje, nepregledne krivine, ukrštanja i raskrsnice, brzina dolaska službi medicinske pomoći na mesto nezgode.

Pored Nemačke i Francuske, procenat poginulih u saobraćajnim nezgodama na ruralnim putevima je visok i u Austriji (64%), Španiji (63%), Češkoj Republici (60%) i Danskoj (59%), (Finskoj 75%) i Estoniji (81%), dok je u Grčkoj značajno niži (48%), Sloveniji (43%) i Portugaliji (36%). Ipak ako se posmatra ukupan broj poginulih u saobraćajnim nezgodama na ruralnim putevima u Evropi 2010. godine poginulo je 16.277, dok je 1999. taj broj iznosio 24.169 (uočeno je smanjenje za oko 33%) (grafik 1.3).



Grafik 1.3. Broj poginulih na ruralnim putevima u Evropi između 1999-2010.god.
(adaptirano prema: Road Safety Report, 2013)

1.3. KONCEPT ISTRAŽIVANJA

Program rada u okviru disertacije, u funkciji rešavanja definisanih zadataka istraživanja, podeljen je u tri istraživačke faze koje su međusobno povezane.

U prvoj fazi dat je pregled i analiza literature i svetskih trendova u proučavanju frekvencije saobraćajnih nezgoda. U ovom delu poseban akcenat je stavljen na vremenske modele frekvencije saobraćajnih nezgoda, mogućnosti primene, prednosti i nedostatke, kao i njihova veza sa prostornim modelima. Sa aspekta vremenskih modela dat je kritički osvrt na modele klasične vremenske analize, primeni modela vremenskih serija, prostoro-vremenskih modela i mogućnosti i potencijali razvoja i unapređenja modela koji se zasnivaju na metodama analize vremena između dve saobraćajne nezgode.

Druga faza obuhvata testiranje i verifikaciju predloženog modela analize frekvencije saobraćajnih nezgoda posmatranjem vremena između dve saobraćajne nezgode. Korišćene su već pomenute metode pouzdanosti, metode alokacije i realokacije pouzdanosti. Pri određivanju pouzdanosti puta sprovedena je analiza kako bi se utvrdila njegova struktura i stepen složenosti, odnosno definisanje elemenata sistema – deonica. Svaki put kao složen sistem, sastoji se od n elemenata – deonica, pri čemu otkaz bilo kog elementa izaziva otkaz celog sistema. Parametri pouzdanosti/bezbednosti puta sa vremenskog aspekta računati su prema poznatim obrascima iz teorije pouzdanosti i obnavljanja tehničkih sistema (Ushakov and Harrison, 1994; Dhillon, 2005; Rausand and Høyland, 2004; Kumar, 2006; Čatić, 2009; Ivanović i dr., 2010). U radu je primenjena metoda realokacije uz minimalni uloženi napor i/ili realokacija pouzdanosti primenom ARINC metode (MIL-HDBK-338B, 1998; Kececioglu 2002; Pham, 2003) . Metoda realokacije je posmatrana sa dva aspekta. Prvi je realokacija pouzdanosti uz zahtev za povećanje nivoa pouzdanosti sistema za 10%, a drugi je realokacija pouzdanosti uz zahtev smanjenja intenziteta otkaza sistema za 10%. Ova metoda se primenjuje kod sistema sa rednom vezom elemenata što odgovara predmetu analize puta koji se sastoji od deonica koje su vezane redno. Prikazani su ključni rezultati istraživanja, i iznet je stav autora o pojedinim problemima i ograničenjima prilikom sprovođenja istraživanja.

U okviru treće faze izneseni su glavni zaključci, zapažanja, preporuke i pravci daljih istraživanja koji su zasnovani na rezultatima dobijenim u disertaciji.

1.4. STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

U uvodnom poglavlju dat je osvrt na opštu problematiku bezbednosti saobraćaja, stanja i tendencije u svetu i našoj zemlji. Takođe istaknut je problem bezbednosti saobraćaja na ruralnim putevima u Evropi i Srbiji.

U okviru poglavlja metodološkog koncepta definisan je problem, predmet, kao i cilj istraživanja. Takođe, u okviru ovog poglavlja istaknute su i polazne hipoteze rada. Na osnovu iznetog problema i postavljenih hipoteza navedene su naučno-istraživačke metode i tehnike istraživanja koje su korišćene za izradu disertacije. Obrazložena je i naučna opravdanost doktorske disertacije.

U trećem poglavlju dat je pregled dosadašnjih istraživanja koja se odnose na frekvenciju saobraćajnih nezgoda. Iznet je kritički osvrt na prednosti i nedostatke svakog od navedenih metoda.

U četvrtom poglavlju prikazane su mogućnosti primene teorije pouzdanosti u oblasti bezbednosti saobraćaja. Na konkretnom primeru prikazana je primena modela pouzdanosti u analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda

U petom poglavlju definisani su modeli alokacije i realokacije pouzdanosti/bezbednosti saobraćaja na putu. Četvrto i peto poglavlje daju i osnovni naučni doprinos disertacije. U okviru njih data je postavka modela, izvršeno testiranje na realnim podacima na osnovu čijih rezultata je izvršena i verifikacija polaznih hipoteza.

U šestom poglavlju, na osnovu sprovedenih istraživačkih faza, dati su opšti zaključci i pravci daljih istraživanja.

1.5. REFERENCE

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Bergel-Hayat, R., 2012. Time-series models of aggregate road risk and their applications to European countries. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 32, 211–246.
- Commandeur, J., Bijleveld, F., & Bergel, R., 2007. A multivariate time series analysis applied to SafetyNet data. SafetyNet Deliverable D7.7
- Commandeur, J. J., Bijleveld, F. D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., & Papadimitriou, E., 2013. On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 424-434.
- Ćatić, D., 2009. Metode pouzdanosti mašinskih sistema. Mašinski fakultet, Kragujevac, ISBN 978-86-86663-31-3.
- Dhillon, B.S., 2005. Reliability, Quality, and Safety for Engineers. Boca Raton, Florida, USA, ISBN 0-8493-3068-8.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. Multilevel modelling and time series analysis in traffic safety research – Methodology, Deliverable D7.4 of the EU, FP6 project SafetyNet.
- Elvik, R., Vaa, T., 2004. The Handbook of Road Safety Measures. Elsevier.
- Elvik, R., 2008. A Survey of Operational Definitions of Hazardous Road Locations in Some European Countries, *Accident Analysis and Prevention* Vol. 40, pp.1830–1835.
- Elvik, R., 2008. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Hazardous Road Locations, Annual meeting of Transportation Research Board, Washington D.C.
- Evans, L., 2004. Traffic safety, Science Serving Society of Bloomfield Hills, Michigan, ISBN 978-0975487105
- Global status report on road safety 2013, Supporting a decade of action, 2013. World Health Organization, Geneva, ISBN 978 92 4 156456 4.
- Hauer, E. et al., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record* 1784, 27–32.
- Inić, M., 2004. Bezbednost drumskog saobraćaja. FTN izdavaštvo, Novi Sad, ISBN 86-80249-85-8.
- Ivanović, G., Stanivuković, D., et al., 2010. Pouzdanost tehničkih sistema. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-247-3.
- Jost, G., Allsop, R., Steriu, M., 2012. A Challenging Start towards the EU 2020 Road Safety Target. 6th Road Safety PIN Report. ETSC, Brussels.
- Kececioglu, D., 2002. Reliability engineering handbook. Volume 2, DLStech Publications. Inc. Pennsylvania, USA, ISBN 1-932078-01-0.
- Kumar, D., Crocker, J. et al., 2006. Reliability and Six Sigma. Springer, New York, USA, ISBN-10: 0387302557.

- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305
- MIL-HDBK-338B, 1998. *Military Handbook - Electronic Reliability Design Handbook*, Department of defense, Washington, D.C.
- OECD, 1999. *Safety Strategies for Rural Roads, Road Transport and Intermodal Linkages Research Programme*, OECD Publishing, ISBN: 9789264172913
- Pham, H., 2003. *Handbook of reliability engineering*, ISBN 1852334533. London etc.: Springer.
- Pollock, D. S. G., Green, R. C., & Nguyen, T. (Eds.). (1999). *Handbook of time series analysis, signal processing, and dynamics*. Academic Press.
- Rausand, M., Høyland, A., 2004. *System Reliability Theory – Models, Statistical Methods and Applications*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN 0-471-47133-X.
- Road Safety Report 2013 Rural roads, 2013. DEKRA Automobil GmbH
- Sorensen, M., Elvik, R., 2007. *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best Practice Guidelines and Implementation Steps*, The Institute of Transport Economics (TOI), ISBN 978-82-480-0810-1.
- Ushakov, I.A., Harrison, R.A., 1994. *Handbook of Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, ISBN 0-471-57173-3.

2. METODOLOŠKI KONCEPT

- 2.1 PROBLEM ISTRAŽIVANJA**
- 2.2 PREDMET ISTRAŽIVANJA**
- 2.3 CILJ ISTRAŽIVANJA I POLAZNE PRETPOSTAVKE**
- 2.4 PRIMENJENE METODE**
- 2.5 OSNOVNI ELEMENTI ISTRAŽIVANJA**
- 2.6 NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST**
- 2.7 REFERENCE**

2.1. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Saobraćaj je kompleksan sistem, kako sa aspekta funkcionisanja, tako i sa aspekta organizacije. Prekid saobraćaja tj. neizvršenje zahtevanih funkcija prevoza iz tačke A u tačku B, može nastati usled niza različitih okolnosti, a jedan od njih je nastanak saobraćajne nezgode. Stoga je veoma važno usmeravanje pažnje na povećanje nivoa bezbednosti saobraćaja kroz primenu raznih mera.

Bezbednost saobraćaja predstavlja jednu od najvažnijih karika saobraćajnog sistema. Svaki učesnik u saobraćaju želi da sistem funkcioniše na način koji bi ispunio njegova očekivanja i potrebe koje svakodnevno obavlja. Oblast bezbednost saobraćaja predstavlja takođe složen, dosta specifičan sistem, koji se sastoji od više podistema koji su u direktnoj ili indirektnoj vezi, a karakterišu ih sociološki, privredno-ekonomski, tehnički i drugi uslovi. Bezbednost saobraćaja zavisi od organizacije zaštitnog sistema bezbednosti saobraćaja, strukture i razgranatosti mera bezbednosti saobraćaja, stavova i ponašanja učesnika u saobraćaju i mnogih drugih elemenata.

Razvoj metoda analize saobraćajnih nezgoda na postojećoj mreži putnih pravaca svakako zauzima važnu ulogu u savremenom sistemu upravljanja bezbednošću saobraćaja. Takođe, treba imati na umu da eksperti za bezbednost saobraćaja permanentno donose odluke od kojih zavisi bezbednost celokupne populacije koja učestvuje u saobraćaju. Tretman konkretne mikrolokacije, raskrsnice ili deonice puta, određenim korekcionim merama, ima uticaj na broj saobraćajnih nezgoda i težinu posledica. Pri tom se uvek postavlja pitanje kakav je i koliki je taj uticaj. Osnovni zadatak prilikom izbora i definisanja strategija je neophodnost svođenja subjektivizma na najmanju moguću meru.

Postojeći sistemi za praćenje nezgoda omogućavaju uvid u podatke o nezgodama koje su se već desile na određenoj lokaciji ili mreži puteva. Upravljanje bezbednošću saobraćaja zahteva poznavanje postojećeg i procenu budućeg stanja. Za efikasno suprostavljanje negativnim pojavama koje prate saobraćaj neminovno je raspolagati saznanjima o stanju bezbednosti saobraćaja u prošlosti, kao i onom koje trenutno oslikava sadašnjost, ali i onima koje je moguće očekivati u bližoj ili daljoj budućnosti, u zavisnosti od preduzetih mera prevencije.

Glavni cilj bezbednosti saobraćaja je smanjivanje posledica saobraćajnih nezgoda, odnosno broja poginulih i povređenih, kao i materijalne štete. Kada se dati cilj posmatra sa aspekta pouzdanosti sistema, tada se uočava njegovo osnovno obeležje - sprovođenje mera za poboljšanje uslova odvijanja i povećanje vremena bez saobraćajne nezgode, tj. bez otkaza, odnosno nastojanje za produženjem vremena između nastanka dve uzastopne nezgode. Značaj ove oblasti ukazuje na činjenicu da je osnovni zadatak istraživanja ispitivanje postojećeg stanja nivoa bezbednosti ruralnih puteva i puta sa aspekta pouzdanosti njegovog funkcionisanja.

Saobraćajne nezgode sa svojim posledicama nose velike društvene gubitke. Istraživači i eksperti iz oblasti bezbednosti saobraćaja neprestano se trude da prepoznaju i razumeju uticaj faktora na nastanak saobraćajne nezgode. Razumevanje uticaja faktora na nastanak saobraćajne nezgode od velike je koristi za definisanje strategija i planova bezbednosti saobraćaja. Problem sa kojim se eksperti susreću kod ovakvog pristupa

razmišljanja je nepostojanje podataka o svim faktorima i merljivost njihovog uticaja (podaci o ubrzanjima, kočenju, odgovoru vozača na pojedine situacije u saobraćaju, uticaj spoljnih faktora, neposredovanje kompletnih podataka o karakteristikama saobraćajnih nezgoda, učesnicima i svemu onome što predstavlja uzoročno-posledičnu vezu nastanka nezgode). Otuda se veliki broj naučnih radova i studija zasniva na utvrđivanju uticaja faktora na nastanak određenog broja nezgoda na nekom geografskom prostoru (deonicama puta, raskrscima) tokom nekog specifičnog perioda vremena (sedmice, meseca, godine, decenije). Upravo takav način razmišljanja uticao je na razvoj dva pristupa analize frekvencija saobraćajnih nezgoda. Jedan je vremenski pristup (eng. *temporal*), a drugi prostorni (eng. *spatial*). Poslednjih godina ova dva pristupa uslovlila su i pojavu trećeg, koji je nastao njihovom integracijom, i nosi opšti naziv prostorno-vremenske analize (eng. *spatial-temporal analysis*). Sva tri pristupa imaju određene prednosti i nedostatke. Detaljna klasifikacija metodoloških pristupa za analizu frekvencije saobraćajnih nezgoda (broj saobraćajnih nezgoda na deonicama puta ili raskrsnica), kao nove oblasti koja se razvija, prikazana je u više ključnih radova (Lord and Mannering, 2010; Savolainen et al., 2011; Mannering and Bath, 2013). Pored klasifikacije, autori navedenih radova ističu i važnost analize frekvencija saobraćajnih nezgoda i razvoja modela koji imaju značajnu primenu u oblasti saobraćajnih analiza.

Razmatranje problema istraživanja može se realizovati kroz odgovore na sledeća pitanja:

1. Kako i zbog čega je izabrana tema disertacije?

Frekvencija saobraćajnih nezgoda tradicionalno predstavlja predmet velikog broja istraživanja, pri čemu se u prethodnom periodu javilo mnoštvo različitih metodoloških pristupa modelovanja nastanka saobraćajnih nezgoda (Lord and Mannering, 2010). Sa aspekta vremenske analize nastanka saobraćajnih nezgoda izdvojila su se dva pristupa: (1) kolektivni (Hauer, 1986; Persaud, 1991; Miaou and Lum, 1993; Milton and Mannering, 1998; Golob and Recker, 2003), koji utvrđuje učestalost saobraćajnih nezgoda tokom nekog dužeg vremenskog perioda i (2) pojedinačni (Hughes and Council, 1999; Lee, et al., 2003; Golob and Recker, 2004), koji utvrđuje verovatnoću nastanka saobraćajnih nezgoda u realnom vremenu (Abdel-Aty and Pande, 2007).

Klasične vremenske analize ne pružaju odgovor gde i zašto prvo treba delovati. One su zapravo samo polazni koraci bez kojih je nemoguće započeti bilo kakvu analizu, ali nedovoljan za sprovođenje određenih mera. U okviru vremenskih analiza moguće je sprovesti mapiranje u vremenu i na taj način istaći kritične vremenske (kalendarske) intervale, ali u ovoj oblasti nije moguće postizanje nekog značajnijeg doprinosa. Prva istraživanja bavila su se uticajem pojedinih faktora na promenu broja saobraćajnih nezgoda tokom vremena (promene po godinama) (Zlatoper, 1984, 1989; Partyka, 1984, 1991; Whitfield and Fife, 1987; Broughton, 1991; Oppe, 1991). Pored toga, jedan broj istraživača prikazao je rezultate promene broja nezgoda po mesecima (Lassarre, 1986; Scott, 1986; Golob, et., al 1990; Levine, 1995; Folkard, 1997). Levine (1995) i Jovanović et al., (2010) su u okviru svog rada prikazali rezultate kombinacije raspodele nezgoda po vremenskim jedinicama (čas, dan, mesec). Postoje brojni radovi koji pokazuju zavisnost između obima saobraćaja i broja saobraćajnih nezgoda (Pfundt, 1969; Lassarre, 1986; Brodsky and

Hakkert, 1988; 1993; Golias, 1992; Martin, 2002; Qin et al., 2006). Kada se analizira frekvencija saobraćajnih nezgoda, akcenat se stavlja i na sezonski uticaj, tj. uticaj meteoroloških uslova na bezbednost saobraćaja (Andrey and Olley, 1990; Andrey and Yagar, 1993; Fridstrom et al., 1995; Poch and Mannering 1996; Andreescu and Frost, 1998; Edwards, 1999; Norrman et al., 2000; Andrey et al., 2003; Coate and Markowitz, 2004; Keay et al., 2005; Radun and Radun, 2006; Songchitruksa and Balke, 2006; Brijs et al., 2008; Andersson and Chapman, 2011).

Pojedini istraživači modelovali su uticaj saobraćajnog toka (prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja - PGDS-a), broj pređenih kilometara po vozilu ili broj vozila koji prođe na određenom delu puta kao bitne pokazatelje izloženosti saobraćajnim nezgodama (Fridstrom et al., 1995; Abdel-Aty and Radwan, 2000; Ivan et al., 2000; Martin, 2002; Elvik and Vaa, 2004; Qin et al., 2006). Memon (2012) je u okviru disertacije pokazao da na nastanak saobraćajne nezgode utiču brojni faktori, koji uključuju puteve, vozila, ljudski faktor, okruženje i uslove saobraćaja.

Vremenske serije se koriste za analizu i predviđanje određenih pojava, a u oblasti bezbednosti saobraćaja to može biti broj nezgoda, broj nastradalih, procenat korišćenja sigurnosnog pojasa i sl. Međutim, iako veoma dobro opisuju buduće promene određene pojave, vremenske serije ne pružaju mogućnost dubinske analize i delovanja u realnom vremenu (Bašić et al., 2010). Pregled dosadašnjih primena vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja dat je u radu Commandeur et al. (2013), a tiče se istraživanja koje su vršena na nacionalnom nivou u Evropi od 1980. godine. U navedenom radu istaknut je napredak u oblasti tehnika vremenskih serija od deskriptivnih analiza do nezavisnih modela (Bergel-Hayat, 2008; 2012), kao i od determinističkih do stohastičkih modela pod okriljem strukturnih modela (Harvey, 1989; Commandeur and Koopman 2007; Bijleveld et al. 2008; Commandeur et al., 2011; Durbin and Koopman, 2012). Značaj metoda vremenskih serija pokazuje i projekat FP6 (Work Package 6) SafetyNet koji je posvećen primeni vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja. U okviru programa, posebno u okviru metodoloških izveštaja i priručnika, mogu se pronaći detaljne informacije i koraci razumevanja primene vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja (Dupont and Martensen, 2007a, 2007b; Commandeur et al., 2007; Stipdonk, 2008). Bergel-Hayat, R. (2012) je u svom radu prikazao istorijski pregled razvoja različitih modela vremenskih serija koji su se zasnivali na podacima o saobraćajnim nezgodama, riziku i njihove primene u Evropskim zemljama. Analizom dostupne literature, zaključeno je da je u okviru oblasti izučavanja vremenskih serija veoma dobro razvijen matematički aparat i odgovarajuće tehnike. Pored toga, potpuno je jasno da su teorijska istraživanja iz oblasti vremenskih serija gotovo u potpunosti vezana za oblast statistike. U datom okviru eksperti iz oblasti bezbednosti saobraćaja teško mogu dati značajniji naučni doprinos, osim u primeni već razvijenih metoda.

Tokom razvoja prostornih modela najpre se polazilo od uočavanja problema bezbednosti saobraćaja u prostoru (koncept identifikacije i tretmana opasnih mesta), da bi se kasnijim istraživanjima postojeći koncept inovirao uvažavanjem vremenskih karakteristika nastanka saobraćajnih nezgoda. Prostorni modeli saobraćajnih nezgoda bili su predmet istraživanja brojnih autora (Levine et al., 1995a; 1995b; Nicholson, 1998; LaScala et al., 2000; Graham and Glaister, 2003; Tarko and Kanodia, 2004; Miaou and

Song, 2005; Agüero-Valverde and Jovanis, 2006; Sørensen and Elvik, 2007; Montella, 2010; Siddiqui et al., 2012; Hummer et al., 2012). Sørensen and Elvik (2007) ističu da opasne deonice puta treba identifikovati kao deonice puta koje imaju viši očekivani broj nezgoda nego obično očekivani broj na sličnim deonicama puta, usled specifičnih lokalnih karakteristika datih deonica. Mapiranje saobraćajnih nezgoda, njihovih posledica, saobraćajnog ili javnog rizika takođe pripada grupi prostornih analiza (Lipovac et al., 2009a, 2009b).

Prostorni modeli frekvencije saobraćajnih nezgoda korišćeni su u analizama faktora bezbednosti saobraćaja koji su u vezi sa nastankom nezgoda. Priručnik bezbednosti saobraćaja (HSM - The Highway Safety Manual) predlaže upotrebu modela predikcije (eng. *safety performance functions*) i empirijske Bajesove teoreme za procenu frekvencije saobraćajnih nezgoda na deonicama i raskrsnicama (AASHTO, 2010). Zbog svog fizičkog pristupa, prostorna analiza je lakše shvatljiva, odnosno manje apstraktna, te je stoga mnogo češće predmet istraživanja iz oblasti bezbednosti saobraćaja.

Istraživanja i razvoj prostorno-vremenskih analiza saobraćajnih nezgoda postali su aktuelni poslednjih godina (Wang and Abdel-Aty, 2006; Prasannakumar et al., 2011; Kingham et al., 2011; Blazquez and Celis, 2012; Bačkalić et al., 2013). U ovu grupu spadaju metode za identifikaciju i vizuelizaciju vremenski opasnih mesta (npr. raspodela frekvencija saobraćajnih nezgoda po časovima i uočavanje "opasnih sati") (Li et al., 2007; Plug et al., 2011). Donosioca odluka interesuje gde i kada da deluje određenim merama. Kao što je već pokazano u ranijim istraživanjima fluktuacija broja nezgoda (stopa nezgoda) u različitim vremenskim jedinicama (čas, dan, mesec i godina) sama po sebi je nepotpuna i nedovoljna, kao i frekvencija broja nezgoda na nekom prostoru posmatranja (kilometru, deonici, zoni). Ovo jasno ističe važnost veze raspodele broja nezgoda u prostoru i vremenu kao i značaj njihovog zajedničkog predstavljanja.

Na osnovu detaljnog pregleda literature iz oblasti modelovanja frekvencije saobraćajnih nezgoda sa aspekta vremenskih, prostornih i vremensko-prostornih modela uočeno je da do sada nije razvijen model koji posmatra i analizira vreme između nastanka dve uzastopne saobraćajne nezgode na putevima (Jovanović et al., 2011; Bačkalić et al., 2013). Navedeni problem definisao je osnovnu pretpostavku da se frekvencija saobraćajnih nezgoda, na bazi pojedinačnog pristupa, može analizirati primenom modela teorije pouzdanosti. Posmatranjem saobraćaja na putevima i analiziranjem nastanka (pojave) saobraćajne nezgode, odnosno prekida odvijanja saobraćaja usled neplaniranog i neželjenog događaja, uočeni su mnogi slični procesi i zavisnosti koje proučava i teorija pouzdanosti tehničkih sistema (Vukadinović i Teodorović, 1979; Vukadinović, 1986; Ushakov and Harrison, 1994; Dhillon, 2005).

Za realokaciju pouzdanosti, kao polaznog procesa u donošenju odluka, razvijeno je više metoda, koje se baziraju na različitim kriterijumima. U literaturi iz ove oblasti može se naći veći broj metoda za (re)alokaciju pouzdanosti (MIL-HDBK-338B, 1998; Kececioglu, 2002; Pham, 2003; Rausand and Høyland, 2004; Kumar, 2006; Čatić, 2009; Ivanović i dr., 2010). Većina ovih modela razvijena je za rešavanje problema u određenim oblastima tehnike uz mnoga ograničenja i pretpostavke. Pored toga, kontinualno se istražuju i unapređuju postojeće metode, odnosno razvijaju nove. Filozofija realokacije pouzdanosti zasniva se na ideji da se zadata pouzdanost sistema preraspodeljuje (realocira) na takav

način da se veća poboljšanja zahtevaju kod delova sistema sa nižom pouzdanošću (Ramović, 2005). Zbog toga je potrebno određivanje ili merenje pouzdanosti svakog elementa, odnosno ako postoji mogućnost, procenjivanje pouzdanosti svih elemenata sistema.

Na osnovu pregleda literature iz oblasti vremenskih analiza frekvencija saobraćajnih nezgoda uočeno je područje koje nije dovoljno istraženo u oblasti bezbednosti saobraćaja, a odnosi se na dinamičku komponentu vremena koje protekne između nastanka dve uzastopne saobraćajne nezgode. To je bila polazna osnova za realizaciju istraživanja i pristupanju razvoja modela koji su definisani u okviru disertacije.

2. Da li se zamišljeni problem može istražiti?

Klasična vremenska analiza je deskriptivnog karaktera i vezuje se za kalendarsko vreme. S druge strane, vremenske serije imaju moć i opisa i predikcije pojava u nekom sistemu, ali ne i mogućnost analize strukture sistema i ukazivanja na slabe karike. Drugim rečima, ne omogućavaju jednostavno rangiranje podsistema ili elemenata prema značaju u sistemu i nivou pouzdanosti (bezbednosti). Na osnovu svega navedenog, u disertaciji je predložen novi pristup istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda kroz definisanje modela primenom teorije pouzdanosti, koja vreme posmatra kao dimenziju (apsolutnu i konstantnu veličinu). Najvažnija pitanja za donosioca odluke (upravljača puta) su - gde i kada sprovesti određene mere sa ciljem povećanja bezbednosti saobraćaja. Model razvijen u disertaciji omogućuje određivanje verovatnoće i predviđanje pojave saobraćajnih nezgoda na deonicama puteva. Predloženi model daje odgovor upravljajuću puta gde da očekuje pojavu saobraćajne nezgode, dok se model realokacije pouzdanosti primenjuje u izboru deonica za tretiranje u cilju postizanja zahtevanog nivoa bezbednosti puta.

S obzirom na postojanje baze podataka o nezgodama i njihovim obeležjima i posledicama, istraživanje nije bilo uslovljeno sprovođenjem brojanja, anketa ili nekih drugih metoda. Takođe, nije uslovljeno ni vremenskim aspektom, ni troškovima istraživanja, tajnošću podataka, jedino ograničenje je predstavljao kvalitet baza podataka o nezgodama. Predstavljeno istraživanje donosi novitet, a ne ponavljanje već poznatog, što je od suštinskog značaja. Pojava saobraćajnih nezgoda na deonicama puta analizirana je sa vremenskog aspekta, odnosno analizirana je pojava saobraćajnih nezgoda u koordinatnom sistemu vreme-stacionaža. Modeli predloženi u disertaciji testirani su kroz definisane hipoteze i primenjeni na realnim podacima o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile na ruralnim putnim pravcima tokom definisanog vremenskog perioda.

3. Koja su praktična i teoretska rešenja?

Predloženi modeli zasnovani su na teoriji pouzdanosti i omogućavaju da ekspert ili odgovorno lice (upravljajući puta), na osnovu praćenja trajanja perioda bez prekida odvijanja saobraćaja (nastanak saobraćajne nezgode), dobije informaciju o stanju bezbednosti puta u realnom vremenu. Pored dinamičke komponente modela i praćenja bezbednosti saobraćaja, značajnu prednost nosi i model realokacije pouzdanosti koji upravljajuću puta služi kao pomoćni alat za izbor deonica koje je potrebno tretirati da bi ostvario željeni nivo bezbednosti saobraćaja. Modeli prikazani u disertaciji daju odgovor na osnovno pitanje

koje upravljač puta postavlja, a to je gde i kada treba uložiti napor da poveća bezbednost saobraćaja na putnom pravcu.

2.2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Pregled literature koja se odnosi na vremenski i prostorni aspekt u analizi saobraćajnih nezgoda pokazuje da ovi modeli predstavljaju značajan segment procesa planiranja, upravljanja i prognoza bezbednosti saobraćaja. Istraživanje, unapređenje postojećih, kao i razvoj novih modela za kvalitativnu ocenu faktora bezbednosti saobraćaja, ocenu postojećih stanja i procenu budućeg stanja od velikog su značaja, te samim tim i opravdavaju potrebu jednog ovakog istraživanja u okviru doktorske disertacije.

Predmet istraživanja je analiza i modelovanje saobraćajnih nezgoda na deonicama ruralnog putnog pravca, a pripada oblasti modelovanja saobraćajnih nezgoda (prostorni, vremenski i prostorno-vremenski modeli). U okviru predmeta istraživanja podaci se posmatraju sa vremenskog i prostornog aspekta. Osnovne vremenske jedinice nastanka nezgode koje su korišćene za testiranje modela su: čas, dan, mesec, godina. Stacionaža puta predstavlja osnovnu prostornu varijablu, na osnovu koje se dobija nova prostorna varijabla, a to je deonica putnog pravca na kojoj je nezgoda nastala.

Vremenski i prostorni podaci o nastanku nezgode su ulazni parametri za testiranje modela pouzdanosti putnog pravca i deonica, koji u obzir uzima vreme između nastanka dve saobraćajne nezgode na putu. Izlazni podaci modela pouzdanosti su ujedno ulazni podaci za model prostorne raspodele nezgoda koji pokazuje mogućnosti primene metode realokacije pouzdanosti kao pomoćnog alata u postupku izbora deonica za tretiranje.

Metodološki postupak analize saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica ima za cilj unapređenje postojećeg klasičnog vremensko-prostornog pristupa u sistemu upravljanja bezbednosti saobraćaja.

Osnovni predmet istraživanja doktorske disertacije je analiza vremenskih pristupa u metodama istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda i razvoj novih modela koji se baziraju na posmatranju vremena između nastanka dve uzastopne saobraćajne nezgode na ruralnim putnim pravcima.

2.3. CILJ ISTRAŽIVANJA I POLAZNE PRETPOSTAVKE

Naučni ciljevi disertacije odnose se na pregled postojećih metoda i modela vremenske analize, opis i primenu modela teorije pouzdanosti, klasifikaciju tih modela i dokazivanje kroz mogućnost primene u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Uzimanje u obzir vremena, kao dinamičke komponente u analizama bezbednosti saobraćaja, predstavlja proširenje tradicionalnog pristupa koji zahteva analizu podataka o saobraćajnim nezgodama nakon što se nezgode dogode. U radu će biti definisan i testiran

model analize frekvencija saobraćajnih nezgoda primenom teorije pouzdanosti što je ujedno jedan od glavnih ciljeva istraživanja. Drugi cilj disertacije je razvoj modela za primenu realokacije pouzdanosti kao pomoćnog alata u izboru (rangiranju) deonica u cilju ostvarivanja željenog nivoa bezbednosti saobraćaja.

Pregledom i analizom najznačajnijih istraživanja iz oblasti bezbednosti saobraćaja uočeno je da nije bilo pokušaja primene zakonitosti teorije pouzdanosti u analizi nastanka saobraćajnih nezgoda. Posle analize bezbednosti saobraćaja sa vremenskog i prostornog aspekta posmatranog putnog pravca, sledeći cilj je opisivanje i primena modela teorije pouzdanosti, klasifikacija tih modela i dokazivanje mogućnost primene u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Postizanje postavljenog cilja disertacije moguće je realizovati kroz sledeće zadatke istraživanja:

1. Izvršiti sistematizaciju dosadašnjih istraživanja koja se odnose na vremenski aspekt analize saobraćajnih nezgoda.
2. Pojmovno definisanje koje podrazumeva analizu pojmova i stanja u teoriji pouzdanosti, a zatim pronalaženje sličnih pojmova i stanja u teoriji bezbednosti saobraćaja.
3. Definisanje modela za određivanje pouzdanosti ruralnog putnog pravca koji bi bio podrška pri donošenju odluka od strane upravljača puta u cilju izbora deonica koje treba tretirati kako bi se povećao postojeći nivo bezbednosti saobraćaja.
4. Definisanje modela kao pomoćnog alata za izbor deonica koje treba tretirati kako bi se postigla zahtevana bezbednost putnog pravca, odnosno smanjenje broja saobraćajnih nezgoda.
5. Testiranje modela na realnim podacima o broju saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile na ruralnom putnom pravcu.
6. Na osnovu pregleda literature i rezultata modela izneti zaključke i pravce daljih istraživanja.

Na osnovu definisanog problema, predmeta istraživanja, ciljeva i zadataka u okviru disertacije definisane su dve osnovne i četiri pomoćne hipoteze.

Osnovna hipoteza 1: Frekvenciju saobraćajnih nezgoda, na bazi pojedinačnog pristupa, može se analizirati posmatranjem vremena između dve uzastopne nezgode.

Pomoćna hipoteza 1: Postojeća literatura iz oblasti bezbednosti saobraćaja, koja se odnosi na vremenski pristup u metodologiji istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda, nedovoljno pokriva oblast koja se odnosi na posmatranje vremena između dve saobraćajne nezgode, definisanog u okviru osnovne hipoteze 1.

Pomoćna hipoteza 2: Moguće je razviti model na bazi teorije pouzdanosti koji će omogućiti određivanje verovatnoće i predviđanje pojave saobraćajnih nezgoda na deonicama puteva.

Pomoćna hipoteza 3: Definisani model, zasnovan na teoriji pouzdanosti (iz pomoćne hipoteze 2) moguće je primeniti za utvrđivanje sledećih parametara: (1) srednje vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode, (2) frekvenciju saobraćajnih nezgoda, (3) verovatnoću nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda na deonici ili celom putu.

Osnovna hipoteza 2: Model realokacije pouzdanosti upravljač puta može primeniti pri izboru (rangiranju) deonica za tretiranje u cilju postizanja zahtevane bezbednosti putnog pravca.

Pomoćna hipoteza 4: Model realokacije pouzdanosti (iz osnovne hipoteze 2), moguće je primeniti u cilju izbora (rangiranja) deonica za tretiranje, odnosno, preraspodeljivanje željene pouzdanosti sistema na njegove elemente, omogućuje postizanje tačno definisanog nivoa pouzdanosti ili tačno određenog povećanja pouzdanosti puta kao celine.

2.4. PRIMENJENE METODE

Na osnovu, predmeta istraživanja, postavljenog cilja i definisanih hipoteza uočena je potreba za primenom sledećih naučno-istraživačkih metoda i tehnika istraživanja:

- Istraživačke tehnike koje će biti korišćene za pregled dosadašnjih istraživanja:
 - Analiza literature je tehnika koja se primenjuje u postupku izučavanja dostupne literature iz oblasti analize bezbednosti saobraćaja i teorije pouzdanosti;
 - Statistička obrada je korišćena za kvantitativnu analizu i sintezu;
 - Kvalitativna obrada podataka.
- Posebne naučne metode i postupci koji će biti korišćeni za analizu dosadašnjih istraživanja:
 - Metoda analize (postupak istraživanja zasnovan na objašnjenju problema putem raščlanjivanja složenih celina na jednostavnije sastavne delove) i sinteze (postupak istraživanja zasnovan na spajanju prostih celina u složenije forme);
 - Metoda generalizacije i konkretizacije;
 - Metoda klasifikacije (uočavanje skupova sa sličnim svojstvima).
- Opšte naučne i tehničke metode naučnog istraživanja koje će biti korišćene za prikupljanje i obradu podataka:
 - Metoda modelovanja;
 - Metoda dokazivanja (polazne hipoteze);
 - Statistička metoda (pomoću pokazatelja otkrivaju se strukture i zakonitosti pojave u pojedinim intervalima);
 - Matematička metoda (primena zakonitosti teorije pouzdanosti).

Testiranje slaganja empirijskih raspodela vremena između nastanka dve nezgode na putnom pravcu sa teorijskim raspodelama, biće vršeno pomoću χ^2 testa. Kod klasičnih vremenskih analiza primenjuju se statistički programi koji olakšavaju i ubrzavaju rad. U radu će se za potrebe ovakvih analiza koristiti odgovarajući statistički softver.

- Komparativna metoda (upoređivanje istih ili sličnih činjenica, pojava ili procesa, odnosno uočavanje njihove sličnosti i razlika u ponašanju);

- Empirijska metoda;
 - Naučno ispitivanje;
 - Metoda analize sadržaja;
 - Metoda studije slučaja.
-
- Definisanje novih modela vremenske analize saobraćajnih nezgoda zasnovanih na teoriji pouzdanosti sistema. Za obrazovanje strukture modela projektovanja pouzdanosti biće korišćene metode:
 - Blok dijagram pouzdanosti;
 - Funkcija pouzdanosti;
 - Alokacija pouzdanosti;
 - Realokacija pouzdanosti.

2.5. OSNOVNI ELEMENTI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje se zasniva na podacima o saobraćajnim nezgodama dobijenim iz Jedinstvenog informacionog sistema (JIS) MUP-a Republike Srbije, tako da kvalitet i dostupnost ovih podataka umnogome određuje i kvalitet samih rezultata istraživanja što može da predstavlja ograničenje istraživanja. Za testiranje modela pouzdanosti, kao i modela alokacije i realokacije korišćeni su podaci državnog puta prvog reda (nekadašnji magistralni put M24¹) na delu koji prolazi kroz AP Vojvodinu (od Subotice preko Kikinde, Zrenjanina, Pančeva do Kovina). Navedeni put sastoji se od 20 deonica, ukupne dužine 255,113 km. Svaka deonica je specifična po strukturi i obimu saobraćaja, putnom okruženju, elementima i opremi puta. Put se u okviru modela posmatra kao sistem od 20 elemenata u rednoj (serijskoj) vezi. Neophodno je napomenuti da su dati putevi realni sistemi na kojima su zabeleženi i snimljeni svi podaci o saobraćajnim nezgodama. Pored toga, na njima će biti testiran model pouzdanosti, kao i model alokacije i realokacije.

Vreme istraživanja, odnosi se na podatke o saobraćajnim nezgodama (1.010 saobraćajnih nezgoda) koje su se dogodile na posmatranom putnom pravcu u periodu od 2005. do 2011. godine.

Za potrebe testiranja modela sve saobraćajne nezgode alocirane su po vremenu dešavanja (godina/mesec/dan/čas) i stacionaži puta (kilometar/metar), čime je dobijena vremensko-prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda po deonicama.

Parametri pouzdanosti puta i posmatranih deonica izračunati su za periode rada od $t=7$ (dana)=168 (h), $t=30$ (dana)=720 (h) i $t=365$ (dana)=8760 (h).

Istraživanje sa sastoji iz tri etape. Prvo je realizovana osnovna vremensko-prostorna analiza bezbednosti saobraćaja posmatranog putnog pravca, nakon čega je određena pouzdanost puta i deonica koje ga čine. U poslednjoj etapi istraživanja izvršena je realokacija pouzdanosti puta, a model je testiran primenom ARINC i metode minimalnog uloženog napora.

Istraživanja realizovana u doktorskoj disertaciji predstavljaju deo naučno-istraživačkog projekata finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije pod nazivom "Razvoj i primena modela upravljanja rizicima na koridorima VII i X sa aspekta unapređenja saobraćajnog sistema Srbije" (TR 36007, 2011-2014). Pored toga što predstavlja deo naučno-istraživačkog projekta, pojedini delovi istraživanja objavljeni su u međunarodnim časopisima iz oblasti saobraćaja (*Transportation*) (Jovanović et al., 2011; Bačkalić et al., 2013), kao i na međunarodnim konferencijama.

¹ Prema uredbi o kategorizaciji puteva ("Sl. glasnik RS", br. 105/2013 i 119/2013) put pripada kategoriji državnog puta II b 300 (Subotica-Bačka Topola); Ib oznaka puta 13 (na delu Čoka-Kikinda-Zrenjanin-Ečka), Ib 14 (Zrenjanin-Kovin)

2.6. NAUČNA I DRUŠTVENA OPRAVDANOST

Upravljanje bezbednošću saobraćaja (rizicima u saobraćaju, odnosno saobraćajnim nezgodama) postaje izazov za svaku državu. Upravljanja rizicima u okviru bezbednosti saobraćaja podrazumeva praćenje pojava, utvrđivanje uzroka nastanka nezgoda, projektovanje mera, realizacija mera, kao i vrednovanje efekata. Vremenski i prostorni modeli u analizi saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica omogućavaju upravljanje rizicima. Bezbednosni aspekti mogu se vrednovati u pogledu broja nezgoda, povreda, a aspekti pouzdanosti mogu biti mereni u pogledu prekida rada sistema. U radu će biti definisane teorijske postavke i razvijeni modeli za upravljanje rizikom, kroz ocenu rizika bezbednosti i pouzdanosti puta. Na osnovu toga moguće je definisanje planova reagovanja u cilju smanjenja i kontrole identifikovanih rizika.

Modeli opisani i testirani u disertaciji otvaraju novi pristup analize frekvencije saobraćajnih nezgoda u oblasti bezbednosti saobraćaja. Prednost ovih modela je što se vremenska i prostorna analiza dopunjuju. Analiza srednjeg vremena između dve uzastopne nezgode predstavlja osnovu razvijenih modela. Na taj način se stavlja akcenat na dinamičku komponentu modela. Naime, model omogućava upravljaču puta da prati stanje bezbednosti saobraćaja i nije potrebno da se čeka da se nezgode dogode u određenom vremenskom periodu (3-5 godina) već dozvoljava posmatranje u realnom vremenu (sedmica, mesec, godina) na posmatranom putu. Pored toga, značajnu prednost modela predstavlja mogućnost postavljanja (zahteva) željenog nivoa bezbednosti saobraćaja na svim ili izabranim deonicama (u zavisnosti od primenjene metode). Izlazni rezultat modela je rang deonica sa vrednostima potrebnog povećanja nivoa bezbednosti saobraćaja, u cilju ostvarivanja željenog nivoa bezbednosti saobraćaja puta. Dosadašnji modeli u oblasti upravljanja bezbednošću saobraćaja na putevima (Network Safety Management - NSM) zahtevaju veliki broj podataka o saobraćajnim nezgodama, putu, saobraćaju. Mnoge zemlje sa srednjim i malim nacionalnim dohotkom nemaju detaljne baze podataka, što ograničava sprovođenje do sada razvijenih i prethodno prikazanih modela. Za modele predložene u disertaciji potrebni su samo podaci o vremenu (čas, dan, mesec i godina) i prostoru (km, deonica puta) nastanka saobraćajne nezgode.

Pristup opisan u radu predstavlja jedan od vidova proaktivnog delovanja, što donosi odluku omogućava praćenje stanja bezbednosti saobraćaja na putnim pravcima kroz posmatranje vremena između dve uzastopne nezgode. Na ovaj način donosilac odluke objektivno može da donese odluku gde da uloži napor i sredstva sa ciljem unapređenja bezbednosti saobraćaja.

2.7. REFERENCE

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abdel-Aty, M., Pande, A., 2007. Crash data analysis: collective vs. individual crash level approach. *Journal of Safety Research* 38 (5), 581–587.
- Abdel-Aty, M., Radwan, E., 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention* 32 (2000) 633–642.
- Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P.P., 2006. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 618-625.
- Andersson, A., Chapman, L., 2011. The use of a temporal analogue to predict future traffic accidents and winter road conditions in Sweden, *Meteorological applications Meteorol. Appl.* 18: 125–136.
- Andreescu, M.P., Frost, D.B., 1998. Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Climate Research* 9: 225–230.
- Andrey J, Olley R. 1990. The relationship between weather and road safety: past and future research directions. *Climatological Bulletin* 24: 123–127.
- Andrey J., Mills, B. et al., 2003. Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities., *Natural Hazards* 28: 319–343.
- Andrey, J., Yagar, S., 1993. A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accident Analysis and Prevention* 25: 465–472.
- Bačkalić, S., Jovanović, D., Bačkalić, T., 2013. „Application of the reliability theory in the traffic safety analysis on the rural road“, *Multidisciplinary Academic Conference 2013 Transport, Logistics and Information Technologies, Proceedings of MAC - TLIT 2013, Indexing – EBSCO, Google Books, Prague, ISBN Number: 978-80-905442-0-8*
- Bačkalić, S., Jovanović, D., Bačkalić, T., 2014. Reliability reallocation models as a support tools in traffic safety analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 65, 47-52.
- Bačkalić, S., Matović, B., Bašić, A., 2013. The time-space approach in the analysis of traffic safety on rural road“, 6. *International scientific conference Road Research and Administration CAR 2013, Technical University of Civil Engineering of Bucharest, ISBN 978-973-100-290-3.*
- Bašić, S., Bačkalić, T., Jovanović, D., 2010. Temporal and time series forecasting as a tool for traffic safety analysis, *X International Symposium "ROAD ACCIDENTS PREVENTION 2010"*, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-279-4.
- Bergel-Hayat, R., 2008. The use of explanatory variables in time series modelling: applications to transport demand and road risk. Ph.D. thesis. Paris-Est University.
- Bergel-Hayat, R., 2012. Time-series models of aggregate road risk and their applications to European countries. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 32, 211–246.

- Bijleveld, F.D., Commandeur, J.J.F., Gould, P.G., Koopman, S.J., 2008. Model-based measurement of latent risk in time series with applications. *Journal of the Royal Statistical Society A* 171, 265–277.
- Blazquez, C. A., & Celis, M. S., 2012. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. *Accident Analysis & Prevention*.
- 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 and Prevention*. 40 (3), 1180–1190.
- Brodsky, H.; Hakkert, A. S., 1993. Highway accident rates and rural travel densities. *Accident Analysis and Prevention*.15(1):73-84.
- Brodsky, H.; Hakkert, A. S., 1998. Risk of a road accident in rainy weather. *Accident Analysis and Prevention*. 20(3):161-176.
- Broughton, J., 1991. Forecasting road accident casualties in Great Britain. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):353-362.
- Ćatić, D., 2009. Metode pouzdanosti mašinskih sistema. Mašinski fakultet, Kragujevac, ISBN 978-86-86663-31-3.
- Coate, D., Markowitz, S., 2004. The effects of daylight and daylight saving time on US pedestrian fatalities and motor vehicle occupant fatalities. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 351–357.
- Commandeur, J., Bijleveld, F., & Bergel, R., 2007. A multivariate time series analysis applied to SafetyNet data. *SafetyNet Deliverable D7.7*
- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., 2007. *An Introduction to State Space Time Series Analysis*. Practical Econometrics Series. Oxford University Press, Oxford.
- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., Ooms, M., 2011. Statistical software for state space methods. *Journal of Statistical Software* 41, 1–18.
- Commandeur, J. J., Bijleveld, F. D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., & Papadimitriou, E., 2013. On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 424-434.
- Dhillon, B.S., 2005. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. Boca Raton, Florida, USA, ISBN 0-8493-3068-8.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic safety research – Methodology*, Deliverable D7.4 of the EU, FP6 project SafetyNet.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic research – Manual*. Deliverable D7.5 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Durbin, J., Koopman, S.J., 2012. *Time Series Analysis by State Space Methods*, 2nd edition. Oxford University Press, Oxford.
- Edwards, J., 1999. The temporal distribution of road accidents in adverse weather. *Meteorol. Appl.* 6, 59–68.
- Elvik, R., Vaa, T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier.

- Folkard, S., 1997. Black times: temporal determinants of transport safety. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 29. No. 4. DD. 417-430.
- Fridstrom, L., Liver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen, L., 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis and Prevention* 27: 1–20.
- Golias, J. C., 1992. Establishing relationships between accidents and flows at urban priority road junctions *Accident Analysis and Prevention*. 24(6):689-694.
- Golob, T. F.; Reeker, W.W., Levine, D. W., 1990. Safety of freeway median high occupancy vehicle lanes: a comparison of aggregate and disaggregate analyses. *Accident Analysis and Prevention*. 22(1):19-34..
- Golob, T.F., Recker, W.W., 2003. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions. *Journal of Transport* 129 (4), 342–353.
- Golob, T., Recker, W., 2004. A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation Research Part A* 38 (1), 53–80.
- Graham, D. J., & Glaister, S., 2003. Spatial variation in road pedestrian casualties: the role of urban scale, density and land-use mix. *Urban Studies*, 40(8), 1591-1607.
- Harvey, A.C., 1989. *Forecasting, structural time series models and the Kalman filter*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hauer, E., 1986. On the estimation of the expected number of accidents. *Accident Analysis and Prevention* 18 (1), 1–12.
- Hughes, R., Council, F., 1999. On establishing relationship(s) between freeway safety and peak period operations: performance measurement and methodological considerations. In: Presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC.
- Hummer, E. J., Hultgren, C.A., Khattak, J.A., 2012. Identification of Promising Sites on Secondary Highways Using Inventory Data. Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting.
- Ivan, J.N., Wang, C.-Y., Bernardo, N.R., 2000. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. *Accident Anal. Prev.* 32, 787–795.
- Ivanović, G., Stanivuković, D., et al., 2010. *Pouzdanost tehničkih sistema*. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-247-3.
- Jovanović D., Bašić, S., Mitrović, 2010. Injury Risk to Young Car Drivers in Traffic on Territory of Republic of Serbia, *Transport Problems*, International scientific journal, Volume 5, Issue 2, Silesian University of Technology Faculty of Transport, Katowice, Poland, ISSN 1896-0596
- Jovanović, D., Bačkalić, T., & Bašić, S. 2011. The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. *Safety Science*, 49(8), 1246-1251.
- Key, K., Simmonds, I., 2005. The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis and Prevention* 37: 109–124.
- Kececioglu, D., 2002. *Reliability engineering handbook*. Volume 2, DLStech Publications. Inc. Pennsylvania, USA, ISBN 1-932078-01-0.

- Kingham, S., Sabel, C. E., Bartie, P., 2011. The impact of the 'school run' on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 705-711.
- Kumar, D., Crocker, J. et al., 2006. *Reliability and Six Sigma*. Springer, New York, USA, ISBN-10: 0387302557.
- LaScala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. 2000. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident; analysis and prevention*, 32(5), 651.
- Lassarre, S., 1986. The introduction of the variables "traffic volume", "speed" and "belt wearing" into a predictive model of the severity of accidents. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):129-134;
- Lee, C., Hellinga, B., Saccomanno, F., 2003. Real-time crash prediction model for the application to crash prevention in freeway traffic. *Transportation Research Record* 1840, 67–78.
- Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H., 1995. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: I. Spatial patterns. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 663
- Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H., 1995. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: II. Zonal generators. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 675
- Levine, N., Kim, K., et al., 1995. Daily fluctuations in Honolulu motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 6, pp. 785-796.
- Li, L., Zhu, L. et al., 2007. A GIS-based Bayesian approach for analyzing spatial-temporal patterns of intra-city motor vehicle crashes. *Journal of Transport Geography* 15 (2007) 274–285.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Mapping of risks on the main road network of Serbia *Journal: Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering* ISSN: 1584-2665, Hunedoara, Romania, ISIRR 2009, Vol. 7, No. Fasciclu 4, ISSN 1584-2665.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Threats imposed on children in traffic - mapping of risks per municipalities in Serbia, *Safe children in safe communities, The first regional southeastern Europe conference on safe communities*, Novi Sad.
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305.
- Mannering, F. L., Bhat, C. R., 2013. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*.
- Martin, J., 2002. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 619–629.
- Memon, A.Q, 2012. Modelling road accidents from national datasets: A case study of Great Britain. Ph thesis, University College London, Centre for Transport Studies.
- Miaou, S.-P., Lum, H., 1993. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention* 25 (6), 689–709.

- Miaou, S.P., Song, J.J. 2005. Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: Decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accident Analysis and Prevention* 37 (4), 699–720.
- MIL-HDBK-338B, 1998. Military Handbook - Electronic Reliability Design Handbook, Department of defense, Washington, D.C.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic related units and motor vehicle accident frequencies. *Transportation* 25 (4), 395–413.
- Montella, A. 2010. A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) 571–581.
- Nicholson, A., 1998. Analysis of spatial distributions of accidents. *Safety science*, 31(1), 71-91.
- Norrman J, Eriksson M, Lindqvist S., 2000. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* 15: 185–193
- Oppe, S., 1991. Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations. *Accid. Anal. and Prev.* 23(5):413-422.
- P. Tarko, A., Kanodia, M., 2004. Effective and Fair Identification of Hazardous Locations. Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting, Washington D.C.
- Partyka, S. C., 1984. Simple models of fatality trends using employment and population data. *Accident Analysis and Prevention*. 16:211-222.
- Partyka, S. C., 1991. Simple models of fatality trends revisited seven years later. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):423-430; 1991.
- Persaud, B.N., 1991. Estimating accident potential of Ontario road sections. *Transportation Research Record* 1327, 47–53.
- Pfundt, K., 1969. Three difficulties in the comparison of accident rates. *Accident Analysis and Prevention*. 1:253-259.
- Pham, H., 2003. Handbook of reliability engineering, ISBN 1852334533. London etc.: Springer.
- Plug, C., Xia, J., et al., 2011. Spatial and temporal visualisation techniques for crash analysis. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 1937– 1946.
- Poch, M., Mannering, F., 1996. Negative binomial analysis of intersection accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering* 122, 391–401.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 317-325.
- Qin, X., Ivan, J., Ravishanker, N. et al. 2006. Bayesian estimation of hourly exposure functions by crash type and time of day. *Accident Analysis and Prevention*. 38 (2006) 1071–1080.
- Radun, I., & Radun, J. E., 2006. Seasonal variation of falling asleep while driving: an examination of fatal road accidents. *Chronobiology international*, 23(5), 1053-1064.

- Ramović, R., 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, elekomunikacionih i informacionih. Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd.
- Rausand, M., Høyland, A., 2004. System Reliability Theory – Models, Statistical Methods and Applications. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN 0-471-47133-X.
- Savolainen, P., Mannering, F., Lord, D., Quddus, M., 2011. The statistical analysis of crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention* 43(5), 1666–1676.
- Scott, P.P., 1986. Modelling time-series of British road accident data. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):109-117; 1986.
- Siddiqui, C., Abdel-Aty, M., & Choi, K., 2012. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 382-391.
- Songchitruksa, P., Balke, K.N., 2006. Assessing weather, environment, and loop data for real-time freeway incident prediction. *Transport Research Record*, 105–113 (1959).
- Sorensen, M., Elvik, R., 2007. Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best Practice Guidelines and Implementation Steps, The Institute of Transport Economics (TOI), ISBN: 978-82-480-0810-1.
- Stipdonk, H.L. (Ed.), 2008. Time series applications on road safety developments in Europe. Deliverable D7.10 of the EU FP6 project SafetyNet.
- TR 36007, 2011-2014., Razvoj i primena modela upravljanja rizicima na koridorima VII i X sa aspekta unapređenja saobraćajnog sistema Srbije, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Ushakov, I.A., Harrison, R.A., 1994. Handbook of Reliability Engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, ISBN 0-471-57173-3.
- Vukadinović, S., 1986. Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike. Privredni pregled, Beograd.
- Vukadinović, S., Teodorović, D., 1979. Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema. Privredni pregled, Beograd.
- Wang, X., Abdel-Aty, M., 2006. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1137–1150.
- Whitfield, R.A.; Fife, D., 1987. Changing patterns in motor vehicle crash mortality: 1940-1980. *Accident Analysis and Prevention*. 19(4):261-269.
- Zlatoper, T.J., 1984. Regression analysis of time-series data on motor vehicle deaths in the United States. *J. Transp. Econ. Policy*. 18:263-274.
- Zlatoper, T.J., 1989. Models explaining motor vehicle death rates in the United States. *Accident Analysis and Prevention*. 21(2):125-154.

3. PREGLED LITERATURE

- 3.1 UVOD**
- 3.2 MODELOVANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA**
- 3.3 PROSTORNI MODELI**
- 3.4 VREMENSKI MODELI**
- 3.5 PROSTORNO-VREMENSKI MODELI**
- 3.6 VREMENSKO-PROSTORNI MODELI**
- 3.7 DISKUSIJA**
- 3.8 REFERENCE**

3.1. UVOD

Odgovor na prvu postavljenu hipotezu doktorske disertacije: „da li se frekvencija saobraćajnih nezgoda, na bazi pojedinačnog pristupa, može analizirati posmatranjem vremena između dve uzastopne nezgode?“ zahteva prethodno definisanje i analizu dosadašnjih pristupa u navedenoj oblasti. Izučavanje frekvencije saobraćajnih nezgoda, kao uža oblast, pripada široj oblasti koja se naziva fenomenologija bezbednosti saobraćaja. Fokus pregleda literature usmeren je na prikupljanje i analizu referentnih radova, istraživačkih projekata, priručnika, knjiga, kao i druge dostupne bibliotečke građe.

Metodologija pregleda literature sastoji se od pretrage i sakupljanja literaturnih jedinica i analizi sadržaja sakupljenih izvora. Predmet pregleda literature vezan je za oblast bezbednosti saobraćaja koja se odnosi i na vremenski i na prostorni pristup u metodologiji istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda. Konkretna analiza sadržaja odabranog materijala data je u okviru ovog poglavlja. Izbor referentne literature bio je usmeren na radove eminentnih istraživača iz oblasti bezbednosti saobraćaja koji su objavljeni u vrhunskim časopisima iz oblasti bezbednosti saobraćaja (*Accident Analysis and Prevention, Safety Science, Transportation Research, Journal of Transport Geography*) kao i priručnicima i studijama iz oblasti bezbednosti saobraćaja.

U oblasti modelovanja saobraćajnih nezgoda izdvojila su se dva osnovna pristupa: vreme i prostor. U okviru ovog poglavlja akcenat je stavljen na značaj i ulogu modelovanja, kao i probleme i ograničenja sa kojim se sreću istraživači iz oblasti bezbednosti saobraćaja. Pošto su vremenski i prostorni modeli u sprezi, kod analize prostornih modela istaknut je značaj i mogućnosti njihove primene, sa posebnim akcentom na vezu sa vremenskim modelima. Posebna pažnja posvećena je vremenskim modelima, koji su ujedno i predmet doktorske disertacije. Za vremenske modele, pored osnovnih pojmova, prikazani su i rezultati najznačajnijih modela koji se zasnivaju na frekvenciji saobraćajnih nezgoda (klasične vremenske analize i modeli vremenskih serija).

Vremenske analize podrazumevaju praćenje i predviđanje pojava u nekom vremenskom periodu. Veliki broj autora bavio se istraživanjem trendova nezgoda. U okviru tih istraživanja izdvojio se pristup analize frekvencije saobraćajnih nezgoda i utvrđivanje veza i uticaja pojedinih faktora na nastanak nezgode. Poslednjih godina posebno je zastupljena analiza predikcije broja saobraćajnih nezgoda, dok se veoma mali broj autora bavio istraživanjima bezbednosti saobraćaja posmatrajući vreme između dve saobraćajne nezgode. Svaki od navedenih pristupa ima prednosti i određene nedostatke. Deo koji se odnosi na predikcije saobraćajnih nezgoda često se koristi za komparaciju broja nezgoda koje su se dogodile i lokacije nastanka istih. Otuda se razvio i pristup „opasnih mesta“. Modeli nezgoda koriste se i u studijama „pre-posle“. Naime, prati se broj nezgoda koji je zabeležen pre i nakon sprovođenja mera. Takođe tokom projektovanja mera vrši se modelovanje broja nezgoda tako što se procenjuje broj nezgoda u slučaju nesprovođenja mera. Za mnoge analize i studije podaci o saobraćajnim nezgodama su glavni, a često i jedini ulazni parametar.

Definisanje mera i njihova implementacija u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja, zahteva primenu raspoloživih znanja eksperata. Stoga se jasno nameće i potreba za

unapređenjem i razvojem novih modela frekvencije saobraćajnih nezgoda. Proces unapređenja i modifikacije modela je kontinualan i zahteva praćenje novih trendova. Predloženi pregled literature i dosadašnjih istraživanja, pored klasifikacije i analize, ima za cilj i definisanje pozicije originalnih metoda koji su razvijeni od strane autora i predstavljaju osnovni doprinos doktorske disertacije.

3.2. MODELOVANJE SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

3.2.1. Značaj i uloga modelovanja

Modelovanje saobraćajnih nezgoda predstavlja prioritet mnogih razvijenih zemalja čija je pažnja na bezbednost saobraćaja usmerena već dugi niz godina. Veliki broj postojećih modela bazira se na analizama saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u prošlosti, kao i praćenju efekata pre i posle sprovođenja određenih mera. Prognoze saobraćajnih nezgoda su važne radi definisanja strategija, planiranja pojedinih aktivnosti u bezbednosti saobraćaja, vrednovanje procesa rada i sl. Sve navedeno ukazuje na širinu i značaj modelovanja u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Sistemske pristup podrazumeva posmatranje bezbednosti saobraćaja kao sistema u celini, a pritom je neophodno uzeti u obzir sve determinante rizika. Sveobuhvatni modeli koriste agregirane podatke sa ciljem procene uticaja politike bezbednosti saobraćaja, uz istovremenu procenu uticaja drugih determinanti (Bergel-Hayat, 2012). Pomoću sistemskog pristupa moguće je identifikovati skup varijabli koji utiču na faktore rizika kroz veliki broj modela koji se zasnivaju na agregiranim podacima u obliku vremensko-prostornih (eng. cross-sectional data) ukrštanja ili vremenskih serija (Hakim et al., 1991). Ulazne varijable za modelovanje, pored PGDS-a, broja vozila i broja stanovnika, koji su ujedno i najčešće primenjivani pokazatelji izloženosti saobraćaja, su i drugi podaci koji se mere kroz ekonomske aktivnosti (dohodak domaćinstva), cenu goriva, strukturu populacije (procenat mladih vozača), i regulativne mere (ograničenje brzine, tehnička ispravnost vozila, minimalan broj godina za konzumiranje alkohola).

Bergel-Hayat (2012), je istakao značaj modelovanja saobraćajnih nezgoda pomoću podataka o dnevnim varijablama kako bi se dobila potpuna slika o stanju bezbednosti saobraćaja. On isitiče da je zbog izražene raznorodnosti u statističkim bazama o saobraćajnim nezgodama veoma teško analizirati promene u kratkom vremenskom periodu. Modeli koji se zasnivaju na dnevnim podacima o nezgodama imaju dve namene: kao prvo oni omogućavaju razumevanje prolaznih efekata koji su uzrokovani netipičnim vremenskim uslovima ili kalendarskim događajem, a kao drugo omogućavaju ocenjivanje i identifikaciju promena u dnevnim trendovima. Jedan od primera je i model sezonskog podešavanja dnevnih podataka o saobraćajnim nezgodama koji je razvijen na osnovu podataka iz Francuske (Bergel et al., 1996). Mesečni trend ostaje kao standard za praćenje stanja bezbednosti saobraćaja u kratkom periodu. Statistička analiza mesečnih sezonskih prilagođenih vrednosti, koja je u širokoj primeni u drugim naučnim oblastima, sve češće je

počela da nalazi primenu i kod nadležnih koji donose odluke u oblasti bezbednosti saobraćaja.

3.2.2. Problemi i ograničenja u procesu modelovanja

Za sprovođenje bilo kog istraživanja u oblasti bezbednosti saobraćaja neophodno je da postoje što precizniji podaci o obeležjima saobraćajnih nezgoda, posledicama i ostalim uticajnim faktorima. Efikasno funkcionisanje zaštitnog sistema bezbednosti saobraćaja na svim nivoima, podrazumeva konstantno praćenje ovih tendencija, njihovu analizu i strateško delovanje u cilju upravljanja bezbednošću saobraćaja. S obzirom da je saobraćaj heterogen, neophodno je detaljno vođenje podataka o svim njegovim obeležjima, a značajno mesto zauzimaju saobraćajne nezgode. Problem koji se javlja prilikom prikupljanja podataka o saobraćajnim nezgodama je nejedinstvena metodologija prikupljanja i evidencije na nacionalnim nivoima i njihova usklađenost na globalnom nivou, kao i nepouzdanost samih podataka, problemi prikazivanja željenih podataka i nepoklapanja sa geografskim stvarnim koordinatama.

Razvoj i unapređenje postojećih baza podataka o saobraćajnim nezgodama važan je zadatak u cilju efikasnog rada u bezbednosti saobraćaja. Sakupljanje podataka od raznih institucija u sistemu bezbednosti saobraćaja omogućilo bi fleksibilnu i sveobuhvatnu analizu velikog broja saobraćajnih nezgoda. Na taj način moguće je objektivno sagledavanje veličine problema bezbednosti na putevima, ujednačavanje oblasti kontramera sa najvećim potencijalom usmerenim na dobrobit bezbednosti, kao i doprinos proceni efikasnosti ovih protivmera. Baza podataka o nezgodama i žrtvama predstavlja nezamenljivo oruđe koje omogućava objektivno rešavanje problema bezbednosti u saobraćaju, prepoznavanje prioriternih oblasti za delovanje i nadgledanje efikasnosti protivmera, a predstavljaju ulazni parametar raznih modela. Najznačajnija međunarodna baza podataka o saobraćajnim nezgodama je IRTAD (eng. *International Road and Traffic Database*) koja je nastala u okviru objedinjenog projekta OECD/ECMT Transport Research Centre. Ova baza podataka objedinjuje podatke o saobraćajnim nezgodama iz 37 zemalja, od kojih su 28 članice OECD. Prednost IRTAD baze podataka je dostupnost podacima putem interneta (Elvik and Vaa, 2004). Pored IRTAD baze podataka veoma je značajna i CARE baza podataka (eng. *Community database on Accidents on the Roads in Europe*). CARE baza podataka uključuje statističke informacije prijavljenih nezgoda na putevima u EU koje su rezultirale povredama ili imale smrtni ishod. Na međunarodnom nivou ne postoji usvojena jedinstvena baza podataka o saobraćajnim nezgodama. Poslednje dve-tri decenije, pre svega u zemljama EU, javila se ideja o definisanju minimalnih kriterijuma koji će poslužiti kao parametri osnovne evidencije o saobraćajnim nezgodama. Ovaj proces je i dalje u razvoju, sa težnjom da se definiše i preporuči jedinstveni način evidencije saobraćajnih nezgoda, koji će biti uzor najvećem broju država. Ovo će omogućiti bolje sagledavanje problematike bezbednosti saobraćaja i olakšati rad društvenog mehanizma u oblasti bezbednosti saobraćaja. Odluka veća ministara zahteva da zemlje članice oforme statistiku o nezgodama na putevima i da proslede te podatke za datu godinu Statističkom birou Evropske zajednice. Baza podataka uključuje godišnje

nacionalne podatke o nezgodama u originalu koje podnose sve zemlje članice EU bez usklađivanja individualnih promenljivih.

U Republici Srbiji, podaci o saobraćajnim nezgodama vode se na nivou opštine kroz Registar saobraćajnih nezgoda. Radnici policije i druga ovlašćena službena lica organa unutrašnjih poslova na teritoriji Republike Srbije prilikom vršenja uviđaja saobraćajne nezgode na licu mesta prikupljaju podatke putem Upitnika o saobraćajnoj nezgodi. Obrazac se popunjava ručno i čitko štampanim slovima, a sadrži podatke o saobraćajnoj nezgodi, vozilu i licima koja su učestvovala u nezgodi, okolnostima itd. Problem predstavlja nepovezanost baza podataka između institucija (policija, bolnice, sudovi, osiguravajuća društva itd.). Postojeći način prikupljanja podataka o saobraćajnim nezgodama ne obezbeđuje sagledavanje svih nastalih posledica saobraćajnih nezgoda, već samo onih koje se najčešće evidentiraju u okviru policijskih izveštaja.

Pored značaja postojanja baza podataka o saobraćajnim nezgodama, njihove pouzdanosti i kvaliteta informacija koje daju, sa aspekta matematičkih modela pojavljuju se i neke poteškoće koje eksperti moraju da uvažavaju prilikom modelovanja saobraćajnih nezgoda. Iako su saobraćajne nezgode jedini indikator bezbednosti saobraćaja nekog područja, analize frekvencija broja nezgoda imaju brojna ograničenja. Neka od njih će biti navedena i objašnjena u nastavku.

Saobraćajne nezgode su pojave koje retko nastaju, stoga je neophodno da protekne duži period kako bi se sakupila dovoljna količina podataka i na taj način izvršila procena bezbednosti saobraćaja. Još jedna ograničavajuća okolnost je promena uticaja pojedinih faktora na nastanak nezgoda. Takođe, ovde se ističe i etički problem očekivanja broja stradanja ljudi u saobraćaju kako bi se moglo delovati u cilju prevencije.

Nezgode su slučajni događaji, što znači da broj nezgoda koji se registruju na istom mestu nije isti svake godine, čak i ako se saobraćajna situacija nije promenila. Pokazano je da ako je jedne godine povećan broj nezgoda, moguće je očekivati smanjenje broja nezgoda sledeće godine. Ovaj fenomen je poznat kao “regresija ka srednjoj vrednosti” (Elvik and Vaa, 2004). Sa ovog stanovišta aktuelni broj nezgoda je indirektna mera bezbednosti, dok je direktan pokazatelj očekivani broj nezgoda, koji se ne može izmeriti već samo proceniti na osnovu istorije ili nekog drugog indikatora.

Zvanični podaci ne odražavaju u potpunosti stvarno stanje. Naime, postoji tzv. “tamna brojka” nezgoda koja se ne evidentira. Ovaj broj zavisi od težine nezgode i kategorije učesnika u saobraćaju, a poteškoću predstavljaju nezgode u kojima su učesnici zadobili lakše povrede, kao i nezgode sa materijalnom štetom. Do sada nije pronađen mehanizam utvrđivanja “tamne” brojke saobraćajnih nezgoda, tako da se ne može raspolagati sa tačnim podacima o broju nezgoda, kao i broju povređenih i poginulih. Nešto je veća pouzdanost podataka o smrtnim slučajevima u saobraćajnim nezgodama, to je i razlog što se ovi podaci najčešće i koriste za analize bezbednosti saobraćaja. Međutim, i kod baza podataka sa poginulima mogu se javiti propusti u toku rada pojedinih službi koje vode evidencije. Što je nivo poznavanja stanja bezbednosti saobraćaja manji, ocene efekata rada, zasnovane na prijavljenim saobraćajnim nezgodama, biće nepouzdanije. U evidenciji saobraćajnih nezgoda koje registruje policija uočava se nedostatak znatnog broja relevantnih podataka neophodnih za što kvalitetnije sagledavanje problematike bezbednosti saobraćaja. Tako da, pored toga što se znatan broj saobraćajnih nezgoda ne evidentira, za

poznate nezgode ne postoji dovoljan broj podataka. Prilikom evidentiranja nezgode registruju se najočigledniji podaci, odnosno podaci vidljivi “na prvi pogled”. Postoje osnovni podaci o stanju puta, vremenskim uslovima, stanju vozila, pojedinim karakteristikama čoveka (starost, pol i sl.), dok se ogromna količina “dubljih” podataka, značajnijih za analizu saobraćajnih nezgoda uopšte ne uzima u obzir. Na taj način, dosta često može se javiti problem “pogrešnih zaključaka”, koji na pravi način ne sagledavaju faktore nastanka saobraćajnih nezgoda.

Pored problema u načinu sakupljanja podataka i njihovoj evidenciji koja je od suštinskog značaja za sprovođenje analiza i modelovanja postoje i drugi problemi sa kojima se susreću eksperti iz oblasti bezbednosti saobraćaja. Lord i Mannering (2010), u svom radu su istakli i opisali sledeće probleme koji se javljaju sa uzorkom i podacima o saobraćajnim nezgodama:

1. Naddisperzija (*eng. Over-dispersion*) je karakteristična kod frekvencije saobraćajnih nezgoda kada je varijansa veća od srednje vrednosti broja nezgoda. Problem je što brojni modeli koji služe za prebrojavanje podataka zahtevaju da srednja vrednost i varijansa budu iste. Kada su podaci iznad disperzije Poasonov model može dovesti do pristrasnosti i loše procene.

2. Poddisperzija (*eng. Under-dispersion*) je retka pojava kod analiza broja saobraćajnih nezgoda (uglavnom se javlja kada je srednja vrednost uzorka mala). Pod-raspodela je slučaj kada je prosečan broj nezgoda na deonici veći od varijanse.

3. Vremenski promenljive nezavisne varijable (*eng. Time-varying explanatory variables*). Podaci se sakupljaju i posmatraju tokom nekog perioda, ali treba imati na umu da se pojedini faktori koje se javljaju u tom periodu značajno menjaju tokom vremena, a ekspert ih ne uzima u obzir zbog nedostatka podataka (npr. uticaj padavina). Ignorisanjem uticaja potencijalnih varijabli može navesti eksperta do grešaka u proceni.

4. Vremensko-prostorna koorelacija podataka. Kako bi se izbeglo gubljenje informacija kod vremenski nezavisnih varijabli podaci se često posmatraju u malim vremenskim intervalima. Na primer, ukoliko se posmatraju podaci o broju nezgoda na godišnjem nivou, oni se dele na dvanaest meseci i na taj način se dobija distribucija nezgoda prema mesecima u godini. To znači da će isti entitet puta (deonica, raskrsnica) generisati više zapažanja koja će biti korelirana tokom vremena, jer mnogi neposmatrani efekti koji su u vezi sa entitetom puta ostaće isti tokom vremena. Sa statističkog aspekta posmatranja neophodno je utvrditi korelaciju ovakvih podataka kako bi se izvršila procena modela. Na sličan način može da postoji korelacija za podatke u prostoru jer entiteti puta koji su blizu mogu deliti neopažene efekte.

5. Mala srednja vrednost i mala veličina uzorka. Zbog prevelikih troškova prilikom prikupljanja podataka, podatke o saobraćajnim nezgodama često karakteriše mali broj posmatranja. Podaci za koje je karakteristična mala srednja vrednost i mala veličina uzorka mogu predstavljati probleme prilikom procene.

6. Posledice saobraćajnih nezgoda i korelacija sa tipom nezgoda. Podaci o saobraćajnim nezgodama često su klasifikovani prema posledicama ili tipu nezgode. Prema posledicama imamo nezgode sa poginulima, teže i lakše povređenima, materijalnom štetom, dok klasifikacija nezgoda prema tipu može biti čeon sudari, sudar od pozadi,

sletanje vozila sa puta, bočni sudar i dr. Najčešći pristup u modelovanju saobraćajnih nezgoda uzima u razmatranje frekvenciju svih nezgoda (uključujući sve posledice i tipove nezgoda zajedno), dok posebno uzima u razmatranje posledice i tip nezgoda onda kada je broj saobraćajnih nezgoda određen. Međutim, neki naučnici su razvili posebne modele za analizu frekvencije saobraćajnih nezgoda prema posledicama i tipu nezgoda. Ovakav pristup predstavlja problem jer postoji određena korelacija između posledica i tipa nezgoda. Ovakav način analize zahteva razvoj složenijih modela koji bi omogućili unakrsnu korelaciju između modela.

7. „Tamna brojka“. U bazama podataka najčešće nisu unesene nezgode sa lakšim povredama, tako da je ozbiljan problem kod neevidentiranja ovih nezgoda. Nepoznata je količina podataka koji se ne evidentira za svaku vrstu posledice. Poslednja istraživanja su pokazala da su modeli frekvencije nezgoda pristrasni kod procene koja ne uzimaj u obzir i podatke koji se ne evidentiraju.

8. Izostavljanje promenljive (*eng. Omitted-variables bias*). Često je pokušavano razvijanje uprošćenih modela sa nekoliko promenljivih (saobraćajni tok kao jedina objašnjavajuća promenljiva u modelu). Međutim, kao i kod svih tradicionalnih statističkih metoda za procenjivanje, izostavljanje bitnih promenljivih kao rezultat daje pristrasne procene koji mogu navesti na pogrešne zaključke i dovesti do pogrešnih prognoza.

9. Endogene promenljive (*eng. Endogenous variables*). Postoje slučajevi kada nezavisne promenljive u modelima mogu biti endogene, tada njihova vrednost zavisi od frekvencije saobraćajnih nezgoda. Primer je frekvencija saobraćajnih nezgoda u kojima je uzrok bio led i efektivnost saobraćajnih znakova upozorenja na led. Prilikom definisanja modela frekvencije saobraćajnih nezgoda, promenljiva koja pokazuje prisustvo saobraćajnih znakova upozorenja na led će biti jedan od načina za razumevanje uticaja znakova upozorenja. Znakovi upozorenja za prisustvo leda biće postavljeni na mestima gde se događa veliki broj nezgoda izazvanim ledom, i zbog toga će biti endogene (nezavisna promenljiva će se menjati kao zavisna promenljiva). Ako se endogenost ignoriše, parametar procene biće pristrasan. U slučaju primera sa saobraćajnim znacima upozorenja na led, ignorisanje endogenosti može dovesti do pogrešnog zaključka da saobraćajni znaci upozorenja na led utiču na povećanje broja nezgoda, jer se znaci upozorenja od leda povezuju sa lokacijama gde je visoka frekvencija nezgoda izazvana ledom (jer su to najčešće lokacije gde se postavljaju ovi znaci).

10. Funkcionalni obrasci (*eng. Functional form*). Funkcionalni obrasci uspostavljaju vezu između zavisnih i nezavisnih promenljivih što je ujedno i najteži deo modelovanja. Većina modela za brojanje se zasniva na pretpostavci da nezavisne promenljive utiču na zavisne promenljive na linearan način. Postoje radovi koji predlažu da nelinearne funkcije bolje opisuju odnose između frekvencije saobraćajnih nezgoda i nezavisne promenljive. Ove nelinearne funkcije mogu biti često složene i one zahtevaju uključivanje procedura procenjivanja.

11. Fiksni parametri (*eng. Fixed parameters*). Tradicionalni statistički modeli ne dopuštaju promenu parametara procene tokom posmatranja. To podrazumeva da je uticaj nezavisne promenljive na frekvenciju saobraćajnih nezgoda ograničen i isti tokom svakog posmatranja (npr. uticaj promenljive izloženosti kao što je broj pređenih kilometara tokom nekog perioda posmatranja smatra se istim na svim deonicama puta). Zbog neposmatranja

razlika između deonica puta (neposmatranje heterogenosti), mogu se očekivati različite procene parametara nezavisnih promenljivih za svaku deonicu puta. Ako se neki parametri menjaju tokom perioda posmatranja, a model vrši procene kao da su ti parametri fiksni, rezultat parametarske procene će biti pristrasan i mogu se doneti pogrešni zaključci. Tehnike procene dozvoljavaju parametrima da se menjaju tokom perioda posmatranja, ali tada proces modelovanja postaje mnogo složeniji.

3.2.3. Primena statističkih modela u oblasti modelovanja saobraćajnih nezgoda

Opšte je prihvaćeno da je prvi model u oblasti bezbednosti saobraćaja razvio Smid (Smeed, 1949). Model je povezivao godišnji broj poginulih (F) u saobraćajnim nezgodama sa brojem vozila (M) i odgovarajućom populacijom (P), (formula 3.1).

$$F = c(MP^2)^{1/3} \quad (3.1)$$

Upravo ovaj model označava prvo pojavljivanje promenljive *rizik* u analizama bezbednosti saobraćaja. Smid je za 20-ak, uglavnom evropskih zemalja, prikazao saobraćajni rizik (stopu nezgode) za 1938. godinu kao funkciju jednostavne eksponencijalne stope regresije stepena motorizacije. Na osnovu ovih podataka izvršeno je poređenje zemalja po pitanju nivoa bezbednosti saobraćaja. Takav način rada se zadržao sve do sredine 70-tih godina, pa se Smidova formula često naziva Smidov zakon. Mnogi istraživači u kasnijim istraživanjima iznosili su kritički stav da navedeni pristup nema teorijsku pozadinu i empirijsku vrednost. Ipak, Smidov model ima veliki značaj jer je otvorio pravce istraživanja bezbednosti saobraćaja, a njegov model pripada prvoj generaciji Cross-sectional modela (ovi modeli se zasnivaju na analizi podataka cele populacije ili reprezentativnog uzorka u jednoj specifičnoj tački vremena). Sledeća generacija modela uvela je dimenziju vremena u istraživanja bezbednosti saobraćaja i primenjivana je za deskriptivne analize i opisivanje nezavisnosti. Nakon ovih modela uvedene su dve generacije koje su se zasnivale na povezivanju promenljivih, na primer stope rizika i indikatora bezbednosti saobraćaja (policijske strategije) koje su korišćene za prognoze (Bergel-Hayat, 2012).

Modelovanje predstavlja definisanje odnosa između promenljivih, jer matematičke jednačine ne opisuju pravi odnos između promenljivih, već daju pojednostavljen model (Dupont and Martensen, 2007a). Početni modeli iz oblasti bezbednosti saobraćaja su se zasnivali na srednjoj vrednosti i varijansi. Oni su korišćeni za opisivanje varijacije u stopama nezgoda za različite nivoe izloženosti i nisu uzimali u obzir uticaj rizika na nastanak nezgoda. U istraživanjima bezbednosti saobraćaja potrebno je dati odgovore na mnogobrojna pitanja kao što su: *Da li postoji veza između broja kontrola brzine i broja poginulih u saobraćajnim nezgodama? Da li broj grešaka koje napravi vozač zavisi od godina iskustva tog vozača? Da li broj poginulih opada nakon uvođenja zakonske obaveze upotrebe sigurnosnog pojasa, sedišta za decu, uvođenja kaznenih poena?* Dobijanje objektivnih i pouzdanih odgovora na ova pitanja zahteva primenu odgovarajućih statističkih metoda.

U početnim istraživanjima primenu su našli višestruki linearni modeli regresije (Oppe, 1979). Statistički posmatrano ova pitanja predstavljaju funkciju između zavisnih i nezavisnih promenljivih. Tako na primer posmatrana, zavisna ili endogena promenljiva y_i (npr. broj grešaka osobe i , broj nezgoda ili stopa nezgoda) predviđa se na osnovu jedne ili više objašnjavajućih, nezavisnih ili egzogenih promenljivih x_1, x_2, x_3, \dots (npr. broj godina vozačkog iskustva osobe i , starost, pol, brzina, intenzitet saobraćaja itd.). Ovakav odnos se modeluje prema formuli 3.2, gde je e greška, a n broj osoba $i=1, \dots, n$.

$$y_i = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + e_i \quad (3.2)$$

Broj nezavisnih promenljivih nije ograničen, ali zbog jednostavnosti prikazuje se primer samo sa jednom nezavisnom promenljivom. Broj grešaka koje prave vozači i predviđa se godinama iskustva (formula 3.3.):

$$\text{broj grešaka}_i = b_0 + b_1 \text{godine iskustva}_i + e_i \quad (3.3)$$

Koeficijenti (b_0, b_1) kvantifikuju odnos između nezavisnih i zavisnih promenljivih. Odsečak b_0 označava prosečnu vrednost zavisne promenljive kada su sve nezavisne promenljive jednake nuli. Za konkretni primer odsečak predstavlja broj grešaka za vozače sa 0 godina iskustva (tokom posmatrane godine vozači su dobili vozačku dozvolu). Koeficijent b_1 pokazuje koliko opada prosečan broj grešaka sa svakom godinom iskustva. Statistički model određuje očekivanu vrednost za svako posmatranje na osnovu nezavisnih promenljivih. Međutim, u praksi nezavisne promenljive nikada ne mogu perfektno predvideti vrednost zavisne promenljive. Svaki koristan statistički model ima fiksni ili deterministički deo. Varijacije u zavisnoj promenljivoj se onda mogu predvideti na osnovu nezavisne promenljive, dok se slučajni ili stohastički deo (varijansa) koja se ne može predvideti označava se greškom (Dupont and Martensen, 2007a; 2007b).

Linearni regresioni modeli ne opisuju prirodu nastanka saobraćajnih nezgoda (diskretni slučajni događaji) na najbolji način, te na osnovu njih nije moguće doneti ispravne zaključke o verovatnoći nastanka nezgoda (Joshua and Garber, 1990). Neka od ograničenja koja karakterišu modele linearne regresije su:

1. Zavisna promenljiva u modelu mora se ponašati po zakonima normalne raspodele,
2. Zavisna promenljiva može se izraziti kao linearna kombinacija nezavisnih promenljivih,
3. Greška je nezavisno raspoređena u svim posmatranjima.

Prva dva ograničenja rešavaju se pomoću generalizovanog linearnog modela koji dozvoljava modelovanje kada vrednosti promenljive nisu normalno raspoređene. Kod nelinearnih modela veza između zavisne i nezavisne promenljive ne mora da ima linearnu formu (npr. one mogu da prate eksponencijalnu funkciju) (Dupont and Martensen, 2007a).

U procesu modelovanja očekivanog broja nezgoda, radi boljeg razumevanja uticaja faktora bezbednosti saobraćaja koji imaju uticaj na rizik od nastanka nezgode, istraživači koriste različite tipove modela. Počevši od jednostavnijih Poasonovih, negativnih binomnih/Poason gama modela, preko Poason-logonormalnih, Zero-inflated Poasonovih

modela, GEE modela, zatim negativni multinominalnih, *Zero state Markov switching modeli*, Duration¹ modela, do modela sa primenom neuronskih mreža (Lord and Mannering, 2010; Mannering and Bhat, 2013).

Pošto su saobraćajne nezgode nenegativne i celobrojne vrednosti, a pritom i slučajni događaji, raspodelu ovih događaja prati Poasonov model (Milton and Mannering, 1998). Primena Poasonovog modela zahteva da srednja vrednost i varijansa podataka o saobraćajnim nezgodama bude ista. Logo-linerani modeli su najpoznatiji primer Poasonove regresije, koju su među prvima primenili Jovanis and Chang (1986); Jones et al. (1991) i Miaou and Lum (1993). To je u suštini generalizovani linearni mode za podatke koji imaju Poasonovu raspodelu (Agresti, 2002). Negativni binomni model ima poželjnije statističke osobine, a brojni podaci o saobraćajnim nezgodama ponašaju se po normalnoj raspodeli (varijansa je veća od srednje vrednosti), pa je i to jedan od razloga popularnosti primene u analizama frekvencije saobraćajnih nezgoda (Abdel-Aty and Radwan, 2000; Lord, 2000; Ivan et al., 2000; Carson and Mannering, 2001; Lord et al., 2005; Lord et al., 2006). Ovaj model predstavlja mešavinu Poason-gama modela. Detaljno poređenje primene modela Poasona i negativne binomne raspodele na analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda prikazana je u radu Miaou (1994). Pokazano je da je negativna raspodela povoljnija od Poasonove, pošto je češći slučaj da je kod podataka o saobraćajnim nezgodama varijansa veća od srednje vrednosti. Miaou (1994) je razvio dva tipa modela negativne binomne raspodele, jedan koristi metod maksimalne verodostojnosti, a drugi metod momenata. Model maksimalne verodostojnosti je pouzdaniji od Poasonovog regresivnog modela za predviđanje broja nezgoda kada je prisutna naddisperzija. Negativna raspodela nije povoljna kada je srednja vrednost podataka veća od varijanse (Lord and Mannering, 2010).

Quddus (2008), u svom radu istakao je značaj modifikovanih statističkih metoda zavisnosti od karakteristika podataka. U slučaju da se podaci koji se menjaju u prostoru i vremenu (cross-sectional accident count data) zaokružuju ili modifikuju (npr. broj poginulih po saobraćajnoj nezgodi sa poginulima se zaokružuje na jedan jer najmanje jedno lice je poginulo u nezgodi sa poginulima), tada se podaci modeluju primenom metode zokruživanja Poasonovim modelom ili NB modelom. Ako je uočeno da ima veliki broj nezgoda koje nisu evidentirane (nezgode sa lakšim povredama ili materijalnom štetom) tada se koristi Poason model za ne evidentirane nezgode. Ako su podaci o nezgodama tipa „panel data“ (višedimenzionalni podaci) primenjuju se modeli sa fiksnim efektom (*eng. fixed effects-FE*) ili Poasonov (ili NB) model, odnosno model slučajnih efektata (*eng. random effects-RE*) Poasonov (ili NB) (Chin and Quddus, 2003). Za grupisanje višedimenzionalnih podataka koriste se generalizovane jednačine procene (*eng. generalised estimating equations - GEE*) (Lord and Persaud, 2000). Zero inflated modeli našli su primenu u cilju izbegavanja problema sa velikim brojem nula koji se sreću u podacima o saobraćajnim nezgodama, u odnosu na broj očekivanih nula kod Poasona ili Poasonove gama raspodele. Ovim modelima bavili su se Shankar et al. (1997), Carson and

¹ „Duration“ modeli obrađuju i opisuju vremenski aspekt u životnom ciklusu, odnosno trajanje nekog stanja između dva uzastopna događaja. Šire gledano, oni pripadaju oblasti analize preživljavanja (Survival analysis). U biologiji, medicini, sociologiji, ekonomiji i drugim neinženjerskim disciplinama ustaljeno je korišćenje termina „duration“, dok se u inženjerskim naukama navedeni problemi proučavaju u teoriji pouzdanosti.

Mannering (2001), Shankar et al. (2003), Qin et al. (2004). Modele sa slučajnim efektima za utvrđivanje korelacije među podacima prvi su predložili Lord i Manering (2010). I drugi autori su primenili neke od ovih modela u oblasti bezbednosti saobraćaja kao Johansson (1996); Shankar et al. (1998); Miaou and Lord (2003); MacNab (2004); Agüero-Valverde and Jovanis (2008) i Quddus (2008). U skorije vreme, modeli slučajnih parametara su predloženi za kontrolu neobjašnjive heterogenosti kod podataka. Ovim pristupom bavili su se Anastasopoulos i Mannering (2009) i El Basyouny i Sayed (2009).

Zbog različitih pristupa i primene statističkih tehnika u analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda neki naučnici su predložili metodologiju tzv. „slobodne“ distribucije (*eng. distribution free*) za analizu saobraćajnih nezgoda. Ove metodologije uključuju stabla odlučivanja, i primenu tehnika veštačke inteligencije kao što su neuronske mreže (*eng. Artificial Neural Network*) (Abdel-Aty and Pande, 2007). Tako na primer, Chang and Chen, (2005); Abdel-Aty and Keller, (2005) usvojili su metodu klasifikacije i stablo regresije (*eng. Classification and Regression Tree - CART*), kao jednu od najčešće primenjivanih metoda u „*data mining-u*“ za analizu procene frekvencije saobraćajnih nezgoda. Chang, (2005); Chang and Chen, (2005), izvršili su poređenje rezultata CART, veštačkih neuronskih mreža i negativnih binomnih modela i došli do zaključka da rezultati CART i veštačkih neuronskih mreža predstavljaju dobru alternativu modelima negativne binomne regresije za procenu frekvencije saobraćajnih nezgoda na autoputevima.

Kako bi se izborili sa problemima koje nose podaci o saobraćajnim nezgodama i metodološkim pitanjima (koji bi mnogi mogli ugroziti statističku validnost analize ako nisu pravilno primenjeni), primenjuju se široki spektri metoda. Modeli koji se najčešće koriste u oblasti bezbednosti saobraćaja, a veći deo njih je već pomenut, detaljno su opisani od strane Lord and Mannering, (2010) koji u svom radu ističu određene prednosti i mane svakog od modela (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Prikaz postojećih modela koji se koristi u analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda (adaptirano na osnovu Lord and Mannering, 2010)

TIP MODELA	PREDNOSTI	NEDOSTACI
Poisson	Najjednostavniji model Lak za procenu	Nije dobar kod overdispersion i under-dispersion; Negativan uticaj na model kada je mala srednja vrednost
Negative binomial/Poisson-gamma	Laka za procene i primenljiva je kod overdispersion podataka	Nije dobra kod podataka under-dispersion; Nije dobra za male srednje vrednosti uzorka i male veličine uzorka jer može biti pristrasna
Poisson-lognormal	Mnogo je fleksibilnija od Poisson-gamma raspodele kod overdispersion podataka	Nije dobra kod podataka under-dispersion; Može dati nepovoljne rezultate za male srednje vrednosti uzorka i male veličine uzorka (ali manje nego Poisson-gamma), ne može da proceni različite parametre disperzije

Zero-inflated Poisson and negative binomial	Dobra je kod podataka koji imaju veliki broj observacija u kojima nije bilo nezgode	Može da dovede do teorijskih nedoslednosti, na nulti naduvani negativni binom može uticati mala srednja vrednost uzorka i mala veličina uzorka
Conway–Maxwell–Poisson	Može da radi sa podacima koji su overdispersion i underdispersion, ili kod koje je prisutna kombinacija koristeći disperziju promenljivih parametara	Negativan uticaj male srednje vrednosti uzorka i pristrasnost malog uzorka, nema mogućnosti multivarijantnih ehtenzija
Gamma	Može da radi sa podacima koji su under-dispersion	Dual-state model with one state having a long-term mean equal to zero
Generalized estimating equation	Može da se primeni za vremenske korelacije	Može biti potrebno utvrditi ili proceniti tip vremenske korelacije, rezultati su osetljivi ukoliko nedostaju podaci
Generalized additive	Mnogo su fleksibilniji nego tradicionalni Generalized estimating equation modeli, dopuštaju nelinearne interakcije promenljivih	Relativno kompleksni za primenu, ne mogu se lako primeniti na druge skupove podataka
Random-effects	Može da se primeni za vremenske i prostorne korelacije	Ne mogu se lako primeniti na druge skupove podataka
Negative multinomial	Može da radi sa podacima koji su over-dispersion i imaju serijsku korelaciju; kod panel podataka (panel count data)	Nije dobra kod podataka underdispersion; na rezultate utiču mala srednja vrednost uzorka i mala veličina uzorka
Random-parameters	Mnogo su fleksibilniji nego tradicionalni modeli sa fiksnim parametrom u proračunima kod kojih se ne uočava heterogenost	Komplikovani za procene, nisu lako primenjivi na drugim skupovima podataka
Bivariate/multivariate	Mogu se primeniti za modelovanje različitih vrsta nezgoda simultano, mnogo fleksibilnija funkcionalna forma nego kod Generalized estimating equation modela (mogu da koriste ne linearnu funkcije)	Komplikovani za procene, zahtevaju formulisanje matrice korelacije
Finite mixture/Markov switching	Mogu se primeniti za analizu disperzije kod podataka	Komplikovani za procene, nisu lako primenjivi na drugim skupovima podataka
Duration	Uzimaju u obzir vreme između nezgoda (što je suprotno frekvenciju nezgoda), omogućavaju dubinske analize	Zahtevaju mnogo detaljnije podatke nego što je to potrebno kod tradicionalnih modela frekvencije saobraćajnih

	podataka i efekata trajanja	nezgoda., teško je raditi sa vremenski nezavisnim promenljivim
Hierarchical/multilevel	Može da se primeni za vremenske, prostorne i druge vrste korelacija između grupa	Nisu lako primenjivi na drugim skupovima podataka, teško se interpretiraju rezultati korelacije
Neural network, Bayesian neural network, and support vector mashine	Ne parametarski pristup ne zahteva prepostavke za distribucije podataka, fleksibilna funkcionalna forma, obično daju bolje statističko poklapanje nego tradicionalni parametarski modeli	Komplikovani za procene, nisu lako primenjivi na drugim skupovima podataka.

Na osnovu iznetog može se zaključiti da postoje značajni problemi sa podacima sa kojima se eksperti iz oblasti bezbednosti saobraćaja susreću prilikom analize frekvencija saobraćajnih nezgoda, a koji predstavljaju ulazne parametre za dalje procese modelovanja.

3.3. PROSTORNI MODELI

3.3.1. Osnovni pojmovi o prostornim modelima

Primenom, analizom i razvojem prostornih modela saobraćajnih nezgoda bavili su se brojni autori u oblasti bezbednosti saobraćaja (Levine et al., 1995a; 1995b; Nicholson, 1998; LaScala et al., 2000; Graham and Glaister, 2003; Tarko and Kanodia, 2004; Miaou and Song, 2005; Agüero-Valverde and Jovanis, 2006; Sørensen and Elvik, 2007; Montella, 2010; Siddiqui et al., 2012; Hummer et al., 2012).

Geografski informaciona analiza (*eng. Geographic Information Analysis*) predstavlja novi koncept analize prostornih karakteristika. Najstariji oblik geografske analize podataka je prostorna analiza. Pojam prostorne analize nije moguće predstaviti jednostavnom definicijom, jer se u dosadašnjoj literaturi ovaj pojam javlja u različitim kontekstima. O'Sullivan i Unwin, 2003 su objasnili četiri oblasti u literaturi koji koriste prostorne analize na različite načine:

1. Prostorna manipulacija podacima obično se u geografsko informacionom sistemu (GIS) odnosi na prostornu analizu.
2. Prostorna analiza podataka je deskriptivna i istraživačka. Ona je najznačajniji prvi korak u svim vrstama prostorne analize. Takav način analize može da se obavlja nad velikim i složenim skupovima podataka.
3. Prostorno statistički modeli koriste statističke metode za ispitivanje da li su podaci tipični ili neočekivani u odnosu na rezultate statističkih modela.
4. Prostorno modelovanje podrazumeva kreiranje modela kako bi se predvideli rezultati prostorne analize. Tehnike modelovanja su prirodno nadograđivanje prostornih analiza.

Prema Agüero-Valverde, 2013a, istraživanja prostorne raspodele saobraćajnih nezgoda mogu se podeliti u dve grupe: identifikacija opasnih mesta (*eng. black spot*) ili mesta koja obećavaju (*eng. sites with promise*) i ekološke analize (*eng. ecological analysis*).

Prostorna analiza je lakše shvatljiva, odnosno manje apstraktna, pa je mnogo češće predmet istraživanja u oblasti bezbednosti. Za pozicioniranje nekog događaja i pojave u realnom prostoru davno je razvijen univerzalni geografski koordinatni sistem. Na osnovu njega moguće je veoma precizno odrediti koordinate neke tačke ili pojave u realnom svetu (prostoru). Naime, analize su vršene tako što se pokušavalo što preciznije odrediti mesto nastanka nezgode, stacionaža puta na otvorenim deonicama, odnosno ulica i kućni broj u naseljenim mestima. Noviji pristup pozicioniranja saobraćajne nezgode predstavlja određivanje X, Y, Z koordinata nezgode. Rezultat prostorne raspodele saobraćajnih nezgoda su karte, situacioni planovi i linijski grafikoni saobraćajnih nezgoda. Na osnovu topografske analize izdvajaju se tzv. „crne tačke“ koje predstavljaju delove puta na kome se u određenom vremenskom periodu dogodi veći broj saobraćajnih nezgoda, zavisno od autora. Prepoznaju se tri osnovna obeležja navedenih definicija. To su broj saobraćajnih nezgoda (odnosno posledica), dužina dela puta i vremenski period koji se posmatra. Dužina deonice koja se posmatra kreće se, u proseku od 100 m do 300 m u zemljama kao što su Norveška, Nemačka, Danska, Portugalija, Velika Britanija i Grčka, dok postoje i ekstremi, kao što je Španija, gde su dužine tih deonica 1 km. Kriterijum koji se koristi kod broja saobraćajnih nezgoda je različit i kreće se od minimalno tri saobraćajne nezgode na trogodišnjem nivou u Nemačkoj, pa do više od 12 saobraćajnih nezgoda tokom perioda od tri godine u Velikoj Britaniji. Kriterijum koji se odnosi na vremenski period posmatranja problema kreće se od jedne do pet godina.

U ranijim istraživanjima saobraćajne nezgode predstavljane su kao tačke na mapi (ili neke druge oznake) za određeni vremenski period. Složene analize podrazumevaju primenu modela predikcije (*eng. Accident prediction models or Safety Performance Functions*) ili empirijske Bajesove analize. Modeli predikcije uključuju primenu modela korelacije koja je izvedena iz analize stvarnih podataka o saobraćajnim nezgodama. To znači da su mnogi modeli primenljivi na lokalnim područjima i veoma često ih nije moguće primeniti za analizu bezbednosti saobraćaja drugih regiona ili zemalja. Primena ovih modela na drugim područjima zahteva modifikaciju faktora koji se donose na lokalna područja. Teško je definisati jasne procedure pomoću kojih bi se izvršila modifikacija faktora na jednostavan način i omogućila primenu modela u drugim regionima. Kod ekoloških analiza saobraćajne nezgode se posmatraju kao agregirani podaci i oni se vezuju za neki geografski nivo (deonicu, raskrnicu, okrug, pokrajinu ili sl.). Na ovim podacima se primenjuju statistički modeli koji koriste frekvenciju kako bi procenili korelaciju između nekoliko puteva, faktora puta i okruženja, kao i saobraćajnog rizika. Identifikacija opasnih mesta na putevima ima za cilj pronalaženje delove puta na kojima je saobraćajni rizik veći, dok ekološka analiza nastoji da utvrdi faktore koji utiču na povećan rizik od nastanka nezgoda. Obe vrste analize neophodne su zbog unapređenja bezbednost saobraćaja, s tim što prva vrsta analize daje odgovor gde, na kojim delovima putne mreže

potrebno je unaprediti bezbednost saobraćaja, dok druga vrsta analize govori kako je to moguće ostvariti.

Mnogo napora je uloženo za različita istraživanja, ali samo mali broj njih je bio usmeren na istraživanja prostornih i vremenskih šablona pojava saobraćajnih nezgoda sa aspekta različitih nivoa posmatranja (Li et al., 2007; Plug et al., 2011). U analizama saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica, Kernelov metod koristi sofisticiranu proceduru za procenu gustine nezgoda (Sabel et al., 2005; Anderson, 2009; Bíl et al., 2013). Kernelova metoda gustine je jedna od najčešćih primenjivanih metoda koja se koristi za identifikaciju koncentracije saobraćajnih nezgoda na području posmatranja. Gustina saobraćajnih nezgoda za svaki piksel na izlaznom rasteru dobija se prebrojavanjem broja nezgoda na definisanom području, odnosno regionu koji je podeljen na određen broj ćelija, a zone su iscrtane oko skoncentrisanih saobraćajnih nezgoda

Veličina prostorne jedinice, koja je predmet analize, zavisi od cilja analize i raspoloživih podataka. Zbog problema sa kojim se susreću, analitičari često agregiraju podatke o saobraćajnim nezgodama u odnosu na nekoliko prostornih nivoa počevši od raskrsnica ili deonica puta što predstavlja mikro nivo, pa sve do regiona, pokrajina ili zemalja koje pripadaju makro nivou. Modeli koji se odnose na mikro nivo pogodni su za analizu faktora koji utiču na saobraćajni rizik na konkretnom putu ili raskrsnici. Modeli koji su vezani za makro modele dobri su za analizu šireg spektra faktora kao što su vremenski uslovi, stepen motorizacije i drugi. Kako raste stepen agregiranosti podataka (veličina prostorne jedinice posmatranja) tako raste rizik od pogrešnog rasuđivanja kod ekološke analize. Pored potencijalnih problema koji se javljaju kod ekoloških analiza, agregiranost podataka takođe ima prednosti i postoji potreba za primenom u analizama bezbednosti saobraćaja.

Mnogi autori uočili su postojanje prostorne korelacije u podacima o saobraćajnim nezgodama (Miaou et al., 2003; Aguero-Valverde and Jovanis, 2006, 2008, 2010; Wang and Abdel-Aty, 2006; Guoa et al., 2010). Prostorno modelovanje saobraćajnih nezgoda ima dve glavne prednosti u odnosu na tradicionalne neprostorne modele: 1. primenom prostorne korelacije moguće je proceniti jačinu prostornog sjedinjavanja susednih mesta; 2. unapređenje procene modela i prostornih efekata može biti zamena za nepoznate i relevantne kovarijanse, a takođe moguće je ih prilagoditi modelu. Obe ove prednosti su dobre za primenu prostornih modela saobraćajnih nezgoda i istraživana su u prošlosti od strane brojnih autora (Quddus, 2008; Huang et al., 2010; Siddiqui et al., 2012).

Prostorni modeli frekvencije saobraćajnih nezgoda korišćeni su u analizama faktora bezbednosti saobraćaja koji su u vezi sa nastankom nezgoda, ali nisu našli primenu u analizi opasnih mesta. Priručnik bezbednosti saobraćaja (*eng. The Highway Safety Manual*) predlaže upotrebu modela predikcije (*eng. safety performance functions*) i empirijske Bajesove teoreme za procenu frekvencije saobraćajnih nezgoda na deonicama i raskrsnicama (AASHTO, 2010). Na ovaj način vrši se rangiranje mesta kako bi se primenili programi unapređenja bezbednosti saobraćaja. Mapiranje nezgoda u osnovi koristi prostornu korelaciju kako bi se podesila procena rizika bliže stvarnoj distribuciji. Stoga je neophodno povezati oba pristupa radi procene frekvencije saobraćajnih nezgoda na nekom prostoru kao mere apsolutnog saobraćajnog rizika. Ovakav pristup analize

omogućava rangiranje prostornih jedinica ili oblasti i služi kao podrška donosiocima odluka u procesu planiranja.

Jedan od osnovnih zadataka upravljača puta je identifikacija lokacija koje je neophodno unaprediti kako bi se povećala bezbednost saobraćaja na nekom području. Ovom problematikom se naročito bavio Hauer (2002). Mnoge tehnike rangiranja zasnivaju se na proceni frekvencije nezgoda za svaki segment puta ili funkciji kao što je razlika između očekivanog broja nezgoda na nekom mestu i očekivanom broju nezgoda na sličnom mestu puta (Aguero-Valverde, 2013b).

3.3.2. Odabrane metoda koje se koriste kod prostornih modela

Intervencije na mestima nakupljanja saobraćajnih nezgoda smatraju se jednim od najefektivnijih pristupa u prevenciji saobraćajnih nezgoda na putevima (European Commission, 2001). U poslednjih dvadesetak godina razvijeni su brojni pristupi za unapređenje bezbednosti puta (RIPCORD-ISEREST, 2007). Sa aspekta prostorne analize i upravljanja rizicima opasna mesta („crne tačke“, „crne deonice“, *eng. black spot, hot spot*) na putevima predstavljaju značajnu oblast istraživanja i rada na unapređenju bezbednosti saobraćaja. Među najznačajnijim fazama upravljanja opasnim mestima izdvaja se identifikacija opasnih mesta, koja predstavlja proceduru za otkrivanje takvih mesta na mreži puteva (Sørensen et al., 2008; Elvik, 2008a; Elvik, 2008b). Tokom istraživanja stručne literature uočen je niz pokušaja u pronalaženju i definisanju najefikasnije metode, koja bi omogućila merenje bezbednosti pojedinih deonica puteva i utvrdila najugroženija i najopasnija mesta. I pored ogromnih napora, do danas nisu standardizovani principi i tehnike identifikacije opasnih mesta, stoga se korišćeni pristupi razlikuju od zemlje do zemlje (Elvik, 2008a). Metodologije se kreću od jednostavnog obeležavanja mesta sa velikim brojem saobraćajnih nezgoda do sofisticiranijih tehnika u kojima se ocenjuje očekivani broj saobraćajnih nezgoda i određuje potencijal za poboljšanje bezbednosti.

Opšti principi identifikacije mogu biti podeljeni prema pristupu zasnovanom na analizi saobraćajnih nezgoda i pristupu bez saobraćajnih nezgoda. Pei et al. (2005) u svom radu ističu 6 metoda koje se najčešće koriste za identifikaciju opasnih mesta: (1) metod učestalosti nezgoda, (2) metod stope nezgoda, (3) metod matrice, (4) metod ukupnog ekvivalenta broja nezgoda, (5) metod kontrole kvaliteta i (6) metod kritične stope. Pojedina istraživanja identifikacije opasnih mesta zasnovana su na subjektivnoj proceni učesnika u saobraćaju (Kowtanapanich et al., 2006). Elvik (2008a; 2008b) je analizirao nekoliko tehnika za identifikaciju opasnih mesta: (1) broj saobraćajnih nezgoda u analiziranom periodu, (2) stopa nezgoda (broj nezgoda na milion voz. km.), (3) kombinovan broj nezgoda i stope nezgoda iznad prosečne vrednosti i (4) empirijska Bajesova (EB) ocena očekivanog broja saobraćajnih nezgoda na razmatranim mestima. Sve ovo ukazuje da postoji zaista široka lepeza u pogledu metodologije identifikacije opasnih mesta na putevima.

Postoji više metoda *network screening-a*, od onih koji se baziraju na najjednostavnijem rangiranju deonica zavisno od broja nezgoda do statističkih naprednih tehnika koje se zasnivaju na modelima predikcije. Sorensen i Elvik (Sørensen and Elvik,

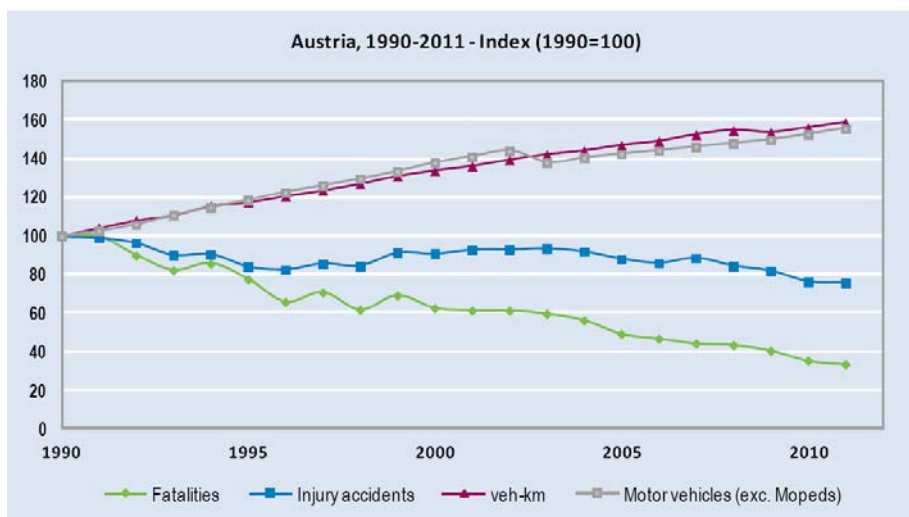
2007) ističu da opasne deonice puta treba identifikovati kao deonice puta koje imaju viši očekivani broj nezgoda nego obično očekivani broj na sličnim deonicama puta, usled specifičnih lokalnih karakteristika tih deonica.

Pojedine *network screening* metode opisane u HSM zahtevaju veći broj podataka, kao što su PGDS, podaci o lokaciji, tip nezgode, karakteristike lokacije i dr. (AASHTO, 2010). Kod primene ovih modela problemi se javljaju kada lista ulaznih podataka nije kompletna. Rešenje se postiže primenom pomoćnih statističkih alata (*eng. supplementary tool*) (Park and Sahaji, 2013), ali se time dodatno usložnjava proces *network screening*a. Pored toga veoma je teško unapred zadati vrednost verovatnoće da u određenom periodu neće doći do nastanka nezgode, odnosno ne pruža se mogućnost postizanja precizno određenog procenta smanjenja broja nezgoda. Sa druge strane, u većini slučajeva upravljaču puta pri početnom planiranju i donošenju grubih procena više odgovaraju metodi koji u obzir uzimaju manji broj podataka i ne zahtevaju puno vremena za analizu. Iz toga javila se potreba za razvojem modela koji će omogućiti jednostavniju i bržu analizu sa osnovnim podacima o saobraćajnim nezgodama.

3.4. VREMENSKI MODELI

3.4.1. Osnovni pojmovi o vremenskim modelima

Značaj vremenske analize bezbednosti saobraćaja ogleda se u procesu sticanja sveobuhvatnog saznanja o stanju bezbednosti saobraćaja radi planiranja i sprovođenja odgovarajućih aktivnosti u cilju smanjenja broja saobraćajnih nezgoda. U okviru statističkih izveštaja zemalja najčešće se prikazuju trendovi nezgoda, kao i raspodele nezgoda po godinama, mesecima, danima i časovima (klasična deskriptivna analiza frekvencije nezgoda u vremenu). Na grafiku 3.1 prikazan je trend poginulih u saobraćajnim nezgodama, saobraćajne nezgode sa povređenima kao i broj motornih vozila (isključujući mopede) i izloženost (pređeni vozilo-km) u Austriji od 1990-2011. godine, gde je kao bazna godina uzeta 1990. godina. Pored raspodele broja nezgoda tokom nekog vremenskog perioda sledeći korak u analizama predstavljalo je kombinovanje različitih parametara bezbednosti saobraćaja kao što su raspodela broja nastradalih prema kategoriji učesnika i satima, raspodela poginulih prema kategoriji učesnika i danima u sedmici, trend stradanja mladih učesnika u saobraćaju prema satima i dr.



Grafik 3.1 Trend poginulih u saobraćajnim nezgodama, saobraćajne nezgoda sa povredjenima, stepen motorizacije i pređenih vozilo-kilometara, Austrija, 1990-2011 (izvor: IRTAD, 2013)

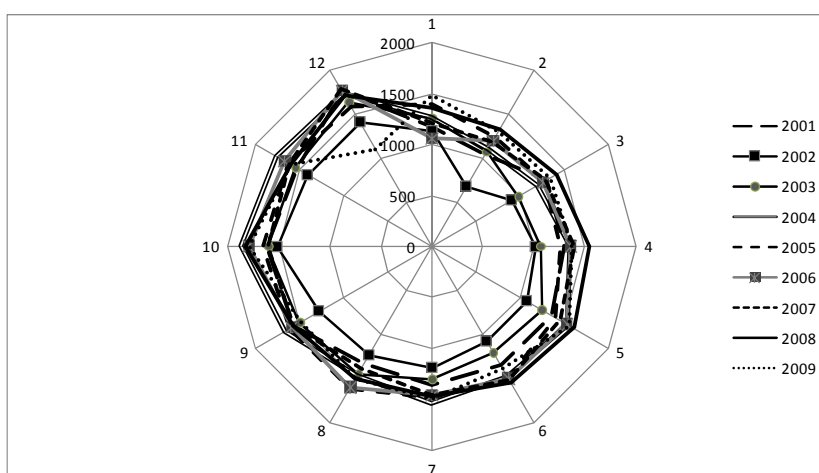
Vreme je, pored prostora, podjednako važna dimenzija, ali zbog svoje apstraktnosti nije uvek u prvom planu. Nastanak saobraćajnih nezgoda može se posmatrati kao neprekidan slučajan proces i kao takav, bez obzira što se nezgode dešavaju u realnom svetu, pre svega se moraju posmatrati sa vremenskog aspekta. Vremenski aspekt analize nekog slučajnog procesa (u posmatranom slučaju je to bezbednost saobraćaja) može se posmatrati sa dva aspekta (1) analiza saobraćajnih nezgoda na kontinualnoj vremenskoj osi i (2) analiza saobraćajnih nezgoda u vremenskom koordinatnom sistemu.

Slično kao i kod geografskog koordinatnog sistema, definisan je i vremenski koordinatni sistem (kalendar) radi lakšeg pozicioniranja, odnosno isključivanja apstraktnosti. Iako stvarno vreme protiče svojom konstantnom brzinom, život ljudi i njihove aktivnosti organizovani su i referencirani u skladu sa usvojenim kalendarom, odnosno usvojenim vremenskim koordinatnim sistemom. Za razliku od prostorne analize koja je statička, jer se zasniva na pozicioniranju i prebrojavanju nezgoda na određenom nepokretnom prostoru, vremenska analiza je dinamički proces jer zahteva praćenje i pozicioniranje događaja u apstraktnoj dinamičkoj dimenziji. Na osnovu prethodno iznetog, jasno je da je za kvalitetno i pouzdano praćenje neke pojave, u ovom slučaju saobraćajnih nezgoda, neophodno definisanje repernih tačaka odnosno koordinata sistema. Kod prostornog koordinatnog sistema osnovni problem je predstavljalo definisanje koordinatnog početka i osnovne merne jedinice. Vremenski koordinatni sistem, za razliku od prostornog, mora se posmatrati od veće merne jedinice ka manjoj. Naime, najveća prirodna vremenska jedinica je godina, a najmanja sekunda. U analizi nastanka saobraćajnih nezgoda najmanja vremenska jedinica je čas, a najveća godina. Zbog toga vremenskoj analizi prethodi pozicioniranje, drugim rečima mapiranje u vremenskom koordinatnom sistemu (kalendaru).

U vremenskim analizama izdvajaju se tri aspekta: prošli, sadašnji i budući. Za analizu trenda nezgoda u prošlosti primenjuju se matematički i statistički modeli, koji se ujedno koriste i za prognoze bezbednosti saobraćaja, dok analiza podataka koji nastaju u sadašnjosti pripada novijoj generaciji modela u oblasti bezbednosti saobraćaja.

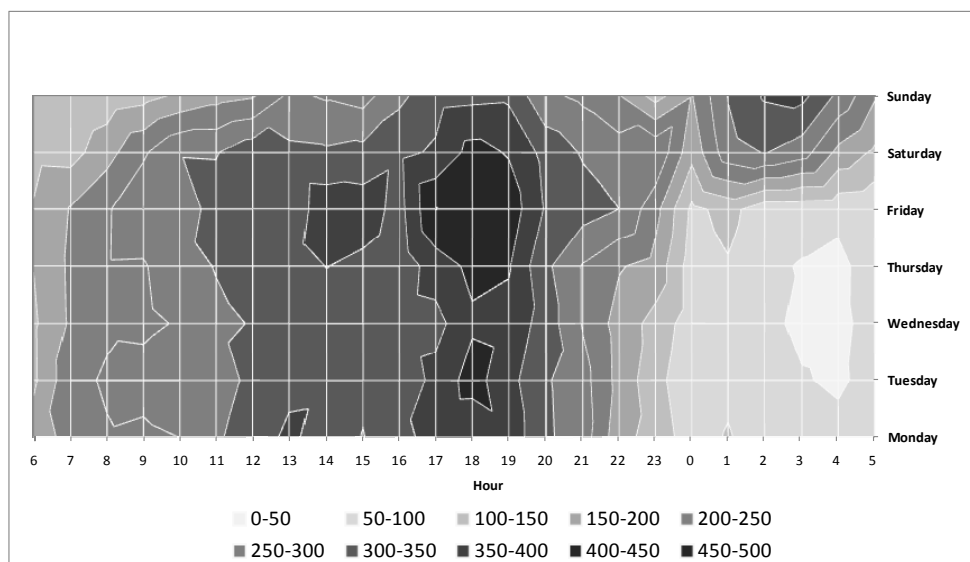
Zbog velikih društvenih gubitaka koji su uzrokovani saobraćajnim nezgodama, istraživači u oblasti bezbednosti saobraćaja konstantno traže načine kako bi bolje razumeli koji faktori utiču na verovatnoću nastanka saobraćajne nezgode sve sa ciljem definisanja i implementacije preventivnih mera koje bi za rezultat imale smanjenja broja nezgoda. Problem je što ne postoje detaljni podaci o uslovima vožnje (ubrzanje, kočenje, upravljanje informacijama) i saobraćajnim nezgodama koji bi im omogućili bolju identifikaciju i vezu između uzroka i posledica (verovatnoću nastanka). Navedeni problem uslovio je razvoj analitičkih pristupa za proučavanje faktora koji utiču na broj saobraćajnih nezgoda na nekom području (deonica, raskrsnica) u nekom određenom vremenskom periodu (sedmica, mesec, godina).

Bačkalić (2013) je prikazala metodologiju primene statističke, analitičke i metode klasifikacije, kao i vizuelizacija podataka. Rezultati raspodele frekvencije saobraćajnih nezgoda po mesecima i godinama prikazani su pomoću radarskih grafikona. Na osnovu ovih grafikona lako se može uočiti trend rasta saobraćajnih nezgoda od februara do maja, nakon čega počinje blago da pada do septembra, a maksimum dostiže u oktobru. Uočava se da u drugoj polovini godine, od jula do januara, broj nezgoda sa nastradalima osciluje između 1.500 i 2.000, što je veći broj nego za prvi deo godine kada je broj nezgoda znatno niži (ovo važi za sve godine analize) (grafik 3.2).



Grafik 3.2. Broj saobraćajnih nezgoda sa nastradalima po mesecima, AP Vojvodina, period 2001-2009.

Kod vremenske analize istraživači se najčešće susreću sa problemom vizuelizacije podataka, na primer kada se želi pokazati više od dve vrednosti na istom grafikonu. Tako na primer, ako se analizira broj nezgoda koje su nastale u periodu posmatranja prema danima i časovima. uočava se da broj raste od 6 h ujutro do 7 h posle podne, nakon čega broj znatno opada. Takođe broj nezgoda je manji radnim danom tokom noći (između 3 i 5h ujutro). Dani vikenda su karakteristični jer se broj nezgoda noću događa između ponoći i 5h ujutro, što nije slučaj sa radnim danom (grafik 3.3).



Grafik 3.3. Broj saobraćajnih nezgoda sa nastradalima prema danima i časovima, AP Vojvodina, period 2001-2009.

U radu su prikazane vremenske mape saobraćajnih nezgoda sa nastradalim licima po mesecima, gde su ukršteni podaci o nastradalim po danima i časovima. Primarni cilj rada je da istakne značaj vremenskih analiza ako se ukrste 3 ili 4 vremenske promenljive. Vremenske informacije su od velike koristi za donosiocima odluka kako bi se odlučili koje intervencije da preduzmu (signalizacija, kontrola alkohola, unapređenja u zoni škola, unapređenje biciklističkih i pešačkih zona, infrastrukturna unapređenja i dr.). Na osnovu rezultata uočen je značaj vremenskog mapiranja. Rezultati prostornih analiza su uvek isti jer imamo 2 ili 3 dimenzije. Vremenske analize su različite zavisno od načina posmatranja. Ako ukrstimo različite vremenske jedinice dobijamo različite vremenske mape. Vremenske analize prikazane u radu se mogu unaprediti ako se urade za različite kategorije učesnika, starosne grupe, vrste nezgoda ili neki drugi faktor bezbednosti saobraćaja. Vremenske mape su značajan alat za vizuelizaciju pojava koje se menjaju tokom vremena u saobraćaju. Na osnovu vremenskih mapa se mogu porediti vrednosti u različitim tačkama u vremenu i na taj način uočiti određene šablone. Vremensko mapiranje u analizi bezbednosti saobraćaja zauzima značajno mesto i postoji dosta prostora za unapređenje postojećeg načina rada.

Bačkalić i dr. (2013) istakli su značaj vremensko-prostornog pristupa u analizi distribucije saobraćajnih nezgoda na ruralnim putevima. Premet istraživanja su saobraćajne nezgode (1.010) koje su se dogodile na nekadašnjem magistralnom putu M22 (na delu puta koji prolazi kroz AP Vojvodinu) u periodu 2005-2011. godina. Nezgode su kodirane u odnosu na prostor (km, deonice puta) i vreme (čas, dan, mesec i godina). Metodologija rada je deskriptivna statistička analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda koja predstavlja prvi korak u analizama bezbednosti saobraćaja, kao i primena osnovnih principa teorije pouzdanosti za računanje srednjeg vremena između nezgoda.

Rezultati pokazuju da ukupan broj saobraćajnih nezgoda ima opadajući trend u periodu 2005-2011. Da bi se izvršilo kvalitetno vrednovanje bezbednosti saobraćaja na ovom putnom pravcu potrebno je ispitati sve moguće okolnosti koje su dovele do ovog

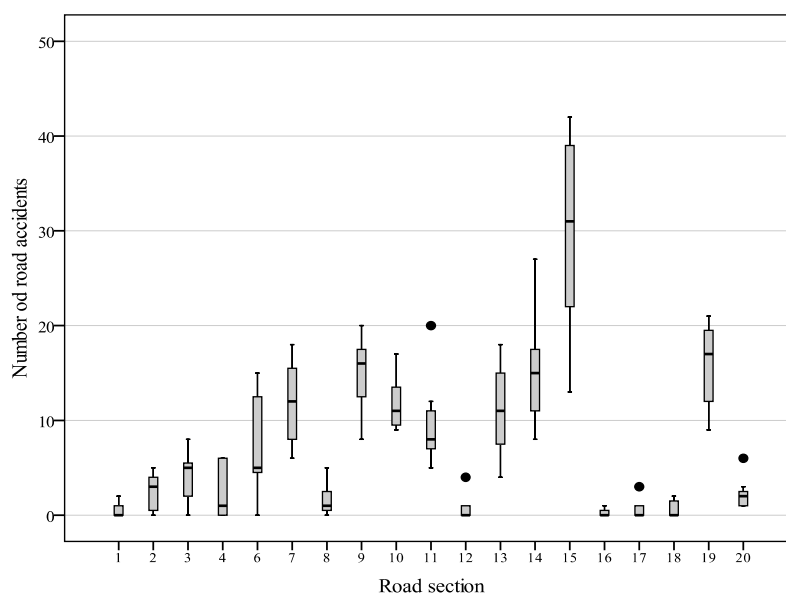
smanjenja, kao i neke druge indikatore bezbednosti saobraćaja koji se zasnivaju na posledicama saobraćajnih nezgoda i relativnim indikatorima koji će uzeti u obzir i izloženost saobraćajnim nezgodama.

Statistički parametri prikazani u Tabeli 3.2. daju sveobuhvatniju sliku kada je u pitanju trend saobraćajnih nezgoda. Pored parametra kojim se pokazuju prosečan broj saobraćajnih nezgoda prikazani su i parametri koji ukazuju na disperziju saobraćajnih nezgoda za ovaj vremenski period, kao i pokazatelji asimetrije i zaobljenosti podataka koji ukazuju na način njihovog rasporeda u odnosu na aritmetičku sredinu. Srednja vrednost saobraćajnih nezgoda za period posmatranja je 144, pri čemu je prosečno odstupanje ukupnog broja saobraćajnih nezgoda u svakoj od ovih godina od prosečne vrednosti 40, što govori o značajnoj disperziji podataka. Podaci su simetrično raspoređeni oko srednje vrednosti jer koeficijent asimetrije ima nultu vrednost. Koeficijent zaobljenosti ima vrednost -1 koji pokazuje da je kriva manje oštra od normalne krive.

Tabela 3.2. Parametri deskriptivne statistike saobraćajnih nezgoda, period 2005-2011.

Parametri	Vrednost	Parametri	Vrednost
Srednja vrednost	144	Maksimum	199
Medijana	145	Ospieg	112
varijansa	1614	Interkvartil	82
Standardna devijacija	40	Mera Asimetrije	0
Minimum	87	Mera zaobljenosti	-1

U radu je prikazana deskriptivna statistika raspodele broja saobraćajnih nezgoda za časove, dane, mesece i deonice. Komparativna analiza između deonica puta pokazuje da se na deonici 15 događa najveći broj saobraćajnih nezgoda. Podaci na ovoj deonici su simetrično raspoređeni. Pored ove deonice najrizičnija deonice ako se kao pokazatelj koristi broj saobraćajnih nezgoda su deonice koje prethode deonici broj 15 (grafik 3.4).



Grafik 3.4. Broj saobraćajnih nezgoda po deonicama puta M22 za svaku godinu, period 2005-2011.

Testiranje podataka primenom modela pouzdanosti dobijeno je srednje vreme između saobraćajnih nezgoda. Poređenjem srednjeg vremena između nezgoda zaključeno je da je najopasnija deonica 15 jer je na njoj vreme između dve saobraćajne nezgode najkraće. Ovu deonicu prate deonice 19, 14, 9 i 7, dok su najbezbednije deonice 5, 16, 1, 18, 17 i 8. Na posmatranom putu nezgoda se događa svakih 58,23 h.

Zaključak je da modelovanje saobraćajnih nezgoda i interpretacija podataka može biti od velike pomoći prilikom identifikacije i razumevanja problema bezbednosti saobraćaja. U radu je pokazano da su frekvencija saobraćajnih nezgoda i vreme između dve nezgode povezane. Deskriptivna statistika može biti samo prvi korak u analizi podataka, ali ako je uzorak mali i period posmatranja kratak ona nije dobra pri donošenju dubljih zaključaka. Rad pokazuje mogućnost primene srednjeg vremena između dve uzastopne nezgode (dobijen primenom formula iz *hazard based duration* modela) kao boljeg rešenja u analizi bezbednosti saobraćaja. Za analize su potrebni samo podaci o prostornim i vremenskim koordinatama. Rezultati analize mogu biti od velike koristi upravljačima puta kao dobar alat u postupku donošenja odluka. Takođe ovi modeli imaju prostora za unapređenje u budućnosti.

3.4.2. Modeli frekvencije saobraćajnih nezgoda sa empirijskog stanovišta

Sa empirijskog stanovišta, frekvencija saobraćajnih nezgoda se procenjuje u zavisnosti od uticaja različitih faktora kao što su geometrija puta (horizontalne i vertikalne krivine, širina bankine), karakteristike saobraćaja (PGDS, procenat teških teretnih vozila), meteorološki uslovi (kiša, sneg, led, magla, vidljivost) i dr.

Početna istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda bavila su se uticajem pojedinih faktora na promenu broja saobraćajnih nezgoda po godinama (Zlatoper, 1984, 1989; Partyka, 1984, 1991; Whitfield and Fife, 1987; Broughton, 1991; Oppe, 1991) ili su prikazivali rezultate promene po mesecima (Lassarre, 1986; Scott, 1986; Golob, et., al 1990; Levine, 1995; Folkard, 1997), a jedan broj radova se bavio kombinovanjem raspodele nezgoda gde su ukrštane vremenske jedinice (čas, dan, mesec ili godina) (Levine, 1995; Jovanović et al., 2010).

Levine i dr. (1995) analizirali su dnevne varijacije saobraćajnih nezgoda u Honolulu tokom 1990. godine. Upravo ovaj rad smatra se jednim od prvih radova koji se bavio vremenskim aspektom analize bezbednosti saobraćaja. U okviru modela za Honolulu prikazano je da nezgode zavise od obima saobraćaja, meteoroloških uslova, praznika, socijalnih aktivnosti stanovništva. Sve evidentirane nezgode analizirane su kako bi se definisao generalni obrazac raspodele nezgoda, a potom je model testiran zavisno od stepena uticaja pojedinih parametara na broj nezgoda. Regresiona analiza je primenjena u modelu za vremensku raspodelu saobraćajnih nezgoda. Rezultati analize po danima pokazali su da su najkritičniji dani petak i subota. Iako je ovim danima obim saobraćaja veliki, verovatnoća nastanka nezgode je veća nego što se to očekuje ukoliko se uzme u

obzir veličina obima saobraćaja. Što se tiče analize po mesecima, tu odskaku septembar kao mesec sa najvećim brojem nezgoda i april sa najmanjim (što se objašnjava Uskrsom). Što se tiče analize uticaja praznika na broj nezgoda, manji praznici imaju veći uticaj nego veliki praznici. Veliki praznici su u negativnoj korelaciji sa brojem nezgoda, što se objašnjava malim obimom saobraćaja pošto stanovnici ne idu nigde za praznike (Honolulu je ostrvski grad), a drugi razlog je primena veoma rigoroznih mera od strane policije za dane praznika. Broj nezgoda je veći manjim praznicima nego prosečnog dana, jer ljudi uglavnom odlaze na praznike posle posla i oni predstavljaju produžene vikende. Prosečan broj nezgoda koji se dogodi tokom manjih praznika je isti sa brojem nezgoda koje se dogode petkom ili subotom. Uticaj kiše na nastanak saobraćajne nezgode pokazao je veliku statističku značajnost sa brojem nezgoda. Model pokazuje da za svaki inč² padavine biće 13,4 nezgode po danu. Ukoliko kiša pada u popodnevnim satima (4 do 7) model predviđa da će za svaki inč padavine biti više od 55,1 nezgoda (model je više sugestivan, nego stvaran). Takođe model predviđa da će 6,4 nezgoda da se dogodi prvog dana kiše, nego drugog dana. Stopa nezaposlenosti pokazala je negativan efekat na krajnji model. Dani kada je stopa nezaposlenosti bila veća broje manji broj nezgoda nego dani kada je stopa nezaposlenosti manja. Pokazano je da dan pre ili posle velikih ili manjih praznika ne utiče na nastanak nezgode. Takođe kiša u jutarnjim satima nema uticaj na povećanje broja nezgoda, za razliku od veze između kiše u popodnevnim časovima i povećanja broja nezgoda. Brzina vetra i sunčeva svetlost ne utiču na broj nezgoda. Takođe dolasci turista ne utiču značajnije na povećanje broja nezgoda. Zaključeno je da se broj nezgoda može predvideti na osnovu promena obima saobraćaja, kišnih perioda, vikenda i manjih praznika. U radu je prikazana i analiza uticaja vrste nezgode na broj nezgoda po danima. Četiri tipa nezgoda imaju značajno pozitivan odnos sa indeksom obima saobraćaja, ali čeonni sudari, sudari otpozadi i bočni imaju negativan koeficijent. Što se tiče veze tipa nezgode i meseca ona je ista kao i kod opšteg modela (izdvajaju se septembar i april). Modeli analize saobraćajnih nezgoda na dnevnoj osnovi po mesecima imaju prednosti i mane. Prednosti, dnevna raspodela nezgoda odgovara dnevnim obrascima putovanja stanovništva. Drugo, sedmična raspodela nezgoda u kojoj učestvuje većina populacije može se modelovati pomoću dnevnog modela saobraćajnih nezgoda, što se ne može prikazati u opštim modelima i modelima po mesecima. Nedostaci modela analize saobraćajnih nezgoda na dnevnoj bazi su ti što ovi modeli zavise od kvaliteta baza podataka. Drugi nedostatak je to što ne uzimaju u obzir obrasce ponašanja vozača po satima. Nedostaci ovog rada su kratak period posmatranja, a i nisu uzeti u obzir drugi faktori koji utiču na vremensku raspodelu kao što su: sportske aktivnosti, dani manifestacija (proslave matura), policijske kontrole i dr. Analizirano istraživanje predstavlja pionirski rad vremenskih šablona saobraćajnih nezgoda.

Pored klasičnih analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda, značajan broj radova se bavio uticajem meteoroloških uslova na bezbednost saobraćaja (Andrey and Olley, 1990; Andrey and Yagar, 1993; Fridstrom et al., 1995; Poch and Mannering 1996; Andreescu and Frost, 1998; Edwards, 1999; Norrman et al., 2000; Andrey et al., 2003; Coate and Markowitz, 2004; Keay et al., 2005; Radun and Radun, 2006; Songchitruksa and Balke,

² 1 inč = 2,54 cm

2006; Brijs et al., 2008; Andersson and Chapman 2011). Jones et al. (1991) prikazali su dnevne promene saobraćajnih nezgoda na 6 deonica autoputeva u Sietlu, dok su u dve studije Ceder and Livneh (1978, 1982) pokazali dnevne fluktuacije broja nezgoda na odabranim deonicama puta u Izraelu. Navedena istraživanja odnose se na promene broja nezgoda i povređenih u vremenu, te je teško izvršiti poređenje rezultata jer su usmerene na različite vremenske periode i prostore istraživanja. U ovim modelima teško je uočiti uzajamno dejstvo između strukturnih promenljivih i sezonaliteta, vremenskih uslova ili uticaj policijske kontrole. Ovakav prikaz podataka i dalja analiza nosi sa sobom određene nedostatke jer daju pregled promena nezgoda po mesecima, koje zavise od sezonskih karakteristika, vremenskih uslova, saobraćajnog toka, cene goriva i slično.

U većini studija kiša se nameće kao glavni uzrok (Andrey and Yagar, 1993; Fridstrom et al., 1995; Poch and Mannering 1996; Andreescu and Frost, 1998). U drugim studijama vetar, magla, manje perioda bez sunca, sneg, led, pa čak i visoke temperature mogu biti uzročni faktori nastanka saobraćajnih nezgoda (Nofal and Saeed, 1997; Johansson, 1996; Norrman et al., 2000; Coate and Markowitz, 2004; Radun and Radun, 2006; Songchitruksa and Balke, 2006). Količina dnevne svetlosti je naročito važna za analizu odnosa broja nezgoda i broja povređenih pešaka. Coate i Markowitz, (2004) su pokazali da produženjem trajanja dana leti u Americi za jedan sat broj nezgoda sa pešacima se smanjuje za jednu trećinu u ranim jutarnjim časovima, i jednu četvrtinu u večernjim satima.

Edwards (1999) je u svom radu prikazao uticaj vremenskih uslova na broj saobraćajnih nezgoda. Meteorološki uslovi su grupisani u 9 kategorija (fino vreme, bez jakih vetrova; kišovito, bez jakih vetrova; sneg, bez jakih vetrova; fino vreme sa jakim vetrovima; kišovito, sa jakim vetrovima; sneg, sa jakim vetrovima; magla (izmaglica); druge vremenske prilike i nepoznato). U ovoj studiji dat je samo kvalitativan opis uticaja vremenskih uslova na nastanak nezgoda i zaključeno je da je teško utvrditi uticaj vremenskih prilika na frekvenciju nezgoda.

Andrey i dr. (2003) su pokušali da utvrde zavisnost između meteoroloških uslova i saobraćajnog rizika u šest gradova sa različitim klimom. U radu su prikazana dva pristupa analize veze između broja nezgoda i vremenskih uslova. Primenjen je opšti linearni model za ispitivanje vremenskih varijacija u nastanku nezgoda u funkciji vremena i drugih promenljivih. Drugi pristup zasniva se na vremenskom poređenju frekvencije nezgoda i karakteristika. Opšti zaključak rada je da postoji zavisnost između vremenskih uslova i nastanka nezgode, ali da ona varira od grada do grada, ali da ih je teško objasniti jer su klimatski uticaji samo jedan od mnogobrojnih faktora koji utiču na nastanak nezgode.

Andersson i Chapman (2011) u svom radu testirali su sledeću hipotezu: što je klima blaža očekuje se manji broj nezgoda tokom zime. U radu su poređena dva januara, jedan hladniji i suvlji od prosečnog i jedan topliji, ali sa više vlažnih dana od prosečnog. Prikazani su rezultati o broju nezgoda, prosečnim temperaturama vazduha i kolovoza za ova dva januara pomoću GIS-a. Prikazani su i rezultati broja nezgoda koje su potencijalno uzrokovane klizavim kolovozom, kao i odnos broja nezgoda i saobraćajnog toka po regionima i vremenski uslovi. Uprkos razlici u vremenskim uslovima ova dva meseca, broj nezgoda bio je u proseku isti u oba slučaja, iako varira pravi uzrok nastanka nezgoda. Zaključeno je da klimatske promene godišnjih doba ne utiče na broj saobraćajnih nezgoda.

To zapravo znači da u periodu toplih meseci broj nezgoda ne mora da znači da će biti manji. U ovom istraživanju nije verifikovana tvrdnja pojedinih autora da broj nezgoda raste sa lošijim vremenskim uslovima. Iako se čini logična hipoteza da se broj nezgoda poveća što je vreme hladnije, međutim statistika ne uzima u obzir veliki broj nezgoda sa lakšim posledicama kao što su sletanje vozila sa klizavih površina kolovoza, ili činjenicu da vozači menjaju svoje ponašanje i bivaju oprezniji u lošijim vremenskim uslovima. Opšti zaključak rada je da iako postoji veza između broja nezgoda i klizavog kolovoza, poboljšanje vremenskih uslova ne znači i smanjenje ukupnog broj nezgoda. Opšti zaključak je da vozači kompenzuju svoje ponašanje shodno vremenskim prilikama i voze opreznije, a većina njih oseća se samozadovoljnije pored toga što im nedostaju veštine ponašanja u ekstremnim uslovima zimi. Brojni su meteorološki faktori koji utiču na smanjenje bezbednosti saobraćaja, ali treba imati na umu da za nastanak nezgode najčešće nije dovoljan samo jedan faktor, a većina nezgoda je uzrokovana ljudskom greškom.

Saobraćajni tok je jedna od najznačajnijih promenljivih koja se često dovodi u vezu sa nastankom saobraćajnih nezgoda te se otuda jasno nameće i važnost u postupku modelovanja (Pfundt, 1969; Lassarre, 1986; Brodsky and Hakkert, 1988; 1993; Golias, 1992; Martin, 2002; Qin et al., 2006). Kada se uzima u razmatranje veza između ovih promenljivih najpre se pokušava utvrditi korelacija između broja nezgoda koji se dogodi na određenom prostoru i vremenu sa brojem vozila koji prođe kroz istu zonu za isti period posmatranja. Izloženost u analizama bezbednosti saobraćaja definiše se kao mogućnost nastanka određenog tipa nezgode za dato područje i period vremena. Koristi se za računanje stope nezgoda koja predstavlja odnos broja nezgoda i izloženosti (Chapman, 1973). Uobičajeni pokazatelji mere izloženosti koji se koriste za kvantifikovanje verovatnoće nastanka nezgoda su: PGDS, broj pređenih kilometara po vozilu ili broj vozila koji prođe na određenom delu puta (Qin et al., 2006). Povećanje intenziteta saobraćaja obično se dovodi u vezu sa povećanjem broja nezgoda. Rezultati multivarijantne analize nekih od faktora koji utiču na nastanak nezgode po mesecima u Norveškoj pokazuju da intenzitet saobraćaja ima dvostruko veći uticaj na nastanak nezgode nego svi ostali faktori zajedno (Fridstrom et al., 1995). Na osnovu rezultata ranijih studija veza između PGDS i broja saobraćajnih nezgoda je nelinearna kada se uzima u obzir PGDS kao mera izloženosti na nekoj deonici puta, pošto broj nezgoda raste sa intenzitetom saobraćaja po nelinearnoj funkciji. Naime, procenat povećanja broja saobraćajnih nezgoda je manji od procenta povećanja intenziteta saobraćaja (povećanjem intenziteta saobraćaja za 10% očekuje se povećanje broja saobraćajnih nezgoda za 8,8% sa intervalom poverenja od 95%). Ovaj slučaj se objašnjava činjenicom da je povećanje intenziteta saobraćaja u direktnoj vezi sa razvijenim zemljama, boljim standardom i kvalitetom putne mreže, kao i činjenicom da vozači voze pažljivije u uslovima većeg intenziteta saobraćaja (Elvik and Vaa, 2004). Nelinearna veza između PGDS-a i broja nezgoda je posledica uticaja nekih faktora iz "senke". Na primer, za isti stepen izloženosti može se očekivati veći broj nezgoda noću nego danju zbog smanjene vidljivosti i uticaju ljudskog faktora (uticaj biološkog sata na budnost i umor vozača) (Garbarino et al., 2001). Pokazatelj izloženosti koji se zasniva na intenzitetu saobraćaja koji je dosta precizniji od PGDS-a je časovni intenzitet saobraćaja (*eng. hourly volume*) (Ivan et al., 2000). Dostupnost induktivnih petlji, brojača saobraćaja je rešio probleme dobijanja podataka o časovnom intenzitetu

saobraćaja (Abdel-Aty et al., 2006). Mnogi autori istraživali su vezu između časovnog protoka i broj nezgoda zavisna od tipa nezgode (saobraćajna nezgoda u kojoj je učestovalo jedno ili više vozila) i uočene su razlike u rezultatima. Po nekima je veza između časovnog protoka i broja nezgoda zavisna od tipa nezgode, broja traka, doba dana nelinearna kriva koja ima različit oblik ("U", konkavan, konveksan). Iako su zaključci kontradiktorni, većina autora se složila da postoji veza između časovnog protoka i broja nezgoda, ali oblik zavisnosti nije poznat (Ceder et al., 1982; Persaud et al., 1995; Ivan et al., 2000; Chang et al., 2000).

Martin (2002) je analizirao vezu između stope nezgoda i obima saobraćaja za 2.000 km autoputa između gradova u Francuskoj za period od 2 godine. Došao je do zaključka da je broj nezgoda veći na autoputevima sa tri trake, nego na onima sa dve trake i to danima vikenda (kada je saobraćaj teških teretnih vozila zabranjen). U uslovima saobraćajnog toka kada su zastupljena i teretna vozila, primetan je veći broj nezgoda. Opšti zaključak je da ne postoji bitna razlika između nezgoda koje se dogode danju i onih koje se dogode noću sa aspekta saobraćajnog toka. Takođe, žestina nezgoda je veća noću kada je saobraćajni tok sastavljen od putničkih vozila. Rezultati analize pokazuju da je kriva prosečne raspodele nezgoda i prosečnog godišnjeg časovnog saobraćaja ista po časovima u toku dana. Varijacije časovnog intenziteta saobraćaja tokom dana su očigledne i one se kreću od 400 do 1.400 vozila po satu. Postoje časovi u kojima je saobraćajni tok veći, a uočeni su časovi sa većom frekvencijom saobraćajnih nezgoda. Ova studija je pokazala da prosečan broj nezgoda prati promene prosečnog časovnog saobraćajnog toka iz sata u sat. Kada se analizira odnos broja nezgoda i saobraćajnog toka sa aspekta dan-noć, nisu uočene značajne razlike kada je saobraćajni tok po satima ispod 3.400 vozila/času. U radu je korišćen regresioni model za uzimanje u obzir različitih promenljivih istovremeno kao što su broj saobraćajnih traka, broj saobraćajnih nezgoda, intenzitet saobraćaja, uslovi saobraćaja (dan/noć, radni radi/dani vikenda).

Qin et al., (2006) u svom radu su pokazali vezu između nastanka nezgode i časovnog protoka. Korišćen je hijerarhijski Bajesov pristup za predviđanje nastanka nezgoda za četiri tipa nezgoda (nezgoda u kojoj je učestvovalo jedno vozilo, nezgode u kojima je učestvovalo više vozila u istom pravcu, nezgode u kojima je učestvovalo više vozila u različitim pravcima i nezgode u kojima je učestvovalo više vozila na raskrsnicama) kao funkcija časovnog protoka, dužine deonice, ograničenja brzine, širine kolovoza. Bajesov pristup je kombinovan sa lancima Markova i Monte Karlo algoritmima. Rezultati su pokazali kako veza između nezgoda i časovnog protoka varira po časovima tokom dana, ali časovni protok nije linearan za sva četiri tipa nezgoda. To znači da u bilo koje doba dana nastanak saobraćajne nezgode nije proporcionalan obimu saobraćaja. Zapravo, očekivani broj nezgoda na dve deonice iste dužine sa istim prosečnim dnevnim saobraćajem i karakteristikama varira zavisno od obima saobraćaja tokom dana. Tehnika modelovanja časovne izloženosti prema tipu nezgode i doba dana primenom Bajesovog binarnog modela se pokazala kao fleksibilna i dala je bolje rezultate nego metode primenjene u ranijim modelima.

Abdel-Aty i Radwan (2000) koristili su negativnu binomnu metodu za modelovanje frekvencije saobraćajnih nezgoda. Period istraživanja je obuhvatao 3 godine (1992-1994), prostor istraživanja bio je centralna Florida, dok su uzorak činile 1.606 nezgoda na

glavnim saobraćajnicama. Pokazano je da PGDS, radijus horizontalne krivine, širina saobraćajne trake, bankine, razdelna ostrva, tip puta (ruralni, urbani), dužina deonice ima uticaj na frekvenciju saobraćajnih nezgoda. Razvijeni su razni modeli negativne binomne raspodele u analizi uticaja demografskih karakteristika vozača (pol, godine starosti) na frekvenciju saobraćajnih nezgoda. Uočeno je da su žene vozači doživele više saobraćajnih nezgoda nego muškarci kada je saobraćajni tok intenzivniji, kada je smanjena širina razdelnih ostrva i kod suženja na putu, kao i putu sa većim brojem saobraćajnih traka. Muškarci kao vozači su brojniji u saobraćajnim nezgodama gde je uzrok brzina. Model je takođe pokazao da mladi i stariji vozači učestvuju češće u nezgodama nego vozači srednjih godina u saobraćajnom toku sa većim intenzitetom vozila, smanjenim bankinama i manjim širinama.

Memon (2012) je u okviru disertacije pokazao da na nastanak saobraćajne nezgode utiču brojni faktori, koji uključuju puteve, vozila, ljudski faktor, okruženje i uslove saobraćaja. Memon je došao do zaključka da nema korelacije između frekvencije saobraćajnih nezgoda i količine putovanja (broj putovanja ili razdaljina koju vozači prelaze). Tako na primer, novembar ima najveći broj saobraćajnih nezgoda u odnosu na druge mesece, a tokom ovog meseca nije obavljeno najviše putovanja, niti je ostvarena najveća kilometraža. Isto tako, u avgustu se dogodilo najmanje nezgoda, a pređena je najveća kilometraža (putovanja za godišnje odmore uslovljavaju povećan broj pređenih kilometara, ali isto tako vožnja dece u školu uslovljava manju pređenu kilometražu). Analiza po danima pokazuje da se radnim danima događa veći broj nezgoda, a prelaze se manji broj kilometara, za razliku od dana vikenda koji broje veći broj putovanja po danu i veći broj pređenih kilometara, a manji broj nezgoda. Vikendom se prelaze veće kilometraže radi kupovine, zabave, putovanja, socijalnih aktivnosti. Na osnovu ovog zaključeno je da broj nezgoda nije proporcionalan broju putovanja, kao ni pređenoj kilometraži.

Lord i Mannering (2010) dali su pregled literature ključnih pitanja koji su povezani sa frekvencijom saobraćajnih nezgoda, ističući prednosti i nedostatke različitih metodoloških pristupa koji istraživači koriste za rešavanje ovih problema. Vremensko-prostorni aspekt analiza saobraćajnih nezgoda osigurava podatke za analizu koji su nenegativni, pa su pogodni za regresione metode prebrojavanja podataka ili primenu nekih drugih pristupa koji se zasnivaju na prebrojavanju podataka. Glavni cilj rada je da pruži savremeni pregled modela koji se koriste u analizi frekvencije saobraćajnih nezgoda i pokaže kako su se razvijali i menjali u prethodnom periodu. U radu su izneli i kritički stav o modelima, istakavši prednosti i nedostatke različitih metodoloških pristupa. Analizirajući literaturu autori su uočili potencijalne greške prilikom navođenja statističkih modela koji navode na netačne zaključke o faktorima i njihovim uticajima na frekvenciju saobraćajnih nezgoda. Rad prednost daje metodološkim inovacijama koje zahtevaju kombinacije raznih modela kako bi se unapredilo razumevanja uticaja faktora na frekvenciju saobraćajnih nezgoda.

3.4.3. Vremenske serije

3.4.3.1. Osnovni pojmovi, predmet i cilj metoda vremenskih serija

Vremenske serije su predmet značajnih istraživanja u različitim oblastima (ekonomija, medicina, meteorologija, hidrologija, poljoprivreda, demografija i dr.), a poslednjih godina našle su značajnu primenu u saobraćajnim analizama. Mnogi podaci u oblasti bezbednosti saobraćaja imaju karakteristiku vremenskih serija (skup podataka koji su raspoređeni na vremenskoj osi). Postupci neophodni za analizu bezbednosti saobraćaja uključuju i analizu podataka o nastanku nezgoda tokom vremena. Primeri takvih podataka, nazivaju se vremenske serije, i oni uključuju godišnji ili mesečni broj saobraćajnih nezgoda u nekoj državi, godišnji ili mesečni broj poginulih u saobraćajnim nezgodama, godišnji ili mesečni broj pređenih kilometara, mesečnu ili godišnju vrednost indikatora bezbednosti saobraćaja, podatke o upotrebi sigurnosnih pojaseva, konzumiranje alkohola i drugo.

Tokom protekle decenije, Poasonovi negativni binomni (NB) modeli našli su široku primenu u analizi vremenskih serija. Međutim, skorija istraživanja ukazuju da iako su osnovne pretpostavke distribucije ovih modela odgovarajuće kod podataka koji se menjaju u prostoru i vremenu, one nisu u mogućnosti da uzmu u razmatranje i efekat serijske korelacije koji je često prisutan u čistim podacima vremenskih serija.

Suštinska razlika između klasične statističke analize i analize vremenskih serija pre svega je u uzorku. Kod klasične statističke analize elementi slučajnog uzorka međusobno su nezavisni, dok kod analize vremenskih serija opservacije u uzorku nisu među sobom nezavisne jer se mora uzeti u obzir njihov vremenski poredak. Analiza vremenskih serija omogućava kvalitetno modelovanje bezbednosti saobraćaja na putevima, jer uzima u obzir zavisnost između podataka tokom analize.

Model vremenskih serija služi da se na osnovu prošlih prognoziraju buduće opservacije sa što manjom greškom. Korišćenjem raznih modela vremenskih serija izračunatu pojavu treba najpre opisati, zatim ako je moguće dati objašnjenja zašto i kako je do nje došlo, i naposljetku predvideti njeno kretanje u narednom periodu. Kako bi se ostvarili definisani ciljevi, neophodna je primena različitih metodoloških i modelskih rešenja u okviru svakog koraka. Deskripcija, koja se najčešće vrši pomoću grafičkog prikaza raspodele podataka tokom vremena, predstavlja prvu etapu na osnovu koje je moguće doneti određene zaključke (npr. da li treba primeniti i složenije statističke modele analize vremenskih serija). Objašnjenje, kao drugi cilj analize vremenskih serija, posebno je značajno kada se raspolaže sa više vremenskih serija, gde je moguće koristiti varijacije jedne serije u cilju objašnjenja varijacije u drugoj vremenskoj seriji. Jedan od pristupa je zasnovan na regresionoj analizi vremenskih serija, a drugi na analizi modela funkcije prenosa. Cilj prognoze je da se na osnovu prošlih opservacija identifikuje i oceni model vremenske serije, koji se potom koristi za formiranje prognoze budućih vrednosti serije. Radi postizanja cilja kontrole analize, gradi se model funkcije prenosa vremenske serije, a na osnovu njega formira se prognoza. Zatim se ulazna serija prilagođava tako da izlazni proces bude blizu željenog cilja. Za postizanje navedenih ciljeva na raspolaganju je širok

skup statističkih testova i kriterijuma pomoću kojih se verifikuje valjanost korišćenog prognostičkog modela u poređenju sa drugim konkurentskim modelima (Kovačić, 1995).

3.4.3.2. Vrste i izbor modela vremenskih serija

Metode analize vremenskih serija moguće je klasifikovati korišćenjem različitih kriterijuma. Osnovna podela različitih metoda analize vremenskih serija vezana je za domen analize. Sa tog aspekta razlikuju se metode analize vremenskih serija kod kojih se analiza obavlja u vremenskom domenu i one kod kojih se analiza obavlja u frekventnom domenu (Hamilton, 1994; Pollock et al., 1999).

Prilikom primene metodologije vremenskih serija, istraživačima često osnovni problem predstavlja izbor pogodnog teorijskog modela. Izboru odgovarajućeg modela prethodi ispitivanje osobine predmetna vremenska serija podataka i kako da se te osobine odražavaju na izbor modela. Ne postoji uputstvo koji model je najbolji, ali dobro odabran teorijski model omogućava ne samo precizno izučavanje postojeće serije podataka, već i prognozu njenog budućeg toka. Stoga je potrebno da se odabrani model što je moguće bolje slaže sa konkretnim podacima. Pre izbora samog modela moraju se dobro poznavati osobine tipa modela, a zatim proveriti da li te osobine postoje i u konkretnoj vremenskoj seriji. Kada se odabere tip modela onda se pristupa određivanju, odnosno ocenjivanju parametara modela koristeći vremensku seriju. Prilikom izbora modela najčešće se kao prvi kriterijumi koriste osobina ponašanja korelacionih funkcija (odnosno koeficijenata korelacije) i ponašanja parcijalnih korelacionih funkcija (odnosno koeficijenata parcijalne korelacije). To znači da pre pristupanja izboru modela treba utvrditi uzorački koeficijent korelacije, kao i uzoračke parcijalne korelacione funkcije (Hamilton, 1994; Kovačić, 1995; Pollock et al., 1999).

Kod analiza u vremenskom domenu postoji više modela koji su prikazani i korišćeni u literaturi. Kovačić (1995) je u svojoj knjizi prikazao najčešće primenjivane metode (Metod dekompozicije, Jednostavno eksponencijalno izravnjanje, Holt-Vintersov metod, Strukturni modeli, Boks-Dženkinsov metod, Metod stepenaste autoregresije, Parzenovi ARARMA modeli, Bajesov metod) ističući njihove prednosti i nedostatke.

3.4.3.3. Primena modela vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja

Vremenske serije u oblasti bezbednosti saobraćaja koriste se za opis, pojašnjavanje i predviđanje trendova za određeni period vremena. Pregled literature vremenskih serija koji je dao u svom radu Commandeur et al. (2013), a tiče se istraživanja u oblasti bezbednosti saobraćaja koje su primenjivane na nacionalnom nivou u Evropi od 1980, ističu napredak u oblasti tehnika vremenskih serija od deskriptivnih analiza do nezavisnih modela (Bergel-Hayat, 2008; 2012), pa od determinističkih do stohastičkih modela pod okriljem strukturnih modela (Harvey, 1989; Commandeur and Koopman 2007; Bijleveld et al. 2008; Commandeur et al., 2011; Durbin and Koopman 2012). Stvarne vrednosti modela vremenskih serija, kao što je autoregresivni integrisan pokretni prosek (ARIMA) model, predstavljen od strane Boks-a i Dženkinsa primenjivan je u mnogim analizama proteklih par

decenija (Houston and Richardson, 2002; Liu and Chen 2004; Van den Bossche et al., 2004; Goh, 2005; Noland et al., 2006; Dupont and Martensen, 2007; Commandeur et al., 2007; Stipdonk, H.L., 2008; Ramstedt, 2008; Quddus, 2011; Commandeur et al., 2013).

Commandeur et al. (2013) u okviru svoga rada, a vezano za klasične tehnike koje se primenjuju u analizi vremenskih serija su istakli da klasični modeli linearne regresije nisu se pokazali kao dobra tehnika, jer ne rešavaju probleme zavisnosti u vremenskim serijama. Generalizovani linearni modeli (Dobson, 1990; Gill, 2000) koriste se u cilju prevazilaženja nekih od postojećih ograničenja klasičnih modela linearne regresije. Ovi modeli su mnogo fleksibilniji nego modeli klasične linearne regresije, u smislu da oni dozvoljavaju da podaci imaju i druga svojstva raspodela ne samo Gausove, te su pogodniji za druge vrste raspodela. Oni ne uključuju samo normalnu raspodelu, koja je neophodna za klasične modele linearne regresije, već uzimaju u obzir Poasonovu i negativnu binomnu raspodelu (Commandeur et al., 2013). Upotrebom nelinearnih modela (Bates and Watts, 1988) prevazilaze se i druga ograničenja klasičnih modela linearne regresije. Commandeur et al., 2013, ističu da treba biti oprezan i sa nelinearnim modelima, jer i oni mogu dovesti do serijske korelacije reziduala, ali ovaj problem se može rešiti posebnim korekcijama. Yannis et al., (2011) su na primer dodali autoregresivne komponente nelinearnim modelima za analizu nezgoda sa poginulima u 17 Evropskih zemalja. Ovako modifikovan model se smatra nenamenskim modelom (*eng. Dedicated techniques model*).

Najvažniji nedostatak analize vremenskih serija, koji se zasnivaju na klasičnom linearnom modelu, generalizovanom linearnom modelu i nelinearnim modelima, je taj što ne uzimaju u obzir vremensku zavisnost između uzastopnih observacija vremenske serije. U cilju rešavanja ovih nedostataka razvijene su namenske tehnike vremenskih serija kao što su ARMA (autoregressive moving average), posebni slučajevi DRAG, i prostorni modeli (state space models). ARMA i prostorni modeli su dva najčešća modela koja se koriste u analizi vremenskih serija indikatora bezbednosti saobraćaja (Bergel-Hayat, 2012). Postoje različiti modeli predviđanja nezgoda koji su se razvili na osnovi ekonometrijskih modela kao što su ARIMA ili SARIMA (Houston and Richardson, 2002; Noland et al., 2006), negativni binomni, negativni binomni sa vremenskim trendom i INAR (integer-valued autoregressive) Poasonovi modeli (Quddus, 2011), NARX auto-regresivni egzogen model (non-linear auto-regression exogenous regression models NARX) (Sukhaia et al., 2011).

ARMA (u slučaju stacionarnih podataka) i **ARIMA modeli** (*autoregressive integrated moving average*) primenjuju se kod nestacionarnih podataka, koji su česti u oblasti bezbednosti saobraćaja, a omogućavaju opisivanje dinamike vremenskih procesa i predviđanje, bez uzimanja dodatnih promenljivih sa samo jednom pretpostavkom, a to je da će dinamički proces ostati nepromenjen tokom predviđanja. Nezavisne i „intervention variables“ takođe mogu biti uključene u model ARMA i ARIMA, dok se odgovarajući regresioni koeficijent može proceniti i tumačiti.

Izuzimajući nelinearnu transformaciju promenljivih, **DRAG model** može se smatrati kao primena posebnog slučaja ARMA modela, AR model sa nezavisnim promenljivama, specijalno napravljen za analizu bezbednosti saobraćaja. DRAG model ima najmanje tri nivoa (izloženost, rizik od nezgoda i težinu nezgode). Trend i sezonske karaktersistike ne uklanjaju se filtriranjem podataka, ali se modeluju uvođenjem brojnih nezavisnih

promenljivih koje su u vezi sa izloženošću, ekonomski faktori, prolazni faktori, faktori ponašanja ili faktori mera bezbednosti saobraćaja. Primena određene nelinearne transformacije, tzv. Boks–Koks transformacije (Box and Cox, 1964), omogućava fleksibilan oblik veze između zavisne i bilo koje nezavisne promenljive, ali iz različitih razloga ovakav način transformacije se ne primenjuje sistematski. Iako DRAG modeli imaju moćan teorijski okvir, primena zahteva postojanje opsežnih baza podataka (Gaudry and Lassarre, 2000), a to je i glavni razlog zašto nije laka njihova primena na podacima o bezbednosti saobraćaja u zemljama EU. Jedan od nedostataka ovih modela je što izloženost, rizik od nezgoda i težinu posledica ne modeluju istovremeno, a i Boks–Koks transformacije mogu dovesti do problema prilikom identifikacije i interpretacije podataka (Commandeur et al., 2013).

Noviji modeli u oblasti analize vremenskih serija poznati su kao strukturni modeli vremenskih serija. Oni se takođe nazivaju i neispitanim modelima komponenti ili prostornim modelima (state space). Kod strukturnih modela vremenskih serija sprovodi se dekomponovanje na manji broj komponenti. Pretpostavlja se da su ove komponente slučajne, što znači da se mogu menjati tokom vremena, a one se procenjuju kako bi se dobio najbolji opis serije. Kao što je to slučaj kod ARIMA pristupa, nezavisne i „intervention“ promenljive se mogu dodati kako bi se pronašla pojašnjenja za posmatranu seriju. Za razliku od ARIMA modela, kod strukturnih vremenskih serija trend i sezonske karakteristike se ne filtriraju već se modeluju. Modeli strukturnih vremenskih serija se svode na klasične modele linearne regresije kada se posmatrane komponente tretiraju kao determinističke, na taj način moguće je lako uporediti statističke osobine strukturnih modela vremenskih serija sa onima iz modela linearne regresije (Commandeur et al., 2013). Prednosti primene state-space modela pokazali su Antoniou and Yannis (2013) u okviru istraživanja sprovedenim na makroskopskim podacima o saobraćajnim nezgodama u Grčkoj.

3.4.3.4. Pregled rezultata najznačajnije literature iz oblasti vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja

Mnogi istraživači su se bavili primenom vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja. U nastavku dat je kraći pregled primena metoda vremenskih serija u najznačajnijim naučnim radovima i projektima iz oblasti bezbednosti saobraćaja.

Commandeur et al. (2013) su imali za cilj da pokažu uticaj nepodudaranja kod primene standardnih metoda statističkog zaključivanja, koji dovode do podcenjivanja ili precenjivanja standardne greške, a što može da navede na pogrešne zaključke. Ovaj rad se smatra za *“state of the art”* iz oblasti primene vremenskih serija u analizi bezbednosti saobraćaja. Pošto su utvrđeni problemi zbog ignorisanja međuzavisnosti kod vremenskih serija, u radu su opisane rigorozne statističke tehnike koje se koriste za prevazilaženje ovih problema. Pokazano je da tradicionalni regresioni modeli (linearni, generalizovani linearni ili nelinearni) ne opisuju dobro zavisnost između podataka u vremenskim serijama. U radu je prikazana primena tehnika vremenskih serija tipa ARMA i DRAG, praćena strukturnim modelima vremenskih serija, koji predstavljaju podklase prostornih metoda. U radu su date preporuke i praktični saveti za upotrebu modela vremenskih serija u istraživanjima u

oblasti bezbednosti saobraćaja. Ulazni podaci za testiranje klasičnih modela linearne regresije bile su saobraćajne nezgode sa poginulima u Norveškoj u periodu od 1970-2009. (40 godina).

Kod testiranja ARIMA modela korišćeni su sledeći nestacionarni podaci bezbednosti saobraćaja:

- godišnji broj saobraćajnih nezgoda sa poginulima od 1970. do 2009. godine u Norveškoj
- mesečni broj poginulih i teško povređenih vozača u Velikoj Britaniji od januara 1969. do decembra 1984. i
- broj povređenih i poginulih u Francuskoj od januara 1975. do decembra 2000.

Zaključak rada je da su modeli klasične linearne regresije najjednostavniji za primenu, ali ova tehnika ne oslikava najbolje zavisnost između uzastopnih posmatranja, te se kao rezultat pojavljuju reziduali modela. Standardna greška neophodna za primenu statističkih testova i izbor intervala poverenja se zasnivaju na pretpostavci nezavisnosti reziduala. Ako ova pretpostavka nije zadovoljena, standardna greška će biti mala, što dovodi do toga da su intervali poverenja mali te su suviše optimistički zaključci o odnosima između promenljivih. Iako su mnogo fleksibilniji od klasičnih modela linearne regresije, standardni generalizovani modeli i nelinearni modeli takođe često pogrešno uzimaju zavisnost između podataka vremenskih serija. Kako bi rešili ove probleme primenjuju se namenske tehnike vremenskih serija. Bez obzira na razlike, pokazano je da osnovne metode koje se koriste kod strukturnih modela vremenskih serija i ARMA modela, imaju mnoge sličnosti, a ponekad čak mogu se smatrati i identičnima. Mnogi modeli su identični kod drugih prikaza, ali sa drugim parametrima. U praksi to znači da se proces identifikacije može završiti formalno različito, ali bez statističkih razlika.

Značaj metoda vremenskih serija pokazuje i projekat FP6 (Work Package 6) *SafetyNet* koji je posvećen upravo primeni vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja. U okviru programa, posebno u okviru metodoloških izveštaja i priručnika mogu se pronaći detaljne informacije i koraci razumevanja primene vremenskih serija u oblasti bezbednosti saobraćaja. Iz ovog programa izdvajaju se četiri dokumenta:

1. Višedimenzionalno modelovanje i vremenske serije u oblasti istraživanja bezbednosti saobraćaja – Metodologija, D7.4
2. Višedimenzionalno modelovanje i vremenske serije u oblasti istraživanja bezbednosti saobraćaja – Priručnik, D7.5
3. Multivarijantna analiza vremenskih serija primenjena na podatke *SafetyNet*-a, D7.7
4. Primena vremenskih serija u razvoju bezbednosti saobraćaja u Evropi. D7.10

SafetyNet projekat je koncipiran u cilju osnivanja Evropske opservatorije za bezbednost saobraćaja (European Road Safety Observatory). Podaci su dobijeni iz CARE baze podataka i čine podatke o indikatorima rizika bezbednosti saobraćaja, podatke o performansama bezbednosti saobraćaja i dubinske podatke o saobraćajnim nezgodama. Jedan od osnovnih ciljeva WP7 projekta je da razvije metodologiju najbolje prakse analize podatka koji zahtevaju primenu dodatnih alata u odnosu na klasične statističke alate.

Standardne statističke metode mogu dovesti do pogrešnih zaključaka, jer potcenjuju standardnu grešku statističkih testova. Kako bi se izbegli ovi problemi u okviru dokumenta D7.4 i D7.5 obrađene su dve grupe statističkih tehnika. Jedna od tehnika je višestruko modelovanje (eng. *Multilevel Modelling*) koja se koristi kod analize podataka koji su hijerarhijski strukturirani, a druga je tehnika vremenskih serija koja se primenjuje za prevazilaženje problema zavisnosti u podacima u vremenu. Pomoću njih je moguće opisivanje promena tokom vremena koje se odnose na nastanak nezgoda kao što su nezavisni faktori kojima se meri izloženost ili indikatori bezbednosti saobraćaja (brzina, upotreba sigurnosnih pojaseva, upotreba alkohola), kao i predviđanje broja nezgoda u bliskoj budućnosti.

U okviru izveštaja D7.4 (Dupont and Martensen, 2007a) dat je teorijski prikaz ove dve tehnike. Za svaku tehniku dati su ciljevi, formulacije modela, pretpostavke. Primena tehnika je ilustrovana na empirijskim podacima iz istraživanja bezbednosti saobraćaja. Dokument D7.5 (Dupont and Martensen, 2007b) je priručnik metodologije prikazane u okviru projekta D7.4. Za svaku prikazanu tehniku data su uputstva i primena na konkretnim primerima. Podaci se odnose na broj saobraćajnih nezgoda, izloženost i indikatore bezbednosti saobraćaja.

Projekat D7.7 (Commandeur et al., 2007) je dopuna projekata D7.4 i D7.5, kroz primenu teorije i metoda u okviru WF7 SafetyNet projekta. Primena metoda je pokazana na realnim problemima iz oblasti bezbednosti saobraćaja, uz korišćenje podataka o bezbednosti saobraćaja iz Francuske i Holandije. Pokazano je kako su intenzitet saobraćaja, broj nezgoda, broj povređenih u vezi sa izloženošću, saobraćajnim rizikom, rizikom od povreda, a procenjuju se na osnovu neopaženih komponenti: trenda (nivo, nagib) i sezonskog uticaja. Multivarijantni strukturni modeli vremenskih serija su primenjeni na agregiranim podacima na nacionalnom nivou evropskih zemalja (sa ciljem poređenja nivoa bezbednosti saobraćaja u ovim zemljama), i na neagregiranim podacima unutar zemalja. Pokazano je da je primena multivarijantnog modela na agregiranim podacima od velike koristi za praćenje stanja bezbednosti saobraćaja i komparacije među zemljama Evropske unije. U svim slučajevima korišćeni su kvartalni podaci. Posebno je primenjen multivarijantni model vremenskih serija za analizu podataka iz Francuske i Holandije. Primenjen je model sa tri nivoa na dva različita puta u Francuskoj, i na nekoliko tipova nezgoda sa teško povređenima u Holandiji.

Predstavljeni modeli u ovom izveštaju su od posebnog značaja za donosiocce odluka, jer su pogodni za rad sa podacima u kojim se pojavljuju neizvesnosti i šumovi u vremenskim serijama, kao i za rad sa vremenskom zavisnošću između posmatranja. Oni daju odgovore kreatorima politike bezbednosti saobraćaja:

- Kakvo je stanje bezbednosti saobraćaja, dok razjašnjavaju izloženost, rizik od nezgoda, rizik od pogibije?
- Kakav je efekat mera na bezbednost saobraćaja?
- Kakav nivo bezbednosti saobraćaja možemo da očekujemo u budućnosti?
- Da li sadašnje ili prošlo stanje iz bezbednosti saobraćaja predstavlja prekid trenda iz prošlosti ili ne?
- Kako se različite vrste rizika saobraćajnog sistema mogu porediti međusobno i kako se menjaju u vremenu?

Pravci daljih istraživanja su proširenje opisanih multivarijantnih modela, kako bi se utvrdio i procenio efekat nezavisnih promenljivih na razvoj modela izloženosti, rizika od nezgoda i rizika od pogibije. Pored toga dalja istraživanja su usmerena ka utvrđivanju da li procenjena varijansa i kovarijansa modela sa tri nivoa sadrži iste komponente (nivo, nagib ili sezonalitet). Krajnji cilj je mogućnost primene modela u obliku dinamičke analize glavnih komponenti, uključujući sve moguće uobičajene interpretacije u glavnim statističkim komponentama. Jedna od primena je identifikacija istih trendova bezbednosti saobraćaja u zemljama Evropske unije.

Dokument D7.10 (Stipdonk, 2008) sastoji se iz tri dela. U prvom delu dat je pregled rezultata svih analiza vremenskih serija, kao i ciljevi, metode i rezultati. U drugom poglavlju dokumenta diskutovane su tri značajne promenljive koje se posebno ističu u analizama iz oblasti bezbednosti saobraćaja (izloženost, rizik od nezgoda i posledice nezgoda). Prikazana je primena vremenskih serija u analizi bezbednosti saobraćaja, gde su na tri načina objašnjena kretanja u oblasti bezbednosti saobraćaja:

- Analiza Evropskih podataka na nacionalnom nivou, kako bi se analizirale razlike između Evropskih zemalja,
- Analiza podataka prema podgrupama (godine starosti, pol, vid transporta itd.), kako bi se bolje razumele globalne promene u oblasti bezbednosti saobraćaja,
- Analiza uticaja zajedničkih spoljnih faktora na bezbednost saobraćaja, kao što su vremenski uslovi, zakonski propisi ili promene u putnoj infrastrukturi.

Liu i Chen (2004) u okviru istraživanja su koristili dve tehnike vremenskih serija i to Holt-Vinters (HW) i ARMA kako bi predvideli broj nezgoda sa poginulima. Izvor podataka je bila baza podataka FARS (*eng. Fatality Analysis Reporting System*) za period od 1975. do 2001. i predviđeno je 42.675, odnosno 42.876 u 2002. godini. Rezultati su pokazali da su procene dosta bliske stvarnim vrednostima.

Van den Bossche i dr. (2004) su u okviru studije razvili regresivni model sa ARIMA greškom kako bi analizirali frekvenciju i težinu saobraćajnih nezgoda u Belgiji. Cilj studije je bio da se poboljša razumevanje dostignuća u oblasti bezbednosti saobraćaja proučavanjem uticaja različitih nezavisnih promenljivih na bezbednost saobraćaja. Model je proveravao uticaj vremenskih uslova, ekonomskih uslova i pravnih propisa na bezbednost saobraćaja. Cilj modela je prognoza frekvencije i težine nezgoda za 12 meseci 2000. godine. Korišćeni su podaci o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile na području Belgije u periodu januara 1974. do decembra 1999., dok se predviđao broj nezgoda za 2000. Primenjenim modelom regresije sa ARIMA greškom, meren je uticaj promenljivih na bezbednost saobraćaja, dok je istovremeno uticaj nepoznatih faktora obuhvaćen terminom greške. Rezultati su pokazali značajan uticaj vremenskih uslova i zakonskih propisa na bezbednost saobraćaja, dok je statistički zanemarljiv uticaj ekonomskih uslova. Pokazano je da se model može upotrebiti za predviđanje bezbednosti saobraćaja, jer se rezultati dobro uklapaju u 95% nivo pouzdanosti.

Kod modelovanja nenegativnih celobrojnih vrednosti podataka, kao što su na primer saobraćajne nezgode na raskrsnici u nekom vremenu, Boks i Dženkinsov model nije

prikladan za upotrebu i to u većini slučajeva zbog normalnosti pretpostavljenih grešaka u ARIMA modelu. Tokom poslednjih par godina, razni autori proučavali su primenu nove klase modela vremenskih serija poznate kao celovrednosni autoregresivni (INAR) Poasonov model. Ova klasa modela posebno je primenljiva za analizu podataka u vremenskim serijama pošto ovi modeli imaju osobine Poasonove regresije i sposobni su da se nose sa serijskim korelacijama, pa samim tim pružaju alternativu modelima vremenskih serija.

Ramstedt (2008) je imao za cilj da pokaže u kojoj meri promene u konzumiranju alkohola utiče na broj nezgoda u SAD tokom perioda (1950-2002.), primenom metode vremenskih serija, a rezultate je pokušao da uporedi sa podacima u Evropi i Kanadi. Rezultati vremenskih serija pokazuju da konzumiranje alkohola znatno utiče na broj nezgoda u kojima su učesnici muškarci naročito vozači motornih vozila u SAD. Ovaj efekat je najizraženiji za starosnu grupu od 15 do 34 godine. Velika gustina saobraćajnog toka i visoke zakonske granice dozvoljenog nivoa alkohola u krvi objašnjavaju jaku povezanost između alkohola kao uzroka i broja saobraćajnih nezgoda. Rezultati pokazuju da smanjenje potrošnje alkohola po glavi stanovnika može imati veliki uticaj kao preventivna mera na broj saobraćajnih nezgoda kod mlađih muškaraca. U radu je primenjen Boks i Dženkinsov model (1976) (ARIMA modelovanje) kako bi se procenila veza između potrošnje alkohola i broja poginulih u saobraćajnim nezgodama.

Quddus (2011) je u svom radu predstavio klasu INAR modela za analizu vremenskih serija saobraćajnih nezgoda u Velikoj Britaniji. Razmatrani su različiti tipovi vrsta podataka: podaci vremenskih serija u kojima su posmatrane prostorne i vremenske jedinice relativno velike (npr. Velika Britanija i godine) i deo podataka vremenskih serija gde su obe prostorne i vremenske jedinice relativno male (npr. naplata u zoni gužve i meseci). Glavni cilj rada je bio da se pronađe najbolji model za procenu nezgoda za svaki tip vrste podataka vremenskih serija. Karakteristike INAR modela su upoređivane sa klasom Boks i Dženkinsov modela. Rezultati ukazuju da su karakteristike ove dve klase modela slične u pogledu koeficijenta procene i krive poklapanja kod modela gde su prostorne i vremenske jedinice velike. To je zato što je srednja vrednost podataka velika i u tom slučaju vrednosti ARIMA modela mogu biti zadovoljavajuće. Međutim, utvrđeno je da su karakteristike INAR Poasonovog modela bolje od ARIMA modela kada su vremenske i prostorne jedinice male, jer je manji broj podataka. Ograničenja kod primene INAR modela su u pogledu sezonskih karakteristika i heterogenosti podataka. Agregirani podaci koji su korišćeni su broj saobraćajnih nezgoda sa poginulima u Velikoj Britaniji od 1950. do 2005. Ukupan broj posmatranja je 55 godina, gde je srednja vrednost 5.769 saobraćajnih nezgoda, a standardna devijacija ovih procesa vremenskih serija je 1.352. Kod analize vremenskih serija uzet je u obzir i broj pređenih kilometara kao i uvođenje zakona 1983. godine o obaveznom korišćenju sigurnosnih pojava kako bi se smanjila težina saobraćajnih nezgoda, dok su kazneni poeni za nesmotrenu vožnju, vožnja sa osiguranjem i sigurnosni pojas za decu postali obavezni zakonom iz 1989. godine. Model za predviđanje je uzimao u obzir ove dve intervencije na nastanak saobraćajnih nezgoda, kao i uticaj pređenih kilometara. Neagregirani podaci korišćeni za testiranje modela su mesečni broj povređenih između januara 1991. i oktobra 2005. unutar Londonske zone za naplatu gužve. Model je razmatrao uticaj uvođenja zone naplate na broj saobraćajnih nezgoda. Zaključak rada

zasnovan na rezultatima modela je da je ARIMA model najbolji kod predviđanja nezgode, za slučaj agregiranih podataka kod vremenske serije. Rezultat ove činjenice leži u tome jer je ARIMA model sposoban da uzme u obzir serijsku korelaciju i nestacionarnost koja je prisutna u vremenskoj seriji agregiranih podataka. Zaključeno je da je primena INAR(1) Poasonovog modela dobra kod predviđanja broja nezgoda kod neagregiranih podataka posebno ako je vremenski interval između posmatranja kratak (kao što je dan, sedmica ili mesec). Pokazano je da nijedan NB model (sa trendom i bez njega) ne odgovara modelu za serijsku korelaciju vremenskih serija, jer ovi modeli nisu u mogućnosti da uzmu u obzir efekte serijske korelacije podataka. Autori ističu da su potrebna dalja istraživanja kako bi se u potpunosti shvatile razlike u učinku između ARIMA i INAR modela.

Pei i dr. (2011) razvili su model zajedničkih verovatnoća „joint probability model“ koji služi za integraciju predviđanja nastanka nezgoda i težine nezgoda u jedan okvir. Za procenu efekata nezavisnih faktora primenjeni su Markovski lanci Monte Karla (the Markov chain Monte Carlo - MCMC) i potpun Bajesov metod. Kao interpretacija svrsishodnosti predloženog modela zajedničkih verovatnoća, studija slučaja je sprovedena na riziku od nastanka nezgode na signalisanim raskrsnicama u Hong Kongu. Rezultati studije su pokazali da predloženi model pokazuje dobre statističke karakteristike i pruža analizu uticaja nezavisnih faktora na nastanak nezgode na raskrsnicama.

Predloženi model zajedničkih verovatnoća je manje komplikovan za razliku od multivarijantnih modela za prebrojavanje podataka u pogledu korelacije između učestalosti nezgoda i težine nezgode. Predloženi model zahteva manji broj podataka nego kondicionalni model. Na kraju rada autori su predložili proširenje primene modela na druge entitete puta i vrste nezgoda.

Sukhaia i dr. (2011) su istakli da multivarijantni regresioni modeli mogu da posluže za ispitivanje varijacija između broja saobraćajnih nezgoda sa poginulima po sedmicama. Negativna binomna raspodela je dobra, ali ako postoji serijska korelacija između promenljivih onda nije pogodan model. Takođe INAR Poasonov model je bolji od negativne binomne raspodele, ali ako je uočljiv sezonski uticaj na podatke što je slučaj kod malih uzoraka podataka on ima svoja ograničenja (Brijs et al., 2008). Pošto podaci o broju nezgoda sa poginulima imaju sezonski uticaj pogodnija je primena modela iz porodice ARIMA (Quddus, 2008; 2011). Za potrebe ove studije autori su koristili nelinearni auto-regresivni egzogen model (NARX) kako bi ispitali varijacije broja nezgoda sa poginulima po sedmicama koristeći uobičajenu regresiju najmanjih kvadrata. Očekivani broj poginulih tokom sedmice računat je za provincije na osnovu prosečnog broja stanovništva u odnosu na pol i starost za prokrajine, zatim je pretvoren u prirodni logaritam i modifikovan u regresioni model. Sve kontinualne varijable prediktora su takođe pretvorene korišćenjem prirodnog algoritma i na taj način je model unapređen. Ovaj model je sličan ARIMI koji su našli veliku primenu u oblasti analize broja nezgoda.

U okviru rada prikazana je varijacija broja nezgoda po danima u sedmici i uticaj pojedinih faktora. Uviđeno je da broj nezgoda raste od kraja aprila, a najviše nezgoda se dešava od kraja novembra do decembra. Pokazano je da su potrošnja goriva po mesecima, koncentracija alkohola u krvi, kao i školski praznici statistički značajni prediktori varijacije nezgoda sa poginulima na putevima. Lako se uočava da je decembrom najveća potrošnja goriva, a takođe i koncentracija alkohola u krvi što autori objašnjavaju praznicima.

Primenom NARX modela za ispitivanje uticaja ovih faktora na vremenskim varijacijama broja nezgoda sa smrtnim ishodom autori su došli do zaključka da iako su oni bili vođeni uticajem obima saobraćaja na nastanak nezgoda, trebalo bi u budućim studijama posvetiti pažnju uticaju alkohola na nastanak nezgoda.

Bergel-Hayat, R. (2012) je u svom radu prikazao istorijski pregled razvoja raznih modela vremenskih serija koji su se zasnivali na podacima o saobraćajnim nezgodama, riziku i njihove primene u Evropskim zemljama. U poslednjem delu rada dat je pregled modelovanja broja saobraćajnih nezgoda koja su rađena u okviru evropskog projekta FP6 pod nazivom „*SafetyNet—Building the European Road Safety Observatory*”, za vremenski period od 2004. do 2008. U radu su date preporuke za upotrebu modela koji se zasnivaju na vremenski zavisnim promenljivama. Podaci za testiranje modela dobijeni su iz nacionalnih baza podataka o saobraćajnim nezgodama Francuske, Holandije i Grčke. Pokazani su različiti načini na koje se izloženost rizika uključuje u modele sa ciljem komparativne analize trendova.

Antoniou i Yannis (2013) razvili su multivarijantni state-space model za analizu i prognoziranje makroskopskih podataka iz oblasti bezbednosti saobraćaja. Podaci o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile u Grčkoj za 52 godine (1960-2011.) su bili ulazni parametri. Metodologija je obuhvatala razvoj modela (*eng. latent risk time-series - LRT*) koji predstavlja unapređen model SUTSE (*eng. unrelated time series equations*) i model lokalnog linearnog trenda. Meru izloženosti su posmatrali kroz broj vozila na osnovu koga su modelovali rizik od pogibije. U obzir su uzeli i tri intervencije koje su imale uticaj na bezbednost saobraćaja u Grčkoj (finansijska kriza 1986., zamena starih vozila 1991. i nova definicija saobraćajnih posledica 1996.). Rad je pokazao prednosti primene naprednog modelovanja pomoću state-space tehnika u odnosu na dosadašnje tradicionalne modele vremenskih serija (linearne regresije, nelinearne regresije).

3.5. PROSTORNO-VREMENSKI MODELI

Istraživanja prostorno-vremenskih (*eng. spatial-temporal*) šablona saobraćajnih nezgoda postala su aktuelna poslednjih godina (Li et al., 2007; Plug et al., 2011; Prasannakumar et al., 2011; Blazquez and Celis, 2012). Metode za identifikaciju i vizuelizaciju vremenskih opasnih mesta (npr. raspodela frekvencija saobraćajnih nezgoda po časovima i uočavanje opasnih sati) nisu bile značajno zastupljene u prethodnom periodu istraživanja. Jedan od najvažnijih pokazatelja za donosioca odluke je gde i kada sprovesti određene mere sa ciljem povećanja bezbednosti saobraćaja. Kao što je već pokazano u ranijim istraživanjima fluktuacija broja nezgoda (stopa nezgoda) u različitim vremenskim jedinicama (čas, dan, mesec i godina) sama po sebi je nepotpuna i nedovoljna, kao i frekvencija broja nezgoda na nekom prostoru posmatranja (kilometru, deonici, zoni). Ovo jasno ističe važnost veze raspodele broja nezgoda u prostoru i vremenu kao i značaj njihovog zajedničkog predstavljanja. Poslednjih godina u prostornim analizama napredak predstavlja primena GIS. GIS metodologija ima sposobnost manipulacije sa raznim podacima o saobraćajnim nezgodama na jednostavan način, a daje mogućnost prikazivanja

raspodele nezgoda u prostoru za željene jedinice vremena. Na ovaj način ostvaruje se veza između vremenske i prostorne raspodele nezgoda (Liang, 2005; Erdogan et al., 2008; Prasannakumar et al., 2011; Schultz et al., 2012;). Pošto su saobraćajne nezgode događaji koji se mogu predstaviti u vremenu i prostoru u vidu tačaka, uočen je problem preklapanja podataka na mapama (više tačaka na istoj lokaciji) što može da dovede do pogrešnih zaključaka kod vizuelne procene. Kako bi se otklonio ovaj nedostatak značajnu primenu je našla Kernelova analiza koja računa gustinu saobraćajne nezgode za određeno područje (Sabel et al., 2005; Anderson, 2009; Bíl et al., 2013). Izlazni rezultat analize su rasterske mape na kojima se uočavaju površine u raznim bojama koje predstavljaju određeni interval nezgoda. Takođe prostorna autokorelacija primenom Moranov I metoda, dok se za mapiranje klastera pored Kernelove gustine primenjuje i *Getis-Ord GI*funkcija*.

Bajesov pristup našao je široku primenu u statistici i nauci tokom poslednje godina. Jedna od glavnih prednosti je mogućnost predviđanja rizika čak i na osnovu retkih podataka i događaja. Bajesova metoda našla je primenu i u oblasti bezbednosti saobraćaja gde se koristi za predviđanje rizika u saobraćaju i frekvencije nezgoda (Miaou and Song, 2005; Hauer, 1992). Primena GIS regresione analize i Bajesovog metoda je korišćena u analizama predviđanja rizika i mapiranja nezgoda (Li et al., 2007).

Li et al., (2007) analizirali su nezgode u kojima su učestvovala putnička vozila u gradovima u petogodišnjem periodu koristeći GIS i prostorno-vremenske obrasce relativnog rizika saobraćajnih nezgoda zasnovane na Bajesovom pristupu. Cilj vremensko-prostorne analize bio je da prikaže raspodele relativnog saobraćajnog rizika po danima i časovima. Na ovaj način su identifikovane i rangirane deonice puta koje imaju potencijalno visok rizik od nastanka nezgode, na kojima je neophodno sprovesti mere prevencije. Bajesov model prostornog izravnjavanja je pogodan u proceni relativnog rizika, jer eliminiše promene trendova. Pomoću 3D mapa prikazane su deonice puta na koje treba sprovesti mere unapređenja bezbednosti saobraćaja. Rezultati GIS-Bajesovog pristupa pored gradskih vlasti korisni su i za putnike koji žele izabrati bezbedne rute koje će ih odvesti do odredišta putovanja. Vremenske analize pokazale su da se najveći broj nezgoda događa petkom, dok je najmanji broj zabeležen nedeljom. Subota je drugi dan sa najvećim brojem saobraćajnih nezgoda. Putovanja se radnim danima najčešće obavljaju zbog odlaska na posao, stoga je promena broja nezgoda stabilna od ponedeljka do četvrtka. Petkom ljudi posle putovanja na posao i sa posla idu na duže relacije kako bi proveli neradne dane u odmoru. Manji broj nezgoda nedeljom se objašnjava time što ljudi tada odmaraju kući i pripremaju se za početak radne sedmice. Prosečan broj pređenih kilometara bio je niži nedeljom, a najveći petkom. Raspodela relativnog rizika po danima pokazuje da subota ima najveću vrednost relativnog rizika, a zatim slede nedelja i petak. Raspodela relativnog rizika od utorka do četvrtka je ista. Razlike u raspodeli relativnog rizika po godinama pokazuje da različite godine imaju različite vrednosti rizika. Časovna analiza pokazuje da raspodela nezgoda danima vikenda i petkom je izražena u periodu od 7 do 9 časova pre podne, kao i od 3 do 7 sati posle podne, što se poklapa i sa raspodelom prosečnog broja pređenih kilometara. Dani vikenda imaju dva vršna perioda jedan od 1 do 3 sata ujutru, a drugi od 1 do 5 sati posle podne, dok prosečan broj pređenih kilometara nema pikove rano ujutro. Dijagram relativnog rizika saobraćajnih nezgoda po danima pokazuje da je rizik veći rano ujutro (od 1 do 4 sata posle ponoći), a dani vikenda su manje

bezbedni od radnih dana. Najveći rizik (veći od 4) je zabeležen između 2 i 3 sata ujutro subotom i nedeljom. Rizik je u istom časovnom periodu takođe najveći (veći od 1) i radnim danima. Takođe je zapaženo da je rizik veći od 1 u periodu od 10 sati posle podne do 4 sata ujutro. Ova pojava se može objasniti smanjenjem vidljivosti usled mraka, nedostatkom osvetljenja, umorom vozača, ili čak vozačima pod dejstvom alkohola. Najmanji rizik je radnim danima u periodu od 5 do 6 sati posle podne. Kad se u obzir uzme i prostorna analiza, rizik je raširen po svim deonicama puteva, od predgrađa do gradskih saobraćajnica, međunarodnih autoputeva i putava manjeg značaja. Rezultati su pokazali da je relativni saobraćajni rizik u popodnevnim vršnim periodima (5 do 6 sati) bio veći i šire raspoređen nego onaj u jutarnjim opterećenjima (7 do 8 sati), što znači da su ljudi više nemarni ili više agresivni kada voze posle posla, nego kada odlaze na posao. Analizirajući broj pređenih kilometara on je isti u jutarnjim i poslepodnevnim časovima. Treba imati na umu i analizu relativnog rizika po putnim pravcima. Tako na primer ako je relativni rizik manji od 1 u jednom pravcu, a veći od 1 u drugom pravcu, dovoljno je unaprediti bezbednost saobraćaja samo u onom pravcu gde je rizik veći od 1. U okviru vremensko-prostorne analize u ovom radu su prikazani podaci relativnog rizika za sve nezgode, tako da distribucija relativnog rizika ne mora da bude ista i za nezgode kada se uzmu u obzir i posledice (poginuli, povređeni). Mape rizika pomažu da se vidi gde i kada je povećan rizik na pojedinim deonicama puteva.

Plug i dr. (2011) su prikazali prostorne, vremenske i prostorno-vremenske tehnike sa ciljem identifikacije obrazac nastanka nezgoda u kojima je učestvovalo jedno vozilo (prostor istraživanja Zapadna Australija, period 1999-2008.). Za identifikaciju vremenskih obrazaca (po danima i radnim danima) primenjeni su radarski grafikoni. Prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda je analizirana pomoću Kernelove gustine nezgoda za tri različita lokaliteta (Australia, Metropolitan area, and Perth Local Government Area (LGA)). Rezultati su prikazani primenom prostorne teorije zumiranja, i zapažene su značajne razlike u prostorno-vremenskim obrascima nastanka saobraćajnih nezgoda. Ovi rezultati su uglavnom prikazani tabelarno ili grafički (radarski grafikoni). Komap tehnika omogućava istraživanje obrazaca ponašanja multivarijantnih podataka pre nego što se sprovede statističko modelovanje. Nakon vremensko-prostornih analiza autori su došli do zaključka da se nezgode u Pertu dešavaju u severnom delu predgrađa vikendom, a svega mali broj radnim danima. Istaknuto je da se u ovoj oblasti nalazi veliki broj kafića, restorana, barova, šoping centara, ustanova kulture, a aktivan je i noćni život. U analizi su uzete u obzir i nezgode sa pešacima, kao i nezgode sa udarom u objekat. Radarski grafikon je pokazao da se nezgode sa udarom u objekat dešavaju noću (između 10 sati uveče i 4 sata ujutro), dok se nezgode sa pešacima dešavaju od 8 do 9 sati pre podne, kao i od 3 do 6 sati posle podne, zbog velikih pešačkih tokova. U okviru studije je zapaženo da broj nezgoda raste od ponedeljka do petka, a najviše se dogodi subotom, dok je najmanji broj zabeležen nedeljom. Najveći broj nezgoda u kojima učestvuju pešaci dogodi se u centralnim delovima grada gde su pešački tokovi veliki, a u zonama škola između 3 i 5 sati posle podne. Prostorno-vremenska analiza može biti od koristi za sprovođenje odluka kao što su poboljšanje signalizacije, kontrole alkoholisanosti vozača, poboljšanja bezbednosti saobraćaja u zonama škola, unapređenje mera za zaštitu pešaka i biciklista i unapređenja infrastrukture na autoputevima.

Blazquez i Celis (2012) su sproveli prostorno-vremensku analizu stradanja dece u Santjagu (Čile) u periodu 2000-2008. Autori su imali dva cilja. Prvi cilj je identifikacija oblasti sa visokim rizikom od nastanka nezgoda u kojoj su deca učesnici primenom Kernelove metode, a zatim je bilo potrebno utvrditi statistički značajne klustere ovih saobraćajnih nezgoda za svaku oblasti i prikazati ih pomoću GIS-a. Drugi zadatak je da pomoću Moranovog I indeksa utvrde da li postoji pozitivna prostorna autokorelacija između faktora koji utiču na vremensko-prostorni nastanak nezgode. Nakon primenjenih metoda identifikovano je 7 kritičnih oblasti koje se nalaze u distriktima gde je srednji socioekonomski nivo stanovništva. U ovim oblastima je nizak nivo ulaganja u oblast bezbednosti saobraćaja (npr. saobraćajni znaci, ležeći policajci, pešački prelazi i dr.), a deca obično idu sama i vraćaju se iz škole. Utvrđeno je da postoji pozitivna prostorna korelacija za period dana, prave deonice puta i raskrsnice, puteve bez saobraćajnih znakova tokom posmatranog perioda u kritičnim oblastima, dok je slučajni šablon nastanka nezgoda prema starosti dece. Nije utvrđena statistička značajnost u prostornom odnosu saobraćajnih nezgoda prema polu, danima u sedmici i mesecima tokom godine. U odnosu na period dana, 57% saobraćajnih nezgoda je zabeleženo između 1 i 8 sati posle podne, što se objašnjava krajem školskog dana (i za jutarnju i za poslepodnevnu smenu) kada se učenici vraćaju kući. Raspodela po danima pokazuje da se najveći broj nezgoda dogodio radnim danima (naročito sredi i petak). Mesečna analiza je pokazala da se najveći broj nezgoda dogodi od marta do decembra, a najmanji tokom letnjih meseci i januara i februara. Prostorna analiza pokazala je da se 51,8% nezgoda dogodilo na pravom putu (između raskrsnica), 24,7% je uzrokovano pretrčavanjem kolovoza, a 7% greškom vozača na pešačkom prelazu. Takođe, utvrđeno je da se 48% nezgoda sa decom pešacima dogodio na raskrsnicama. 67% nezgoda se dogodio na raskrsnicama sa saobraćajnim znakovima. Pomoću Kernelove analize za svaku godinu posmatranog perioda utvrđene su kritične lokacije koje su prikazane na mapi. Dubinskom analizom utvrđeno je da su sve kritične oblasti ujedno i oblasti sa velikom gustinom stanovništva (stambene oblasti, administrativno-politički centri, edukativne oblasti). Prostorno-vremenska analiza pokušala je prikazati koje su varijable značajne za klustere, disperziju ili slučajnu distribuciju unutar visoko rizičnih zona dece pešaka. Rezultati istraživanja su korisni za donosiocel odluka gde je potrebno unaprediti bezbednost saobraćaja, sprovesti edukativne kampanje i inženjerske strategije.

Prasannakumar i dr. (2011) su istražili i poredili različite vrste saobraćajnih nezgoda sa prostornog i vremenskog aspekta. Vremenske promeljive su ukupan broj nezgoda koji se dogodi u periodu monsunskih kiša, kao i broj nezgoda zabeležen u periodu bez monsunskih kiša. Ove vremenske promeljive se vezuju za dve najznačajnije sezone koje su karakteristične za prostor istraživanja, pa su autori pokušali utvrditi da li one utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda. Prostorne promeljive su religiozni objekti i edukativne institucije. Prostorno mapiranje nezgoda je rađeno sa ciljem identifikacije opasnih mesta i onih manje opasnih. Za prostorne obrasce raspodele nezgoda najpre je utvrđen koeficijent prostorne autokorelacija primenom Moranovog I indeksa (Moran's I index) uz Z-score za sve podatke (ukupan broj nezgoda, vremenske i prostorne podatke). Nakon dobijenih rezultata utvrđeno je da postoji grupisanje podataka za ukupan broj nezgoda, nezgode nastale u nemonsunskoj sezoni i nezgode koje su se dogodile u blizini edukativnih institucija. Druga

dva seta podataka (nezgode koje su zabeležene u periodu monsunskih kiša i one nastale u blizini verskih objekata) imaju slučajnu prirodu nastanka. Druga metoda koja je primenjena za analizu opasnih mesta zasniva se na Kernelovoj gustini i Getis-Ord G_i^* statistici. Pomoću Getis-Ord G_i^* statistike identifikuju se prostorni klasteri sa visokom vrednostima (*eng. hot spot*) i oni sa malim vrednostima (*eng. cold spot*). Izlazne vrednosti analize opasnih mesta su $G_iZScore$ i $G_iPValue$. Ove vrednosti predstavljaju statističke značajnosti prostornog grupisanja podataka. Velike vrednosti $G_iZScore$ i male vrednosti $G_iPValue$ (verovatnoće) identifikuju postojanje prostornog grupisanja podataka sa visokim vrednostima, a negativna i mala vrednost $G_iZScore$ i mala vrednost $G_iPValue$ su karakteristični za prostorne podatke u kojima je mala povezanost. Za analizirane podatke autori su dobili vrednosti za slučaj nezgoda u period monsunu i nemonsunske periode.

3.6. VREMENSKO-PROSTORNI MODELI

Dosadašnji pregled literature iz oblasti bezbednosti saobraćaja pokazuje da su se istraživači uglavnom bavili utvrđivanjem lokacija gde se saobraćajne nezgode najčešće događaju u nekom periodu vremena ili samo fluktuacijom broja nezgoda u vremenu. Analize su zahtevale procene frekvencije broja nezgoda i/ili stopu nezgoda i uzimale u obzir geometriju puta (broj traka), saobraćajne karakteristike (PGDS) deonice puta. Poslednjih godina primenjuju se nove kategorije studija bazirane na "hazard based duration model" modelima koje posmatraju saobraćajne nezgode ili incidente u saobraćaju sa aspekta dužine trajanja od njihovog nastanka do ponovnog uspostavljanja saobraćaja.

Trajanje nezgode se može definisati kao vremenska razlika vremena kada je nezgoda nastala do uklanjanja vozila sa puta koje je učestvovalo u nezgodi (Garib et al., 1997; Nam and Mannering, 2000; Chung, 2010). Prema Highway Capacity Manual (TRB, 1994), nezgoda se posmatra u 4 vremenske faze: (1) detekcija nezgode (vreme između nastanka nezgode i njene detekcije (izveštaj o nastanku nezgode)), (2) vreme odgovora na nastalu nezgodu (vreme između nastanka nezgode i dolaska timova za tretiranje nezgode), (3) vreme otklanjanja ostataka nezgode (vreme koje protekne od dolaska tima za sanaciju nezgode i otklanjanja ostataka nezgode) i (4) vreme ponovnog uspostavljanja saobraćaja (vreme od uklanjanja ostataka nezgode do ponovnog uspostavljanja normalnog saobraćajnog toka koji je bio prekinut nastankom nezgode). Pod saobraćajnim incidentom se smatra nepredvidljiv događaj (saobraćajna nezgoda, kvarovi vozila, loši vremenski uslovi (poplava), konstrukcija puta) koji uzrokuje prekid saobraćajnog toka (Chin et al., 2004; Chung, 2010).

Ponovno uspostavljanje saobraćaja važno je za smanjenje saobraćajnih zagušenja i zastoja, pa je procena vremena trajanja nezgode ili incidenta od velike koristi za operatera koji je zadužen za održavanje puteva kako bi uputio timove za sanaciju iste (policija, službe hitne pomoći, vatrogasci), obavestio ostale učesnike u saobraćaju (vozače) da promene trase ili odgode svoja putovanja. Predikcija trajanja nezgode od velike je važnosti za aspekt upravljanja saobraćajnim nezgodama.

Lord i Mannering (2010) u okviru svog preglednog rada o statističkim analizama frekvencije saobraćajnih nezgoda i metodologijama koje se primenjuju dali su kritički osvrt i na „duration“ modele. Naime, oni su istakli da modeli trajanja (duration model) prevazilaze problem koji se javlja kod analize frekvencije saobraćajnih nezgoda jer uzimaju u obzir vremena između dve saobraćajne nezgode, što predstavlja suprotan pristup od posmatranja frekvencije saobraćajnih nezgoda tokom nekog vremenskog perioda. Očigledno je da postoji veza između frekvencije saobraćajnih nezgoda i vremena između dve saobraćajne nezgode. Modeli za prebrojavanje (kao što je standardni Poasonov model) impliciraju osnovnu raspodelu vremena između dve saobraćajne nezgode (za standardnu Poasonovu raspodelu vreme između nezgoda ima eksponencijalnu raspodelu), a model vremena između dve saobraćajne nezgode može dati očekivanu vrednost frekvencije saobraćajnih nezgoda u bilo kom periodu vremena (Lord and Mannering, 2010). Najčešći pristup modelima koji posmatraju vreme između nezgoda je model zasnovan na otkazima koji podrazumeva uslovnu verovatnoću nastanka nezgoda u nekom periodu vremena $t+dt$. Modeli zasnovani na nezgodama mogu biti procenjeni pod najrazličitijim pretpostavkama i ne parametarskim obrascima, te mogu omogućiti značajne zaključke kako se verovatnoća nezgoda menja u vremenu (Washington et al., 2003). Modeli zasnovani na vremenu između otkaza su sofisticiraniji u pogledu sposobnosti rada sa podacima i zajedničkim problemima u vezi podataka o saobraćajnim nezgodama (heterogenost podataka itd.), oni mogu pružiti uvid u trajanje efekata (Lord and Mannering, 2010). Na primer, umesto uzimanja u obzir broja saobraćajnih nezgoda, Mannering (1993) je koristio model posmatranja vremena između nezgoda kako bi utvrdio faktore koji utiču na vreme između nezgoda. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da su muškarci bili duže bez saobraćajnih nezgoda, te je manja i verovatnoća da će imati nezgodu u skorije vreme, dužina vremena bez saobraćajne nezgode kod žena vozača nije pokazala nikakav uticaj na verovatnoću pojave saobraćajnih nezgoda.

Modeli koji se zasnivaju na trajanju otkaza (*eng. Hazard-based duration models*) pripadaju klasi analitičkih modela koji se koriste za opisivanje podataka u funkciji vremena. Oni su pogodni za opisivanje događaja gde se normalno odvijanje neke aktivnosti prekida zbog uticaja nekog specifičnog događaja (Bhat and Pinjar, 2000; Washington et al., 2003). Ovakav način modelovanja je našao primenu u mnogim oblastima kao što su biomedicina, biostatistika, ekonomija, inženjerske discipline, društvene nauke. Nasuprot velike mogućnosti primene ovih modela u oblasti saobraćaja na osnovu pregleda literature uočen je mali broj radova na ovu temu. Postoji mogućnost primene u rešavanju brojnih problema saobraćaja koji su u vezi sa vremenom, kao što su na primer kašnjenja ili zastoji (signalisane raskrsnice sa svetlosnim ili stop znacima, naplate putarina), vreme potrebno za usvajanje novih tehnologija, vreme trajanje nekih aktivnosti učesnika u saobraćaju (vreme putovanja za obavljanje aktivnosti, vreme provedeno kući između dve aktivnosti, vreme između učestvovanja u istoj vrsti aktivnosti), vreme između dva putovanja (Mannering and Hamed, 1990; Ettema et al., 1995; Bhat, 1996a,b; Niemeier and Morita, 1996; Wang, 1996; Kitamura et al., 1997; Kharoufeh and Goulias, 2002; Bhat et al., 2004), vreme između kupovine vozila u domaćinstvima (Gilbert, 1992; De Jong, 1996; Yamamoto and Kitamura, 2000), vreme između planiranja i sprovođenja aktivnosti (Bhat and Pinjar, 2000), trajanje kupovine (Bhat, 1996), dužina

kašnjenja u saobraćaju (Paselk and Mannering, 1993; Mannering et al., 1994; Stathopoulos and Karlaftis, 2002).

U oblasti bezbednosti saobraćaja ovi modeli su primenjeni za analizu vremena između dve nezgode (Jovanis and Chang, 1986; Mannering, 1993), analizu trajanja i karakteristike incidenta (Golob et al., 1987; Giuliano, 1989), analizu vremena između dva incidenta i ponovnog uspostavljanja aktivnosti (Jones et al., 1991; Nam and Mannering, 2000; Hojati, 2012). "Hazard-based duration" modeli prilikom modelovanja ne razmatraju samo dužinu vremena trajanja nezgode, ili incidenta, već i vezu između trajanja i verovatnoće da će se incident završiti.

Chung (2010) je imao za cilj da modeluje trajanje nezgode u budućnosti pomoću "hazard based duration" modela koja se zasniva na analizi podataka o istoriji nezgoda. Ulazni podaci modela su broj saobraćajnih nezgoda u Koreji na autoputevima 2006. godine, dok su kontrolnu grupu činili podaci o broju saobraćajnih nezgoda na autoputevima iz 2007. godine. Podaci koji su korišćeni u modelu podeljeni su u četiri grupe: (1) vreme nezgode, (2) karakteristike nezgoda (tip vozila koji je učestvovao u nezgodi, posledice i težine nezgoda, lokacija nezgoda), (3) uslovi okruženja (vremenski uslovi, karakteristike kolovoza, zone radova, način parkiranja) i (4) dodatne informacije. U cilju definisanja modela predikcije trajanja primenjen je log-logistički (log-logistic accelerated failure time (AFT) metrički model. Procena modela trajanja je ocenjena od strane autora kao validna za predikciju sa razumnom prihvatljivošću baziranoj na osnovu srednje apsolutne procene greške koja je iznosila 47% (*eng. mean absolute percentage error (MAPE) scale*). Rezultati statističkih testova (korišćena baza podataka o nezgodama iz 2007.) za vremensku prenosivost (*eng. temporal transferability*) ukazuju da procene parametara u "duration" modelu predikcije su stabilni tokom vremena. Autori su istakli činjenicu da model ima potencijala za primenu u procesu donošenja odluka gde uputiti timove zadužene za saobraćajne nezgode (policija, službe hitne pomoći, vatrogasce) što može ublažiti saobraćajna zagušenja. Ograničenja modela mogu predstavljati velike greške u predikciji usled individualnih razlika timova koji su zaduženi za otklanjanje ostataka sličnih nezgoda. Autori su istakli da je u budućnosti potrebno izvršiti proveru ispravnosti modela i mogućnosti primene na drugim podacima, i da je za proveru validnosti modela potrebno koristiti veći uzorak podataka.

Hojati i dr. (2012) su opisali modelovanje podataka o trajanju incidenata u saobraćaju za područje jugoistočnog Kvinslenda za period novembar 2009. do novembra 2010. Cilj rada je definisanje efikasne i praktične metodologije za predviđanje trajanja incidenta na autoputevima, kao i uočavanje kritičnih promenljivih na osnovu kojih je moguće unaprediti strategije upravljanja incidentima. Svaka vrsta incidenta u saobraćaju utiče na smanjenje kapaciteta saobraćaja. Neki događaji nastaju slučajno kao što su incidenti u kojima učestvuju vozila (nezgode, stacionarna vozila), druge prepreke ili objekti na putu (odroni), ekstremni vremenski uslovi (poplave). Postoje i drugi događaji koji su neočekivani za korisnike puta, ali su planirani (sportske aktivnosti, zone radova, kulturni događaji). Parametric accelerated failure time (AFT) modela preživljavanja obuhvatio je testiranje log-logističke, logonormalne i Weibulove raspodele (sa fiksnim i promenljivim parametrom). Weibulov model sa gama heterogenošću se pokazao kao dobar za modelovanje trajanja saobraćajnih incidenata. Kako bi razmotrili heterogenost u trajanju

incidenta razmotrena je primena Vejbula sa gama heterogenošću. Ovo je ujedno prvi saobraćajni incident model trajanja sa slučajnim parametrom. U radu je analizirano 3.251 snimljenih incidenata. Ispitan je uticaj 28 promenljivih koje uključuju podatke o incidentu, karakteristikama infrastrukture, saobraćajnim promenljivama, vremenskim karakteristikama, lokacijama, periodima dana i dr. Pokazano je da Vejbulov model sa slučajnim parametrima najbolje odgovara za stacionarne incidente vozila. Rezultati pokazuju jasne razlike u trajanju svakog incidenta koji zahteva različite vrste odgovora za uklanjanje ostataka saobraćajne nezgode, a samim tim imaju različit uticaj na kumulativnu vrednost vremena "čišćenja puta" i odlaganja kašnjenja. Razumevanje uticaja različitih faktora prilikom modelovanja vremena trajanja omogućava upravljaču puta da donese odluku zavisno od vrste incidenta kako bi se poboljšalo vreme odgovora, smanjila zagušenja saobraćaja, kao ljudske i materijane štete. Utvrđeno je da nije bilo značajnih efekata vezanih za infrastrukturu i vremenske karakteristike (vremenski uslovi, brzina vetra, temperature vazduha) na trajanje različitih tipova incidenta, iako su svi incidenti zabeleženi na autoputu.

Pored "hazard based duration" modela autori Abdel-Aty i Pande (2007) istakli su značaj individualnog pristupa u oblasti bezbednosti saobraćaja. Glavni metod njihovog rada je isticanje procene broja nezgoda u realnom vremenu nasuprot proceni učestalosti saobraćajnih nezgoda tokom određenog vremenskog perioda. Procena verovatnoće u realnom vremenu ima vaoma veliki značaj za upravljanje saobraćajem. To je proaktivno proširenje tradicionalnog pristupa identifikacije nezgoda, koji zahteva analizu podataka o saobraćajnim nezgodama nakon što se nezgode dogode. U radu je izvršena analiza podataka sa individualnog i kolektivnog pristupa, gde je ukazano na prednosti i nedostatke. Ovo istraživanje prednost daje individualnom pristupu u analizi saobraćajnih nezgoda. U radu je pokazan uticaj loših odluka vozača zbog uslova puta i okruženja, kao i parametra geometrije puta. Korišćen je PGDS koji predstavlja meru izloženosti za konkretnu deonicu puta. Analiza uticaja PGDS-a na frekvenciju nezgoda je kolektivan pristup gde se frekvencija nezgoda posmatra u određenom periodu vremena i lokaciji puta. Proaktivno upravljanje saobraćajem je postalo predmet mnogih istraživanja, pogotovo što značajnu ulogu igraju primena savremenih tehnologija (video nadzor, promenljivi saobraćajni znaci, upotreba mobilnih telefona, "pametna" vozila) koja beleže podatke o brzini vozila, reakcijama vozača i sl. U radu je posmatrana brzina vozila pre nastanka konkretne opasnosti u nekom vremenu. Podaci o vozilu i vozaču su dobijeni primenom informacionih tehnologija. Na ovaj način podaci odlaze u bazu upravljača puta koji je zadužen za proaktivni menadžment. Snimljeni podaci koji uslovljavaju nastanak nezgode, pored analize podataka iz prošlosti mogu poslužiti kao dobre smernice za utvrđivanje opasnih mesta u realnom vremenu. Autor je istakao značaj primene alata neuronskih mreža, stabla klasifikacije i grupisanja. Posebno se ističe značaj savremenih tehnologija u brzom i pouzdanom dobijanju podataka o faktorima koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda.

3.7. DISKUSIJA

Pregled postojeće literature koja obrađuje frekvenciju saobraćajnih nezgoda koncipiran je u tri faze: (a) sakupljanje najznačajnijih literarnih jedinica koje se odnose na frekvenciju saobraćajnih nezgoda; (b) organizacija literarnih jedinica i (c) analiza sadržaja. U okviru faze organizacije literature izdvojena su četiri pristupa i to: (1) prostorni modeli, (2) vremenski modeli, (3) prostorno-vremenski modeli i (4) vremensko-prostorni modeli. Navedeni pristupi su u međusobnoj vezi i teško je objasniti samo značaj i prednosti jednog od pristupa, ako se ujedno ne sagledaju i preostali modeli frekvencije saobraćajnih nezgoda, kako bi se dao kritički osvrt. Pored toga, od ključnog značaja je klasifikovanje, odnosno pozicioniranje, predloženih originalnih metoda u postojećoj svetskoj literaturi. Na ovakav način ističe se značaj i naučni doprinos doktorske disertacije.

Prethodna razmatranja jasno ukazuju da istraživanja frekvencije saobraćajnih nezgoda imaju veliku primenu u analizama bezbednosti saobraćaja (od primene osnovnih deskriptivnih analiza preko sofisticiranih statističkih metodologija). Na osnovu analize sva četiri pristupa zaključuje se da su podaci o saobraćajnim nezgodama od izuzetne važnosti za primenu bilo kog od opisanih modela. Prostorni modeli su najstariji modeli, i stoga su i najbolje razvijeni i najčešće primenjivani. Rezultati početnih modela prikazivani su na mapama, a poslednjih godina pažnja se pridaje primeni GIS tehnologija. Prednost ovih modela je vizuelizacija podataka, utvrđivanje prostorne korelacije, a glavni nedostatak je odsustvo dinamičke komponente u analizama. Potrebno je da prođe određeni vremenski period i da se nezgode dogode kako bi se započele analize i definisale određene mere za unapređenje bezbednosti saobraćaja.

Prostorno-vremenski modeli su napredniji od prostornih, jer uzimaju u obzir i komponentu vremena, a izlazni rezultat predstavlja kombinaciju vremenskog i prostornog pozicioniranja nastanka saobraćajnih nezgoda. Pored toga oni imaju određena ograničenja, jer se vreme posmatra kao period u kome se nezgode najčešće dešavaju na određenom prostoru. Isto kao i kod prostornih modela potrebno je da prođe određeni period vremena u kome će se dogoditi saobraćajne nezgode, kako bi se pristupilo analizi istih.

Vremenski modeli pružaju značajne pogodnosti i oni predstavljaju početni korak u analizama bezbednosti saobraćaja. Omogućavaju uočavanje i praćenje trendova i definisanje ciljeva u budućnosti. Njihov glavni nedostatak je potreba za postojanjem istorije podataka o saobraćajnim nezgodama i faktorima koji doprinose nastanku. Naime, da bi se izvršila komparacija osnovni uslov je posmatranje iste pojave na definisanim lokacijama (koje imaju slične karakteristike) u istom periodu vremena. Na osnovu iznetog, glavni problem sva tri modela je etičke prirode, jer eksperti iz oblasti bezbednosti saobraćaja najpre moraju da sačekaju da se nezgode dogode kako bi rešavali problem. Glavna prednost vremensko-prostornih modela, u odnosu na prethodne modele, je dinamička komponenta vremena koja ujedno omogućava aktivno delovanje u realnom vremenu.

Najnovija istraživanja u području analiza bezbednosti saobraćaja ističu da su metodologije ograničene statističkim podacima, zbog njihove statičnosti (kvantitativno i kvalitativno), kao i zbog tradicionalnog načina prikupljanja iz policijskih izveštaja. Upravo

ovakav pristup ograničavao je primenu i razvoj brojnih novih metodologija. Međutim, ovde treba napomenuti da su poslednjih godina u razvijenim zemljama uložena značajna sredstva i naponi na razvoju tehnika i tehnologija, tako da njihova primena omogućava dobijanje detaljnijih podataka o saobraćajnim nezgodama. Potrebno je napomenuti da istraživači moraju i dalje da budu aktivni u tim primarnim aspektima analize, jer istraživanja ukazuju da i novi podaci nose određena ograničenja i prikrivaju važna fundamentalna metodološka pitanja.

Nakon analize prikazanih modela, nametnulo se pitanje: da li je moguće razviti model koji ne zahteva veliki broj parametara i podataka o saobraćajnim nezgodama, a da ujedno takav model može da oceni stanje bezbednosti saobraćaja na određenom prostornom entitetu u realnom vremenu? Pored toga, poželjno je da razvijeni model omogući poređenje stanja bezbednosti saobraćaja, a da pri tom ne zavisi od vremenskog okvira posmatranja i broja podataka. Upravo sa tim ciljem, tokom poslednjih par godina počeli su da se razvijaju vremenski prostorni modeli koji uzimaju u obzir trajanje između dva incidenta, odnosno saobraćajne nezgode. Modeli koji su opisani u disertaciji pripadaju kategoriji vremensko- prostornih modela i zasnivaju se na pristupu analize vremena između dve saobraćajne nezgode. Predloženi modeli zahtevaju podatke o vremenu i prostoru nastanka saobraćajne nezgode. Od velike koristi su posebno za zemlje u razvoju koje ne poseduju detaljne baze podataka i u tome se takođe ogleda značaj njihove primene.

Pregled i detaljna analiza literature iz oblasti frekvencija saobraćajnih nezgoda dokazuje da je vremensko-prostornim modelima posvećeno najmanje pažnje u okviru dosadašnjih istraživanja iz oblasti bezbednosti saobraćaja. Na ovaj način potvrđena je opravdanost i potreba njihovog daljeg istraživanja i razvoja. Modeli razvijeni i opisani u doktorskoj disertaciji daju značajan naučni doprinos u oblasti analiza bezbednosti saobraćaja.

REFERENCE

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abdel-Aty, M., Radwan, E., 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention* 32 (2000) 633–642.
- Abdel-Aty, M., & Keller, J. 2005. Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 417–425.
- Abdel-Aty, M., Pande, A., 2007. Crash data analysis: collective vs. individual crash level approach. *Journal of Safety Research* 38 (5), 581–587.
- Agresti, A., 2002. *Categorical data analysis*. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc.
- Aguero-Valverde, J. & Jovanis, P. P., 2006. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 618-625.
- Aguero-Valverde, J., Jovanis, P.P., 2008. Analysis of road crash frequency with spatial models. *Transportation Research Record* 2061, 55–63.
- Aguero-Valverde, J., Jovanis, P.P., 2010. Spatial correlation in multilevel crash frequency models: effects of different neighboring structures. *Transportation Research Record* 2165, 21–33.
- Aguero-Valverde, J. 2013. Full Bayes Poisson gamma, Poisson lognormal, and zero inflated random effects models: Comparing the precision of crash frequency estimates. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 289-297.
- Aguero-Valverde, J. 2013. Multivariate spatial models of excess crash frequency at area level: Case of Costa Rica. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 365-373.
- Anastasopoulos, P.C., Mannering, F.L., 2009. A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis and Prevention* 41 (1), 153–159.
- Anderson, T. K., 2009. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364.
- Andersson, A., Chapman, L., 2011. The use of a temporal analogue to predict future traffic accidents and winter road conditions in Sweden, *Meteorological applications Meteorol. Appl.* 18: 125–136.
- Andreescu, MP., Frost, DB., 1998. Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Climate Research* 9: 225–230.
- Andrey J, Olley R. 1990. The relationship between weather and road safety: past and future research directions. *Climatological Bulletin* 24: 123–127.
- Andrey, J., Yagar, S., 1993. A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accident Analysis and Prevention* 25: 465–472.
- Andrey J., Mills, B. et al., 2003. Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities., *Natural Hazards* 28: 319–343.

- Antoniou, C., & Yannis, G., 2013. State-space based analysis and forecasting of macroscopic road safety trends in Greece. *Accident Analysis & Prevention*.
- Bačkalić, S., 2013. Temporal analysis of the traffic accidents occurrence in Province of Vojvodina, *Transport Problems, International scientific journal*, Volume 8, Issue 1, The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, 8 Krasinskiego St., 40-019 Katowice, Poland, ISSN 1896-0596, page 87-93
- Bačkalić, S., Matović, B., Bašić, A., 2013. The time-space approach in the analysis of traffic safety on rural road“, 6. International scientific conference Road Research and Administration CAR 2013, Technical University of Civil Engineering of Bucharest, ISBN 978-973-100-290-3.
- Bašić, S., Bačkalić, T., Jovanović, D., 2010. Temporal and time series forecasting as a tool for traffic safety analysis, X International Symposium "ROAD ACCIDENTS PREVENTION 2010", Novi Sad, ISBN 978-86-7892-279-4.
- Bates, D.M., Watts, D.G., 1988. *Nonlinear regression analysis and its applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bergel, R., Girard, B., Lassarre, S., & Le Breton, P. (1996). A model of seasonally corrected indicators of road safety. *Proceedings of the Conference Road Safety in Europe and Strategic Highway research Program (SHRP)*, Prague, the Czech Republic (VTI konferens N8 4A, Part 1, pp. 147–156).
- Bergel-Hayat, R., 2008. The use of explanatory variables in time series modelling: applications to transport demand and road risk. Ph.D. thesis. Paris-Est University.
- Bergel-Hayat, R., 2012. Time-series models of aggregate road risk and their applications to European countries. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 32, 211–246.
- Bhat, C.R., 1996. A hazard-based duration model of shopping activity with nonparametric baseline specification and nonparametric control for unobserved heterogeneity. *Transportation Research Part B: Methodological* 30 (3), 189–207
- Bhat, C. R., & Pinjari, A. R., 2000. Duration modeling. *Handbook of transport modelling*, 6, 91-111.
- Bhat, C.R., Frusti, T., Zhao, H., Schfelder, S., Axhausen, K.W., 2004. Intershopping duration: an analysis using multiweek data. *Transportation Research Part B: Methodological* 38 (1), 39–60.
- Bijleveld, F.D., Commandeur, J.J.F., Gould, P.G., Koopman, S.J., 2008. Model-based measurement of latent risk in time series with applications. *Journal of the Royal Statistical Society A* 171, 265–277.
- Bíl, M., Andrášik, R., & Janoška, Z. (2013). Identification of Hazardous Road Locations of Traffic Accidents by means of Kernel Density Estimation and Cluster Significance Evaluation. *Accident Analysis & Prevention*.
- Blazquez, C.A., & Celis, M.S. (2012). A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. *Accident Analysis & Prevention*.

- Box, G.E.P., Cox, D.R., 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society B* 26, 211–246.
- 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 and Prevention*. 40 (3), 1180–1190.
- Brodsky, H., Hakkert, A. S., 1993. Highway accident rates and rural travel densities. *Accident Analysis and Prevention*. 15(1):73-84.
- Brodsky, H.; Hakkert, A. S., 1998. Risk of a road accident in rainy weather. *Accident Analysis and Prevention*. 20(3):161-176.
- Broughton, J., 1991. Forecasting road accident casualties in Great Britain. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):353-362.
- Carson, J., Mannering, F., 2001. The effect of ice warning signs on accident frequencies and severities. *Accident Analysis and Prevention* 33 (1), 99–109.
- Ceder, A., Livneh, M., 1978. Further evaluation of the relationships between road accidents and average daily traffic. *Accid. Anal. and Prev.* 10:95-109.
- Ceder, A., 1982. Relationships between road accidents and hourly traffic flow-II Probabilistic approach. *Accid. Anal. And Prev.* 14(1):35-44.
- Chang, Jaenam, Oh, Cheol, Chang, Myungsoon, 2000. Effects of Traffic Condition (v/c) on safety at freeway facility sections. *Transportation Research, E-Circular, Fourth International Symposium on Highway Capacity Proceedings*, pp. 200–208.
- 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.
- Chang, L.Y., 2005. Analysis of freeway accident frequencies: Negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science*, 43(8), 541–557.
- Chapman, R.A., 1973. The concept of exposure. *Accident Anal Prev.* 5 (2), 95–110.
- Chin, H.C., Quddus, M.A., 2003. Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention* 35 (2), 253–259.
- Chin, S.M., Franzese, O., Greene, D.L., Hwang, H.L., Gibson, R.C., 2004. “Temporary Loss of Highway Capacity and Impacts on Performance: Phase 2”. Report No. ORLNL/TM-2004/209, Oak Ridge National Laboratory.
- Chung, Y., 2010. Development of an accident duration prediction model on the Korean Freeway Systems. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 282-289.
- Coate, D., Markowitz, S., 2004. The effects of daylight and daylight saving time on US pedestrian fatalities and motor vehicle occupant fatalities. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 351–357.
- Commandeur, J., Bjlveld, F., & Bergel, R., 2007. A multivariate time series analysis applied to SafetyNet data. *SafetyNet Deliverable D7.7*
- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., 2007. *An Introduction to State Space Time Series Analysis*. Practical Econometrics Series. Oxford University Press, Oxford.

- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., Ooms, M., 2011. Statistical software for state space methods. *Journal of Statistical Software* 41, 1–18.
- Commandeur, J.J., Bijleveld, F.D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., & Papadimitriou, E., 2013. On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 424-434.
- De Jong, G., 1996. A disaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use. *Transportation Research Part B: Methodological* 30 (4), 263–276.
- Dobson, A., 1990. *An Introduction to Generalized Linear Models*, 2nd edition. Chapman & Hall, London.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic safety research – Methodology*, Deliverable D7.4 of the EU, FP6 project SafetyNet.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic research – Manual*. Deliverable D7.5 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Durbin, J., Koopman, S.J., 2012. *Time Series Analysis by State Space Methods*, 2nd edition. Oxford University Press, Oxford.
- Edwards, J., 1999. The temporal distribution of road accidents in adverse weather. *Meteorol. Appl.* 6, 59–68.
- El-Basyouny, K., Sayed, T., 2009a. Collision prediction models using multivariate Poisson-lognormal regression. *Accident Analysis and Prevention* 41 (4), 820–828.
- Elvik, R., Vaa, T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier.
- Elvik, R., 2008. A Survey of Operational Definitions of Hazardous Road Locations in Some European Countries, *Accident Analysis and Prevention* Vol. 40, pp.1830–1835.
- Elvik, R., 2008. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Hazardous Road Locations, Annual meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M., 2008. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 174-181.
- Ettema, D., Borgers, A., Timmermans, H., 1995. Competing risk hazard model of activity choice, timing, sequencing, and duration. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1493, 101–109.
- European Commission, 2001. *WHITE PAPER-European transport policy for 2010: time to decide*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-0341-1.
- Folkard, S., 1997. Black times: temporal determinants of transport safety. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 29. No. 4. DD. 417-430.
- Fridstrom, L., Liver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen, L., 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis and Prevention* 27: 1–20.
- Garbarino, S., Nobili, L., Beelke, M., De Carli, F., & Ferrillo, F., 2001. The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents. *Sleep*, 24(2), 203-206.

- Garib, A., Radwan, A.E., Al-Deek, H., 1997. Estimating magnitude and duration of incident delays. *Journal of Transportation Engineering* 123 (6), 459–466.
- Gaudry, M., Lassarre, S. (Eds.), 2000. *Structural Road Accident Models: The International DRAG Family*. Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Gilbert, C.C.S., 1992. A duration model of automobile ownership. *Transportation Research Part B: Methodological* 26 (2), 97–114.
- Gill, J., 2000. *Generalized Linear Models: A Unified Approach*. Number 07-134 in Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage University Papers, Thousand Oaks, CA.
- Giuliano, G., 1989. Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. *Transportation Research* 23A (5), 387±396.
- Goh, B.H., 2005. The dynamic effects of the Asian financial crisis on construction demand and tender price levels in Singapore. *Building and Environment* 40, 267–276.
- Golias, J.C., 1992. Establishing relationships between accidents and flows at urban priority road junctions *Accident Analysis and Prevention*. 24(6):689-694.
- Golob, T., Recher, W., Leonard, J., 1987. An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents. *Accident Analysis and Prevention* 19(5), 375±395.
- Golob, T.F., Reeker, W.W., Levine, D.W., 1990. Safety of freeway median high occupancy vehicle lanes: a comparison of aggregate and disaggregate analyses. *Accident Analysis and Prevention*. 22(1):19-34..
- Graham, D.J., & Glaister, S., 2003. Spatial variation in road pedestrian casualties: the role of urban scale, density and land-use mix. *Urban Studies*, 40(8), 1591-1607.
- Guoa, F., Wang, X., Abdel-Aty, M., 2010. Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. *Accident Analysis and Prevention* 42 (1), 84–92.
- Hakim, S., Hakkert, S., Hochermann, I., & Shefert, D. (1991). A critical review of macro models for road accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 23(5), 379–400.
- Hamilton, J.D. (1994). *Time series analysis (Vol. 2)*. Princeton: Princeton university press.
- Harvey, A.C., 1989. *Forecasting, structural time series models and the Kalman filter*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hauer, E., 1992. Empirical Bayes approach to the estimation of unsafety: the multivariate regression method. *Accident Analysis and Prevention* 24 (5), 457–477.
- Hauer, E. et al., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record* 1784, 27–32.
- Hojati F., A., Ferreira, L., Washington, S., & Charles, P., 2013. Hazard based models for freeway traffic incident duration. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 171-181.
- Houston, D.J., Richardson, L.E., 2002. Traffic safety and the switch to a primary seat belt law: the California experience. *Accident Analysis and Prevention* 34 (6), 743–751.
- Huang, H., Darwiche, A.L., Abdel-Aty, M.A., 2010. County-level crash risk analysis in Florida: Bayesian spatial modeling. *Transportation Research Record* 2148, 27–37.

- Hummer, E.J., Hultgren, C.A., Khattak, J.A., 2012. Identification of Promising Sites on Secondary Highways Using Inventory Data. Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting.
- IRTAD, 2013. Road Safety Annual Report 2013, OECD
- Ivan, J.N., Wang, C.-Y., Bernardo, N.R., 2000. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. *Accident Anal. Prev.* 32, 787–795.
- Johansson, P., 1996. Speed limitation and motorway casualties: a time series count data regression approach *Accident Analysis and Prevention*. 28 (1), 73–87.
- Jones, B., Janssen, L.; Mannering, F., 1991. Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle. *Accid. Anal. and Prev.* 23(4):239-255.
- Joshua, S., & Garber, N., 1990. Estimating truck accident rate and involvement using linear and Poisson regression models. *Transportation Planning and Technology*, 15, 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., Bašić, S., Mitrović, 2010. Injury Risk to Young Car Drivers in Traffic on Territory of Republic of Serbia, *Transport Problems, International scientific journal*, Volume 5, Issue 2, Silesian University of Technology Faculty of Transport, Katowice, Poland, ISSN 1896-0596
- Keay, K., Simmonds, I., 2005. The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis and Prevention* 37: 109–124.
- Kharoufeh, J.P., Goulias, K.G., 2002. Nonparametric identification of daily activity durations using kernel density estimators. *Transportation Research Part B: Methodological* 36 (1), 59–82.
- Kingham, S., Sabel, C. E., Bartie, P., 2011. The impact of the ‘school run’ on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 705-711.
- Kitamura, R., Chen, C., Pendyala, R., 1997. Generation of synthetic daily activity travel patterns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1607 (–1), 154–162.
- Kovačić, Z.J., 1995. Analiza vremenskih serija. Ekonomski fakultet, Beograd.
- Kowtanapanich, W., Tanaboriboon Y., Chadbunchachai W., 2006. Applying Public Participation Approach to Black Spot Identification Process, -A Case Study in Thailand – IATSS RESEARCH Vol. 30, No.1.
- Land, K.C., McCall, P.L., Nagin, D.S., 1996. A comparison of Poisson, negative binomial and semi-parametric mixed Poisson regressive models with empirical applications to criminal careers data. *Sociological Methods and Research* 24, 387–442.
- LaScala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P.J., 2000. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident; analysis and prevention*, 32(5), 651.

- Lassarre, S., 1986. The introduction of the variables “traffic volume”, “speed” and “belt wearing” into a predictive model of the severity of accidents. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):129-134;
- Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H., 1995. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: I. Spatial patterns. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 663
- Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H., 1995. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: II. Zonal generators. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 675
- Levine, N., Kim, K., et al., 1995. Daily fluctuations in Honolulu motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 6, pp. 785-796.
- Li, L., Zhu, L. et al., 2007. A GIS-based Bayesian approach for analyzing spatial-temporal patterns of intra-city motor vehicle crashes. *Journal of Transport Geography* 15 (2007) 274–285.
- Liang, L.Y., Mo'soem, D.M., Hua, L.T., 2005. Traffic accident application using geographic information system. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6, 3574–3589.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Mapping of risks on the main road network of Serbia *Journal: Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering* ISSN: 1584-2665, Hunedoara, Romania, ISIRR 2009, Vol. 7, No. Fasciclu 4, ISSN 1584-2665.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Threats imposed on children in traffic - mapping of risks per municipalities in Serbia, *Safe children in safe communities, The first regional southeastern Europe conference on safe communities*, Novi Sad.
- Liu, C., Chen, C., 2004. Time Series Analysis and Forecast of Annual Crash Fatalities. *Research Note. NCSA DOT HS 809 717, U.S., Department Of Transportation National Highway Traffic Safety Administration.*
- Lord, D., 2000. The prediction of accidents on digital networks: characteristics and issues related to the application of accident prediction models. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto.
- Lord, D., 2006. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the Estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis and Prevention* 38 (4), 751–766
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305.
- Lord, D., Persaud, B.N., 2000. Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. *Transportation Research Record* 1717, 102–108
- 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 and Prevention* 37 (1), 35–46..

- MacNab, Y.C., 2004. Bayesian spatial and ecological models for small-area crash and injury analysis. *Accident Analysis and Prevention* 36 (6), 1019–1028. Mahalel, D., 1986. A note on accident risk. *Transportation Research Record* 1068, 85–89.
- Mannering, F.L., Hamed, M.M., 1990. Occurrence, frequency, and duration of commuters' work-to-home departure delay. *Transportation Research Part B: Methodological* 24 (2), 99–109.
- Mannering, F.L., 1993. Male/female driver characteristics and accident risk: Some new evidence. *Accident Analysis & Prevention* 25 (1), 77–84.
- Mannering, F., Kim, S.-G., Barfield, W., Ng, L., 1994. Statistical analysis of commuters' route, mode, and departure time flexibility. *Transportation Research Part C* 2 (1), 35–47.
- Mannering, F.L., Bhat, C.R., 2013. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*.
- Martin, J., 2002. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 619–629.
- Memon, A.Q., 2012. Modelling road accidents from national datasets: A case study of Great Britain. Ph thesis, University College London, Centre for Transport Studies.
- Miaou, S. P., Song, J.J., & Mallick, B. K. 2003. Roadway traffic crash mapping: A space-time modeling approach. *Journal of Transportation and Statistics*, 6, 33-58.
- Miaou, S., 1994. The relationship between truck accidents and geometric design of road section: Poisson versus Negative Binomial regression. *Accident Analysis and Prevention* 26(4).
- Miaou, S.-P., Lord, D., 2003. Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: dispersion parameter, functional form, and Bayes versus Empirical Bayes. *Transportation Research Record* 1840, 31–40.
- Miaou, S.-P., Lum, H., 1993. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention* 25 (6), 689–709.
- Miaou, S.P., Song, J. J. 2005. Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: Decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accident Analysis and Prevention* 37 (4), 699–720.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic related units and motor vehicle accident frequencies. *Transportation* 25 (4), 395–413.
- Montella, A., 2010. A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) 571–581.
- Nam, D., Mannering, F., 2000. An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (2), 85–102.
- Nicholson, A., 1998. Analysis of spatial distributions of accidents. *Safety science*, 31(1), 71-91.
- Niemeier, D.A., Morita, J.G., 1996. Duration of trip-making activities by men and women. *Transportation* 23 (4), 353–371.
- Nofal F.H, Saeed A.A.W., 1997. Seasonal variation and weather effects on road traffic accidents in Riyadh City. *Public Health* 111: 51–55.

- Noland, R.B., Quddus, M.A. and Ochieng, W.Y., 2006. The effect of the congestion charge on traffic casualties in London: an intervention analysis, Presented at the Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington, DC, USA, January.
- Norrman J, Eriksson M, Lindqvist S. 2000. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* 15: 185–193
- Oppe, S., 1979. The use of multiplicative models for analysis of road safety data, *Accident Analysis and Prevention*, 11(2), pp. 101-115.
- Oppe, S., 1991. Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations. *Accid. Anal. and Prev.* 23(5):413-422.
- O'Sullivan, D., & Unwin, D.J. (2003). *Geographic information analysis*. John Wiley & Sons.
- Park, Y.P., Sahaji, R., 2013. Safety network screening for municipalities with incomplete traffic volume data. *Accident Analysis and Prevention* 50 (2013) 1062– 1072.
- Partyka, S.C., 1984. Simple models of fatality trends using employment and population data. *Accident Analysis and Prevention*. 16:211-222.
- Partyka, S.C., 1991. Simple models of fatality trends revisited seven years later. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):423-430; 1991.
- Paselk, T., Mannering, F., 1993. Use of duration models for predicting vehicular delay at a US/Canadian border crossing. *Transportation* 21, 249±270.
- Pei, J., Ding, J., & District, H., 2005. Improvement in the quality control method to distinguish the black spots of the road. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* (Vol. 5, pp. 2106-2113).
- Pei, X., Wong S.c. et al., 2011. A joint-probability approach to crash prediction models. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 1160–1166.
- Persaud, Bhagwant N., Mucsi, Kornel, 1995. Microscopic accident potential models for two-lane rural roads. *Transport. Res. Rec.* 1485, 134– 139.
- Pfundt, K., 1969. Three difficulties in the comparison of accident rates. *Accident Analysis and Prevention*. 1:253-259.
- Plug, C., Xia, J., et al., 2011. Spatial and temporal visualisation techniques for crash analysis. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 1937– 1946.
- Poch, M., Mannering, F., 1996. Negative binomial analysis of intersection accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering* 122, 391–401.
- Pollock, D.S. G., Green, R.C., & Nguyen, T. (Eds.). (1999). *Handbook of time series analysis, signal processing, and dynamics*. Academic Press.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 317-325.
- Qin, X., Ivan, J.N., Ravishankar, N., 2004. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis and Prevention* 36 (2), 183–191.

- Qin, X., Ivan, J., Ravishanker, N. et al. 2006. Bayesian estimation of hourly exposure functions by crash type and time of day. *Accident Analysis and Prevention*. 38 (2006) 1071–1080.
- Quddus, M.A., 2008. Time series count data models: an empirical application to traffic accidents. *Accid. Anal. Prev.* 40 (5), 1732–1741
- Quddus, M., 2011. Time series count data models: An empirical application to traffic accidents. *Safety Science* 49 (2011) 1246–1251.
- Radun, I., & Radun, J.E., 2006. Seasonal variation of falling asleep while driving: an examination of fatal road accidents. *Chronobiology international*, 23(5), 1053-1064.
- Ramstedt, M., 2008. Alcohol and fatal accidents in the United States—A time series analysis for 1950–2002. *Accident Analysis and Prevention* 40 (2008) 1273–1281.
- Sabel, C., Kingham, S., Nicholson, A., & Bartie, P., 2005. Road Traffic Accident Simulation Modelling-A Kernel Estimation Approach. In *The 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, Dunedin, New Zealand* (pp. 67-75).
- Schultz, G.G., Johnson, E.S., Black, C.W., Francom, D., & Saito, M., 2012. Traffic & Safety Statewide Model and GIS Modeling (No. UT-12.06).
- Scott, P. P., 1986. Modelling time-series of British road accident data. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):109-117; 1986.
- Shankar, V., Milton, J., Mannering, F.L., 1997. Modeling accident frequency as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis and Prevention* 29 (6), 829–837.
- Shankar, V.N., Albin, R.B., Milton, J.C., Mannering, F.L., 1998. Evaluating median cross-over likelihoods with clustered accident counts: an empirical inquiry using random effects negative binomial model. *Transportation Research Record* 1635, 44–48.
- 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.
- Siddiqui, C., Abdel-Aty, M., & Choi, K., 2012. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 382-391.
- Smeed, R.J. 1949. Some statistical aspects of road safety research. *Journal of the Royal Statistical Society A*, 112(1), 1–24.
- Songchitruksa, P., Balke, K.N., 2006. Assessing weather, environment, and loop data for real-time freeway incident prediction. *Transport Research Record*, 105–113 (1959).
- Sorensen, M., Elvik, R., 2007. *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best Practice Guidelines and Implementation Steps*, The Institute of Transport Economics (TOI), ISBN: 978-82-480-0810-1.
- Sørensen, M., Elvik, R., 2008. *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks-Best Practice Guidelines and Implementation Steps*, 6th Framework Programme RIPCORDER ISEREST- Deliverable.
- Stathopoulos, A., Karlaftis, M.G., 2002. Modeling duration of urban traffic congestion. *Journal of Transportation Engineering* 128 (6), 587–590.

- Stipdonk, H.L. (Ed.), 2008. Time series applications on road safety developments in Europe. Deliverable D7.10 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Sukhaia, A., Jonesa, A., Lovea, B., S., et al., 2011. Temporal variations in road traffic fatalities in South Africa. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 421–428.
- Tarko, A.P., Kanodia, M., 2004. Effective and Fair Identification of Hazardous Locations. Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting, Washington D.C.
- TRB, 1994. "Highway capacity manual: special report 209." Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- Van den Bossche, F., Wets, G., Brijs, T., 2004. A Regression Model with ARIMA Errors to Investigate the Frequency and Severity of Road Traffic Accidents, R-00-2002-01, Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Wang, J.J., 1996. Timing utility of daily activities and its impact on travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 30 (3), 189–206.
- Wang, X., Abdel-Aty, M., 2006. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1137–1150.
- Washington, S.P., Karlaftis, M.G., & Mannering, F.L. (2003). *Statistical and economic methods for transportation data analysis*. Chapman & Hall.
- Whitfield, R.A.; Fife, D., 1987. Changing patterns in motor vehicle crash mortality: 1940-1980. *Accident Analysis and Prevention*. 19(4):261-269.
- Yamamoto, T., Kitamura, R., 2000. An analysis of household vehicle holding durations considering intended holding durations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (5), 339–351.
- Yannis, G., Antoniou, C., Papadimitriou, E., 2011. Autoregressive nonlinear timeseries modeling of traffic fatalities in Europe. *European Transport Research Review* 3, 113–127.
- Zlatoper, T.J., 1984. Regression analysis of time-series data on motor vehicle deaths in the United States. *J. Transp. Econ. Policy*. 18:263-274.
- Zlatoper, T.J., 1989. Models explaining motor vehicle death rates in the United States. *Accident Analysis and Prevention*. 21(2):125-154.

4. ANALIZA FREKVENCIJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA PRIMENOM TEORIJE POUZDANOSTI

4.1 UVOD

4.2 MOGUĆNOSTI POVEZIVANJA OSNOVNIH POSTULATA TEORIJE POUZDANOSTI SA ANALIZOM UČESTALOSTI SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

4.3 DEFINISANJE MODELA

4.4 TESTIRANJE MODELA

4.5 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I DISKUSIJA

4.6 REFERENCE

4.1. UVOD

Frekvencija saobraćajnih nezgoda tradicionalno predstavlja predmet velikog broja istraživanja, pri čemu se u prethodnom periodu javilo mnoštvo različitih pristupa modelovanja nastanka saobraćajnih nezgoda (Lord and Mannering, 2010). Sa aspekta vremenske analize nastanka saobraćajnih nezgoda izdvojila su se dva pristupa: (1) kolektivni (Hauer, 1986; Persaud, 1991; Miaou and Lum, 1993.; Milton and Mannering, 1998.; Golob and Recker, 2003), koji utvrđuje učestalost saobraćajnih nezgoda tokom nekog dužeg vremenskog perioda i (2) pojedinačni (Hughes and Council, 1999; Lee, et al., 2003; Golob and Recker, 2004), koji utvrđuje verovatnoću nastanka saobraćajnih nezgoda u realnom vremenu (Abdel-Aty and Pande, 2007).

Teorija pouzdanosti bavi se pitanjima proračuna, eksperimentalnih ocena, obezbeđenja i optimizacije pouzdanosti tehničkih sistema (Ushakov and Harrison, 1994). Teorija pouzdanosti tehničkih sistema nastala je na pretpostavci univerzalnosti vremenske dimenzije i praćenju promena u nekom sistemu tokom vremena. Drugim rečima, u prvi plan je stavljena analiza negativnih pojava u nekom sistemu tokom vremena, bez obzira na lokaciju sistema. Stoga je, pored tačnih podataka o momentu nastanka pojave koja se prati, neophodno i poznavanje strukture sistema, kao i veza i međuzavisnosti između elemenata unutar sistema. Široko polje primene teorije pouzdanosti i tehničkog opsluživanja uticalo je na brojnost pristupa i nivoa izučavanja problema pouzdanosti (Ushakov and Harrison, 1994; O'Connor et al., 2002; Rausand and Høyland, 2004; Dhillon, 2005). Matematički pristup u analizi pouzdanosti obuhvata opšte probleme bez obzira na prirodu sistema. Stoga se u inženjerstvu opšti matematički modeli prilagođavaju stvarnim problemima i služe za njihovo rešavanje.

U analizi promene stanja realnih sistema osnovna pretpostavka je da je vreme uniformno i aposlutno. U skladu sa ovom hipotezom, redosled analize je sledeći: 1. vreme (kada i koliko često), 2. prostor (gde i u kom delu). Teorija pouzdanosti zasnovana je na analizi pojave otkaza, odnosno trajanju perioda bezotkaznog rada u koordinatnom sistemu vreme-stanje. Proces neprekidnog odvijanja saobraćaja, posmatran kao sistem, može se uporediti sa bezotkaznim radom tehničkog sistema.

U dosadašnjim istraživanjima nije bilo značajnijih pokušaja primene zakona teorije pouzdanosti u analizi nastanka saobraćajnih nezgoda, a prva istraživanja na ovu temu objavili su Jovanović i dr. 2011 (Jovanović et al., 2011, Bačkalić et al., 2013).

U ovom poglavlju testirana je **osnovna hipoteza 1** koja glasi “*Frekvenciju saobraćajnih nezgoda, na bazi pojedinačnog pristupa, može se analizirati posmatranjem vremena između dve uzastopne nezgode.*” U nastavku je pokazan model koji se bazira na teoriji pouzdanosti, a pomoću koga je moguće odrediti verovatnoću i predviđanje pojave saobraćajnih nezgoda. Pojava saobraćajnih nezgoda na deonicama puta analizirana je sa vremenskog aspekta, odnosno analizirana je pojava saobraćajnih nezgoda u koordinatnom sistemu vreme-stacionaža.

4.2. MOGUĆNOSTI POVEZIVANJA OSNOVNIH POSTULATA TEORIJE POUZDANOSTI SA ANALIZOM UČESTALOSTI SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

U teoriji pouzdanosti tehnički sistemi predstavljaju formalne objekte izučavanja. Oni se mogu predstaviti kao složeni tehnički sistemi, odnosno strukture sastavljene od nedeljivih sastavnih delova - elemenata. Delovi sistema mogu biti složeni (podsistemi) ili prosti (*nedeljive komponente ili jedinice*). Jedinice su sastavni delovi sistema za koje u okvirima zadatih istraživanja nema potrebe za daljim raščlanjivanjem. *Složeni sistemi* za razliku od prostih, posmatraju se kao sklopovi sastavljeni od podсистema. Ako je strukturna analiza sprovedena do nivoa da podсистemi imaju karakter prostih sistema, tada se takvi podсистemi nazivaju elementima (Ushakov and Harrison, 1994).

U dosadašnjim istraživanjima u oblasti bezbednosti saobraćaja, kao složenog i heterogenog sistema, nije bilo pokušaja sagledavanja procesa nastanka saobraćajnih nezgoda sa aspekta pouzdanosti sistema. Analogno definisanju pouzdanosti tehničkog sistema (Ushakov and Harrison, 1994; Dhillon, 2005), pod pouzdanošću u sistemu bezbednosti saobraćaja može se podrazumevati svojstvo sistema da ispuni zadate funkcije u određenom vremenskom intervalu i da pri tom održi utvrđene projektovane karakteristike u zadatim granicama, u odgovarajućim uslovima eksploatacije i nivoa regulisanja saobraćaja.

Pri posmatranju saobraćaja na putevima i nastanka saobraćajne nezgode, odnosno prekida odvijanja saobraćaja usled neplaniranog i neželjenog događaja, uočeni su mnogi slični procesi i zavisnosti koje proučava teorija pouzdanosti tehničkih sistema (npr. saobraćajna nezgoda = otkaz). Saobraćajna nezgoda izaziva prekid odvijanja saobraćaja i zahteva hitnu reakciju radi što bržeg ublažavanja i neutralisanja saobraćajnog zagušenja.

Pored pokušaja analize procesa odvijanja saobraćaja sa aspekta pouzdanosti tehničkih sistema, drugi zadatak u postupku poređenja predstavlja pojmovno definisanje. Dati postupak zahteva analizu pojmova i stanja u teoriji pouzdanosti, a zatim pronalaženje potencijalnih sličnih pojava i stanja u teoriji bezbednosti saobraćaja, odnosno modelu za analizu učestalosti saobraćajnih nezgoda. Time su pojmovi iz teorije pouzdanosti dobili svoje ekvivalentne pojmove u modelu za analizu učestalosti saobraćajnih nezgoda.

Bezbednost saobraćaja obuhvata mnogo širu oblast i sadrži značajno više disciplina i činilaca nego pouzdanost tehničkih sistema. U tehničkom sistemu otkaz izaziva prekid rada sistema i zahteva akciju opravke ili zamene, tj. obnove sistema, a zatim i ponovno puštanje sistema u pogon. U procesu odvijanja saobraćaja, nastanak saobraćajne nezgode izaziva zastoj ili značajno usporenje saobraćaja, ali po završetku uviđaja (odlazak policije i drugih službi sa mesta nezgode) odvijanje saobraćaja spontano i relativno brzo se vraća u standardni režim. Saobraćajna nezgoda ima karakter iznenadnog otkaza, odnosno trenutno prevodi sistem iz radno sposobnog (ispravnog) stanja u stanje otkaza. U skladu sa ovim, osnovnim pojmom, izvršeno je terminološko preslikavanje iz teorije pouzdanosti tehničkih sistema u teoriju bezbednosti drumskog saobraćaja. U tabeli 4.1. dat je pregled terminološkog preslikavanja osnovnih termina. U nastavku rada biće dat matematički prikaz definisanja modela.

Tabela 4.1. Terminološko preslikavanje iz teorije pouzdanosti tehničkih sistema u teoriju bezbednosti drumskog saobraćaja

Pouzdanost tehničkih sistema	Bezbednost drumskog saobraćaja
sistem	put
elemenat sistema	deonica puta
otkaz	saobraćajna nezgoda
intenzitet otkaza	učestalost saobraćajnih nezgoda
pouzdanost	pouzdanost
nepouzdanost	nepouzdanost
srednje vreme između dva otkaza	srednje vreme između dve nezgode
bezotkazni rad	period bez nezgoda
obnavljanje	uspostavljanje saobraćaja

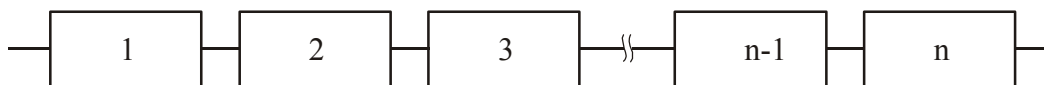
4.3. DEFINISANJE MODELA

Matematička predstava pokazatelja pouzdanosti povezana je sa teorijom verovatnoće i matematičkom statistikom. U teoriji pouzdanosti primenjuju se obrasci različitih statističkih raspodela kako bi se aproksimirali realni procesi koji opisuju sistem (MIL-HDBK-338B, 1998; Kececioglu, 2002; Pham, 2003; Rausand and Høyland, 2004; Dhillon, 2005; Ramović, 2005; Čatić, 2009; Ivanović i dr., 2010). Funkcija pouzdanosti i funkcija intenziteta otkaza su jedinstveni, tj. određenoj funkciji pouzdanosti odgovara samo određena funkcija intenziteta otkaza i obrnuto. Kada je slučajna promenljiva veličina (vreme) kontinualnog tipa tada se zakoni raspodele pojavljivanja otkaza mogu ponašati po: eksponencijalnoj raspodeli, normalnoj, lognormalnoj, Vajbulovoj, Gama, Beta, Studentovoj, Fišerovoj, Snedekorovoj raspodeli. Kada je slučajna promenljiva veličina diskretnog tipa tada se koriste: binomna, Poasonova, geometrijska ili hipergeometrijska raspodela.

Poasonova raspodela događaja u stohastičkim saobraćajnim procesima ima značajnu ulogu, a model koji sledi u nastavku rada pokazao je da vremenski razmaci između dve saobraćajne nezgode imaju eksponencijalnu raspodelu. Stoga će u nastavku rada biti prikazani samo obrasci koji se odnose na eksponencijalnu raspodelu sistema čiji su elementi u rednoj vezi, što je slučaj sa deonicama puta za koje je model i predviđen.

Pored matematičke predstave, u procesu analize pouzdanosti značajno mesto zauzima i proučavanje strukture sistema i unutrašnjih veza. Stoga je pri određivanju pouzdanosti puta neophodna preliminarna analiza kojom bi se utvrdila njegova struktura i stepen složenosti, odnosno definisanje elemenata sistema tj. deonica. Svaki put kao složen

sistem, sastoji se od n elemenata-deonica (slika 4.1.), pri čemu otkaz bilo kog elementa izaziva otkaz celog sistema.



Slika 4.1. Put posmatran kao sistem

Teorija pouzdanosti koristi razne statističke raspodele kako bi se aproksimirali realni procesi koji opisuju sistem, kao što je na primer raspodela vremena između dva događaja. Pretpostavka modela je da odvijanje saobraćaja na deonici puta započinje u trenutku $t=0$, a vremenski period bez nezgoda je interval $[0, T_1]$, gde je T_1 momenat nastanka prve saobraćajne nezgode. Sledeći period bez saobraćajne nezgode je interval $[T_1, T_2]$, gde je T_2 momenat nastanka druge saobraćajne nezgode.

Poasonova raspodela događaja u stohastičkim saobraćajnim procesima ima značajnu ulogu i predstavlja polaznu raspodelu za većinu analiza (Jovanis and Chang, 1986; Elvik and Vaa, 2004; Shankar et al., 2008). Osnovno obeležje Poasonovih procesa je kontinualno prebrojavanje događaja koji poseduju sledeće osobine: nezavisni su, stacionarni i nema brojnih istovremenih dešavanja. Homogene Poasonovske procese odlikuje stopa parametra λ , koji predstavlja očekivani broj događaja ili dolazaka koji se dešava u jedinici vremena. Ako potok događaja ima Poasonovu raspodelu, tada se vreme između pojave dva događaja može opisati sa eksponencijalnom raspodelom sa parametrom λ . Stoga je usvojeno da se sve empirijske raspodele trajanja perioda bez nezgoda mogu zameniti sa odgovarajućim eksponencijalnim raspodelama.

Parametri pouzdanosti puta sa vremenskog aspekta za Poasonovske procese izračunati su prema obrascima koji se koriste u teoriji pouzdanosti tehničkih sistema (formule (4.1)-(4.77)) (Ushakov and Harrison, 1994; O'Connor et al., 2002; Rausand and Høyland, 2004; Dhillon, 2005).

4.3.1. Određivanje pouzdanosti puta

Odvijanje saobraćaja na deonici započinje u trenutku $t=0$, a pretpostavka je da nezgode nastaju trenutno i da je prekid saobraćaja potpun. Period bez nezgoda je interval $[0, T]$, gde je T momenat nastanka nezgode ili vreme između dve nezgode. Momenat nezgode T je slučajna veličina neprekidnog tipa sa gustinom raspodele:

$$f(t) \text{ za } t > 0, (f(t) = 0 \text{ za } t < 0) \quad (4.1)$$

Funkcija gustine raspodele vremena između dve nezgode $f(t)$ ($f_s(t)$ - put, $f_i(t)$ - i -ta deonica puta), predstavlja meru brzine dešavanja nezgoda.

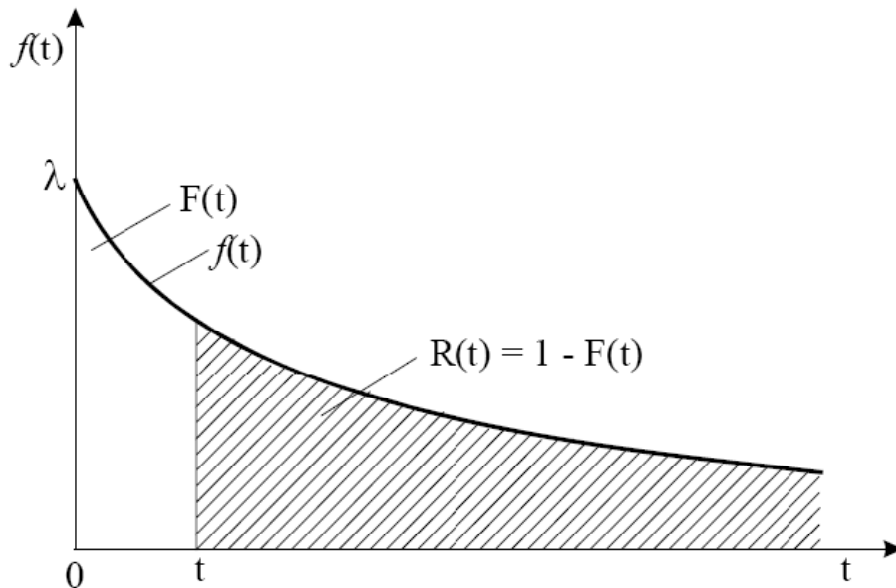
Funkcija raspodele $F(t)$ ($F_s(t)$ - put, $F_i(t)$ - i -ta deonica puta) slučajne promenljive T (vreme između dve nezgode) jednaka je verovatnoći da će se nezgoda desiti do momenta t . Ova funkcija se naziva i funkcijom nepouzdanosti:

$$F(t) = P(T < t) = \int_0^t f(t) dt \quad (4.2)$$

Pomoću funkcije nepouzdanosti $F(t)$ uvodi se funkcija pouzdanosti $R(t)$ ($R_s(t)$ - put, $R_i(t)$ - i -ta deonica puta), kao verovatnoća vremena bez nezgoda do momenta t :

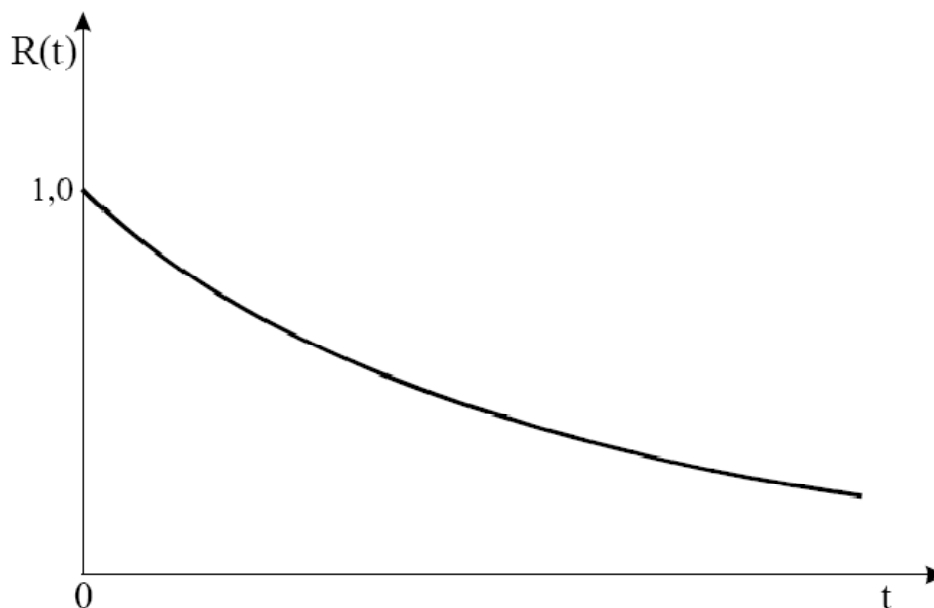
$$R(t) = 1 - F(t) = P(T > t), t \geq 0 \quad (4.3)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (4.4)$$



Slika 4.2. Oblik eksponencijalne raspodele

Oblik eksponencijalne raspodele prikazan je na slici 4.2, dok je oblik funkcije pouzdanosti prikazan na slici 4.3.



Slika 4.3. Funkcija pouzdanosti za eksponencijalnu raspodelu

Srednje vreme između dve uzastopne nezgode T_0 ($T_{0s}(t)$ - put, $T_{0s}(t)$ -i-ta deonica puta), dobija se kao matematičko očekivanje slučajne promenljive T :

$$T_0 = M(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt \quad (4.5)$$

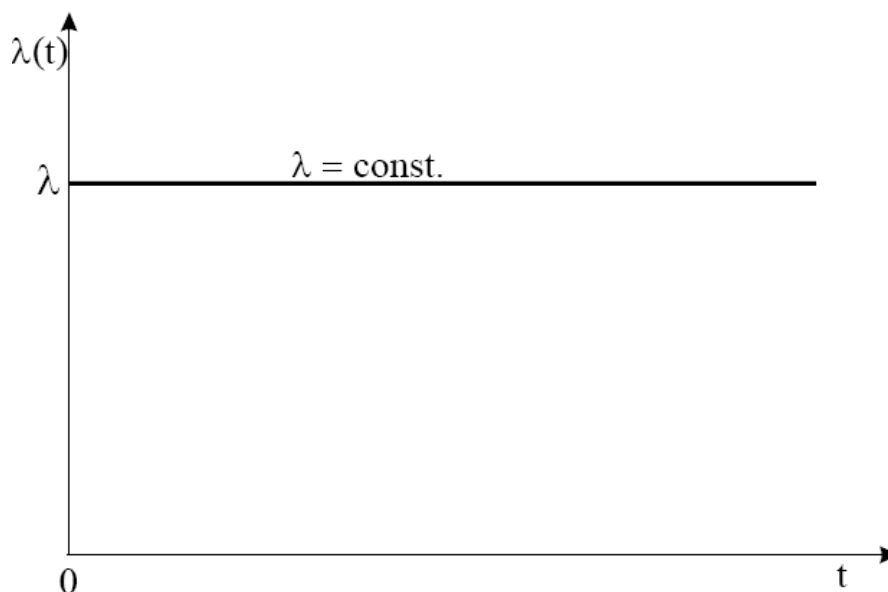
Posle parcijalne integracije dobija se:

$$T_0 = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (4.6)$$

Učestalost nezgoda $\alpha(t)$ ($\alpha_s(t)$ - put, $\alpha_i(t)$ -i-ta deonica puta), takođe, predstavlja značajnu i široko korišćenu karakteristiku pouzdanosti i predstavlja meru trenutne brzine nastanka nezgoda. $\alpha(t)$ se može izraziti u raznim jedinicama vremena i zavisi od toga koja se vremenska jedinica koristi za računanje T_0 (min^{-1} , h^{-1} , godina^{-1}):

$$\alpha = - \frac{R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4.7)$$

U slučaju eksponencijalne raspodele intenzitet nezgoda ne zavisi od vremena i uvek ima konstantnu vrednost. To znači da se određivanjem parametra λ eksponencijalne raspodele istovremeno dobija i vrednost intenziteta nezgoda. Intenzitet nezgoda se tada može predstaviti pravom linijom (slika 4.4.).



Slika 4.4. Funkcija intenziteta otkaza u slučaju eksponencijalne raspodele

Pošto je usvojeno da se sve empirijske raspodele vremena bez nezgoda mogu zameniti sa odgovarajućim eksponencijalnim raspodelama, parametri pouzdanosti izračunati su primenom sledećih izraza.

Funkcija gustine raspodele nezgoda i -te deonice:

$$f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}, \text{ gde je } \lambda_i > 0, t \geq 0 \quad (4.8)$$

Funkcija raspodele nezgoda na i -toj deonici - funkcija nepouzdanosti i -te deonice je:

$$F_i(t) = \int_0^t f_i(t) dt = \int_0^t \lambda_i e^{-\lambda_i t} dt = 1 - e^{-\lambda_i t} \quad (4.9)$$

Funkcija pouzdanosti i -te deonice je:

$$R_i(t) = 1 - F_i(t) = 1 - \int_0^t \lambda_i e^{-\lambda_i t} dt = e^{-\lambda_i t} \quad (4.10)$$

Srednje vreme između dve uzastopne nezgode na i -toj deonici je:

$$T_{0i}(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_i t} dt = \frac{1}{\lambda_i} \quad (4.11)$$

Funkcija učestalosti nezgoda na i -toj deonici je:

$$\alpha_i(t) = \frac{f_i(t)}{R_i(t)} = \frac{\lambda_i \cdot e^{-\lambda_i t}}{e^{-\lambda_i t}} = \lambda_i = \text{const} \quad (4.12)$$

Očekivani broj nezgoda u određenom periodu $A(t)$ ($A_S(t)$ - put, $A_i(t)$ - i -ta deonica puta) se računa kao:

$$A_i(t) = \lambda_i \cdot t \quad (4.13)$$

gde je t - trajanje određenog vremenskog perioda izraženog u jedinici vremena kao i λ .

Ako je vremenska jedinica ista kao i trajanje posmatranog perioda, frekvencija nezgoda $\alpha(t)$ i očekivani broj nezgoda $A(t)$ biće ista vrednost.

4.3.2. Određivanje pouzdanosti puta kod koga su deonice u rednoj vezi

Prilikom analize pouzdanosti nekog kompleksnog sistema neophodno je da se sistem posmatra kao blok dijagram. Naime, sistem se razlaže na funkcionalne celine podsisteme, elemente, delove. Pouzdanost puta je uslovljena pouzdanošću deonica koje ga sačinjavaju.

Sistemi mogu biti vremenski nezavisni ili vremenski zavisni. Posmatrani put predstavlja prost sistem, jer su deonice redno povezane. Pošto su deonice nezavisne u smislu pouzdanosti, funkcija pouzdanosti puta je jednaka:

$$R_S(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) \quad (4.14)$$

U datom slučaju funkcija pouzdanosti puta ima sledeći oblik:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (4.15)$$

gde je:

$R_S(t)$ - funkcija pouzdanosti puta;

$R_i(t)$ - funkcija pouzdanosti i -te deonice puta.

Ako se funkcije pouzdanosti izraze pomoću učestalosti nezgoda funkcija pouzdanosti puta je jednaka:

$$e^{-\int_0^t \lambda_S(t) dt} = \prod_{i=0}^n e^{-\int_0^t \lambda_i(t) dt} = e^{-\int_0^t \sum_{i=0}^n \lambda_i(t) dt} \quad (4.16)$$

iz toga sledi:

$$\lambda_S(t) = \sum_{i=0}^t \lambda_i(t) dt \quad (4.17)$$

Pošto je u pitanju serijska veza, u slučaju eksponencijalne raspodele, parametar λ_S puta jednak je sumi parametara λ_i deonica.

U slučaju eksponencijalne raspodele intenziteti otkaza deonica su konstantni $\lambda_i(t) = \lambda = const$, a parametar λ_S puta jednak je sumi parametara λ_i deonica pa prethodna relacija dobija oblik:

$$\lambda_S = \sum_{i=0}^n \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (4.18)$$

Tada funkcija pouzdanosti puta ima sledeći oblik:

$$R_S(t) = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots e^{-\lambda_n t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) t} \quad (4.19)$$

gde je:

$R_S(t)$ - funkcija pouzdanosti puta;

λ_i - učestalost saobraćajnih nezgoda i -te deonice puta.

Funkcija raspodele nezgoda puta ili funkcija nepouzdanosti puta ima sledeći oblik:

$$F_S(t) = 1 - R_S(t) \quad (4.20)$$

$$F_S(t) = 1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) t} \quad (4.21)$$

Funkcija gustine raspodele nezgoda puta jednaka je:

$$f_S(t) = F'_S(t) = -R'_S(t) \quad (4.22)$$

U posmatranom slučaju određena je na sledeći način:

$$f_S(t) = [\lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t)] \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) t} \quad (4.23)$$

Srednje vreme odvijanja saobraćaja na putu do prve nezgode izračunava se prema sledećem obrascu:

$$T_{oS} = \int_0^{\infty} R_S(t) dt \quad (4.24)$$

U posmatranom slučaju srednje vreme između dve nezgode izračunato je prema sledećem obrascu:

$$T_{oS} = \int_0^{\infty} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} dt \quad (4.25)$$

Rešenje datog integrala ima sledeći oblik:

$$T_{oS} = \frac{1}{[\lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t)]} = \frac{1}{\lambda_S} \quad (4.26)$$

4.3.3. Osnovne karakteristike procesa uspostavljanja saobraćaja

U prethodnom delu utvrđeni su osnovni parametri pouzdanosti puta i deonica do prve saobraćajne nezgode.

Teorija obnavljanja proučava stohastičke procese gde se događaji odvijaju po određenoj statističkoj raspodeli i to tako da uvek kada se odigra događaj, proces ponovo započinje, čime se odigralo obnavljanje (Ramović, 2005). U datom modelu termin obnavljanje se odnosi na ponovno uspostavljanje saobraćaja na datoj deonici.

Odvijanje saobraćaja na putu i deonicama predstavlja proces koji se obnavlja, tj. nakon obavljanja uviđaja saobraćaj na deonici se ponovo uspostavlja. Trajanje prekida saobraćaja je zanemarljivo malo u odnosu na vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode, pa je proračun pouzdanosti puta i deonica izvršen s pretpostavkom da se uspostavljanje saobraćaja vrši trenutno. Takođe, pretpostavlja se da su vremena nastanka nezgoda na deonicama međusobno nezavisna i da odvijanje saobraćaja, kao i ponovno uspostavljanje saobraćaja na jednoj deonici ne utiču na pouzdanost ostalih deonica.

Momenti nastanka nezgoda na deonici, odnosno momenti uspostavljanja saobraćaja na deonicama, $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ obrazuju proces obnavljanja (slika 4.5.).



Slika 4.5. Proces obnavljanja

Proces obnavljanja možemo smatrati prostim, pošto su slučajne promenljive T_1, T_2, \dots, T_n nezavisne i sa istom raspodelom verovatnoća. Pretpostavljeno je da su procesi obnavljanja Poasonovi, iz čega sledi da vremenski razmaci između dva obnavljanja, odnosno dve uzastopne nezgode, imaju eksponencijalnu raspodelu.

$$\tau_n = t_1 + t_2 + \dots + t_n \quad (4.27)$$

Ako je prost proces obnavljanja Poasonovski proces sa intenzitetom λ , tada su funkcija pouzdanosti i srednje vreme odvijanja saobraćaja do nezgode:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.28)$$

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (4.29)$$

zatim, gustina raspodele slučajne promenljive T_1 postaje:

$$f_1(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4.30)$$

Iz toga sledi da slučajna promenljiva T_1 ima istu gustinu raspodele kao i veličine T_2, T_3, \dots, T_n , što znači da je Poasonovski proces i prost proces obnavljanja.

Intenzitet nezgoda u slučaju eksponencijalne raspodele vremena odvijanja saobraćaja između nezgoda, nije u funkciji vremena, nego je konstantan, $\alpha(t) = \lambda = \text{const}$. Znači da, verovatnoća nastanka nezgode, odnosno intenzitet nezgoda, na intervalu vremena $(t, t + \Delta t)$, za proizvoljnu vrednost t , ne zavisi od dužine perioda neprekidnog odvijanja saobraćaja ("starosti" elementa). Iz ovih postavki izvode se sledeći zaključci:

- može se smatrati da je nemoguće da se dogode dva ili više obnavljanja u malom vremenskom intervalu dužine Δt ;
- na pojavu otkaza (obnavljanja), u intervalu $(t, t + \Delta t)$, ne utiče tok procesa koji se odvijao do momenta t .

4.3.3.1. Vreme do n - tog uspostavljanja saobraćaja

Ako je zbog nezgoda na deonicama saobraćaj ponovo uspostavljen u momentima vremena T_1, T_1+T_2, \dots ; onda je na n -toj deonici saobraćaj uspostavljen u momentu:

$$t = T_1 + T_2 + \dots + T_n \quad (4.31)$$

Funkcija raspodele vremena t_n do n -tog uspostavljanja saobraćaja je:

$$F(t) = P(t_n < t) = P(T_1 + T_2 + \dots + T_n < t) \quad (4.32)$$

Gustina raspodele slučajne promenljive t_n je:

$$f_n(t) = F_n'(t) \quad (4.33)$$

U prostom procesu obnavljanja slučajne promenljive T_1, T_2, \dots, T_n imaju istu raspodelu verovatnoća okarakterisanu funkcijom raspodele $F(t)$ i gustom raspodele $f_n(t) = F_n'(t)$. U prostom procesu obnavljanja je:

$$F_1(t) = F(t), f_1(t) = f(t) \quad (4.34)$$

Pretpostavljeno je da su procesi obnavljanja Poasonovi, iz čega sledi da vremenski razmaci između dva obnavljanja, odnosno dve uzastopne nezgode, imaju eksponencijalnu raspodelu sa parametrom λ :

$$T_1; T_2; \dots; T_n \quad f(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.35)$$

Laplasova transformacija gustine raspodele slučajne promenljive t_n je:

$$\mathcal{L}(f(t)) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-st} \lambda e^{-\lambda t} dt = \lambda \int_0^{\infty} e^{-t(s+\lambda)} dt \quad (4.36)$$

Rešavanjem datog integrala Laplasova transformacija je:

$$\mathcal{L}(f(t)) = \frac{\lambda}{\lambda + s} \quad (4.37)$$

Za slučaj prostog procesa obnavljanja sledi:

$$f_n(t) = [f(s)]^n \quad (4.38)$$

Kod prostog Poasonovog procesa obnavljanja je:

$$f_n(s) = \left[\frac{\lambda}{\lambda + s} \right]^n \quad (4.39)$$

Primenom inverzne Laplasove transformacije dobija se da je gustina vremena do n -tog uspostavljanja saobraćaja jednaka:

$$f_{ni}(t) = \frac{\lambda_i (\lambda_i t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda_i t} \quad (4.40)$$

Znači da u prostom procesu obnavljanja vreme do n -tog obnavljanja ima Erlangovu raspodelu n -tog reda, pošto vreme rada bez otkaza kod Poasonovog procesa ima eksponencijalnu raspodelu (Erlangova raspodela prvog reda).

4.3.3.2. Broj uspostavljanja saobraćaja za vreme t

Raspodela verovatnoća broja uspostavljanja saobraćaja slučajne promenljive $N(t)$ određuje se iz izraza:

$$P_n(t) = P[N(t) = n] = F_n(t) - F_{n+1}(t) \quad (4.41)$$

gde su: $F_n(t)$ i $F_{n+1}(t)$ - odgovarajuće funkcije raspodele.

Pri tom su:

$$F_n(t) = \int_0^t f_n(t) dt ; F_{n+1}(t) = \int_0^t f_{n+1}(t) dt \quad (4.42)$$

Izračunavanjem funkcija raspodele $F_n(t)$ i $F_{n+1}(t)$, u slučaju Poasonovskog procesa, dobijaju se oblici:

$$F_n(t) = \int_0^t \frac{\lambda (\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda t} dt = \int_0^t \frac{\lambda \lambda^{n-1} t^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda t} dt \quad (4.43)$$

$$F_n(t) = \frac{\lambda^n}{(n-1)!} \int_0^t t^{n-1} e^{-\lambda t} dt \quad (4.44)$$

$$F_{n+1}(t) = \int_0^t \frac{\lambda (\lambda t)^{n-1+1}}{(n-1+1)!} e^{-\lambda t} dt = \int_0^t \frac{\lambda (\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} dt \quad (4.45)$$

Rešenje integrala funkcije $F_{n+1}(t)$ ima sledeći oblik:

$$F_{n+1}(t) = \frac{\lambda}{(n-1)!} \int_0^t (\lambda t)^{n-1} e^{-\lambda t} dt - \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (4.46)$$

Pošto je broj uspostavljanja saobraćaja $P_n(t) = F_n(t) - F_{n+1}(t)$, sledi da je:

$$P_n(t) = \frac{\lambda^n}{(n-1)!} \int_0^t t^{n-1} e^{-\lambda t} dt - \frac{\lambda}{(n-1)!} \int_0^t (\lambda t)^{n-1} e^{-\lambda t} dt + \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (4.47)$$

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (4.48)$$

4.3.3.3. Funkcija uspostavljanja saobraćaja

Funkcija uspostavljanja saobraćaja predstavlja matematičko očekivanje broja uspostavljanja saobraćaja, odnosno srednji broj uspostavljanja saobraćaja do momenta t :

$$H(t) = M[N(t)] \quad (4.49)$$

Ova funkcija se naziva i funkcijom uspostavljanja saobraćaja. Obzirom da je srednji broj uspostavljanja saobraćaja, odnosno nezgoda, na intervalu (t_1, t_2) jednak:

$$N(t_1, t_2) = N(t_2) - N(t_1) \quad (4.50)$$

sledi:

$$H(t_1, t_2) = M[N(t_1, t_2)] = M[(t_2) - N(t_1)] = M[N(t_2)] - M[N(t_1)] = H(t_2) - H(t_1) \quad (4.51)$$

Kako je:

$$F_n(t) - F_{n+1}(t) = P[N(t) < n+1] - P[N(t) < n] = P[N(t) = n] = P_n(t) \quad (4.52)$$

tada je:

$$\begin{aligned} H(t) = M[N(t)] &= \sum_{n=1}^{\infty} n P_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} n P[N(t) = n] = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} n [F_n(t) - F_{n+1}(t)] = \sum_{n=1}^{\infty} n F_n(t) - \sum_{n=1}^{\infty} n F_{n+1}(t) = \\ &= F_1(t) + 2F_2(t) + \dots - F_2(t) - 2F_3(t) - \dots = F_1(t) + F_2(t) + \dots = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \end{aligned} \quad (4.53)$$

Laplasova transformacija jednakosti:

$$H(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n(t) \quad (4.54)$$

je:

$$\mathcal{L}(H(t)) = H^*(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \mathcal{L}(F_n(t)) = \sum_{n=1}^{\infty} F_n^*(s) \quad (4.55)$$

Pošto je:

$$F_n(t) = \int_0^t f_n(t) dt \quad (4.56)$$

tada je:

$$\mathcal{L}(F_n(t)) = F_n^*(s) = \frac{\mathcal{L}(f_n(t))}{s} = \frac{f_n^*(s)}{s} \quad (4.57)$$

Iz toga sledi da je za prost slučaj uspostavljanja saobraćaja:

$$H^*(s) = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} f_n^*(s) \quad (4.58)$$

Za slučaj stacionarnog procesa uspostavljanja saobraćaja dobija se:

$$H^*(s) = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - f_n^*(s)}{\mu s} [f^*(s)]^{n-1} = \frac{1 - f_n^*(s)}{\mu s^2} \sum_{n=1}^{\infty} [f^*(s)]^{n-1} \quad (4.59)$$

Kod stacionarnog procesa uspostavljanja saobraćaja je:

$$\mathcal{L}(f_n(t)) = \mathcal{L}\left\{\frac{R(t)}{\mu}\right\} = f^*(s) = \frac{1 - f^*(s)}{\mu s} \quad (4.60)$$

odnosno:

$$f^*(s) = \frac{1}{1 + \mu s} \quad (4.61)$$

Iz prethodnog sledi da je:

$$\begin{aligned}
 H^*(s) &= \frac{1 - \frac{1}{1 + \mu s}}{\mu s^2} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1 + \mu s)^{n-1}} = \\
 &= \frac{1}{s(1 + \mu s)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{1 + \mu s}} = \frac{1}{\mu s^2}
 \end{aligned}
 \tag{4.62}$$

Inverznom Laplasovom transformacijom dobija se:

$$H_s(t) = \frac{t}{\mu} \tag{4.63}$$

Iz datog izraza se zaključuje da je u slučaju stacionarnog procesa uspostavljanja saobraćaja matematičko očekivanje broja uspostavljanja saobraćaja na intervalu $(0, t)$ proporcionalno dužini tog intervala. Pošto je kod posmatranog slučaja u pitanju Poasonov proces uspostavljanja saobraćaja prethodni izraz dobija sledeći oblik:

$$H_i(t) = \frac{t}{\mu} = \lambda_i t \tag{4.64}$$

4.3.3.4. Gustina uspostavljanja saobraćaja

Gustina uspostavljanja saobraćaja definiše se na sledeći način:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow +0} \frac{M[N(t, t + \Delta t)]}{\Delta t} = H'(t) \tag{4.65}$$

Za eksponencijalnu raspodelu gustina uspostavljanja saobraćaja imaće sledeći oblik:

$$h_i(t) = \alpha_i(t) = \lambda_i = const \tag{4.66}$$

Iz prethodnog se vidi da gustina uspostavljanja saobraćaja $h(t)$ predstavlja srednji broj uspostavljanja saobraćaja koji se očekuje u malom intervalu vremena iza momenta t . Takođe, može se primetiti da je ona identična sa učestalošću saobraćajnih nezgoda koji je korišćen kod proračunavanja pouzdanosti.

4.3.4. Pouzdanost puta kada se obnavlja saobraćaj po deonicama

U posmatranom modelu deonice puta su u serijskoj vezi, tako da će teoretski deo biti prikazan samo za taj slučaj.

Ako se sa $N_k(t)$ označi slučajni broj nezgoda k -te deonice puta do momenta t ($k = 1, 2, \dots, n$), a sa $N(t)$ slučajan broj nezgoda na putu do momenta t , tada je:

$$N(t) = N_1(t) + N_2(t) + \dots + N_n(t) \quad (4.67)$$

Srednji broj nezgoda sistema do momenta t je jednak:

$$\begin{aligned} H(t) &= M[N_1(t)] + M[N_2(t)] + \dots + M[N_n(t)] = \\ &= H_1(t) \cdot H_2(t) \cdot \dots \cdot H_n(t) \end{aligned} \quad (4.68)$$

gde je:

$H_k(t)$, ($k = 1, 2, \dots, n$) - funkcija uspostavljanja saobraćaja k -te deonice.

Izvod funkcije obnavljanja puta $H(t)$ je gustina uspostavljanja saobraćaja na putu:

$$h(t) = H'(t) \quad (4.69)$$

koja se naziva i intenzitetom nezgoda.

Za izračunavanje verovatnoće neprekinutog odvijanja saobraćaja, bez nezgoda, pretpostavlja se da je potok nezgoda na putu ordinaran, tj. Poasonov potok, tako da se verovatnoća pojave s nezgoda na intervalu (t_1, t_2) može izraziti na sledeći način:

$$P_s(t_1, t_2) = \frac{[H(t_2) - H(t_1)]^s}{s!} e^{-[H(t_2) - H(t_1)]} \quad (4.70)$$

gde je:

$H(t)$ - srednji broj nezgoda na putu za vreme $(0, t)$.

Prethodna formula može se napisati i na sledeći način:

$$P_s(t_1, t_2) = \frac{\left[\int_{t_1}^{t_2} h(t) dt \right]^s}{s!} e^{-\left[\int_{t_1}^{t_2} h(t) dt \right]} \quad (4.71)$$

Ako je funkcija $h(t)$ na intervalu vremena $(t, t + \tau)$ približno konstantna, $h(t) \approx h$, tada izraz za verovatnoću ima sledeći oblik:

$$P_s(t, t + \tau) \approx \frac{(h \tau)^s}{s!} e^{-h \tau} \quad (4.72)$$

Na osnovu prethodnog izvedena je formula za verovatnoću da neće biti nezgode u intervalu vremena $(t, t + \tau)$:

$$P_s(t, t + \tau) \approx e^{-h \tau} = e^{-[H(t+\tau) - H(t)]} \quad (4.73)$$

Kada dužina posmatranog vremenskog intervala teži ka beskonačnosti ($t \rightarrow \infty$) Poasonov potok otkaza sistema postaje stacionaran, tj. prost potok, sa intenzitetom uspostavljanja saobraćaja (brojem nezgoda) sistema $-h_0$. Verovatnoća pojave s saobraćajnih nezgoda ili obnavljanja saobraćaja, u intervalu vremena dužine τ , ne zavisi od položaja tog intervala i izražava se sledećom formulom:

$$P_{si}(\tau) = \frac{(h_i \tau)^s}{s!} e^{-h_i \tau} \frac{(\lambda_i \tau)^s}{s!} e^{-\lambda_i \tau} \quad (4.74)$$

Iz prethodnog obrasca sledi da verovatnoća da neće biti nezgode, u vremenskom intervalu dužine τ , jednaka je:

$$P_{0i}(\tau) = e^{-h_i \tau} e^{-\lambda_i \tau} \quad (4.75)$$

a srednje vreme rada sistema između dva obnavljanja, tj. nezgode je:

$$T_{sr} = \frac{1}{h_0} \quad (4.76)$$

Pošto vremena između dve nezgode na deonicama imaju eksponencijalne raspodele, tj. potoci nezgoda su prosti potoci, tada je i potok nezgoda na putu prost potok i predstavlja zbir potoka deonica. Intenzitet takvog potoka se izračunava na sledeći način:

$$h = \sum_{k=1}^n \lambda_k \quad (4.77)$$

4.4. TESTIRANJE MODELA

Za proveru modela odabran je državni put I reda (nekadašnji put M24) koga čine 20 deonica ukupne dužine 255,113 km (tabela 4.2.). Deonice predstavljaju delove putne mreže između dva uzastopna saobraćajna čvorišta i služe za udovoljenje neprekinutih i neometanih saobraćajnih tokova (Hauer et al., 2002). U tabeli 4.2. data je podela posmatranog puta na deonice za koje je dat početak, kraj svake deonice i njihove dužine.

Svaka deonica je specifična po strukturi i obimu saobraćaja, putnom okruženju, elementima i opremi puta. Put se u okviru modela posmatra kao sistem od 20 elemenata u rednoj (serijskoj) vezi. Analizom podataka o saobraćajnim nezgodama na posmatranom putu, obuhvaćen je period 2005-2011. godine (7 godina). Na taj način dobijen je uzorak od 1.010 nezgoda. Sve saobraćajne nezgode alocirane su po vremenu dešavanja (godina/mesec/čas) i stacionaži puta (kilometar/metar), čime je dobijena vremensko-prostorna raspodela saobraćajnih nezgoda po deonicama. Svi parametri pouzdanosti

posmatranih elemenata i sistema izračunavani su za periode rada od $t=1$ (dan)=24 (h), $t=7$ (dana)=168 (h), $t=30$ (dana)=720 (h) i $t=365$ (dana)=8760 (h).

Tabela 4.2. Podela putnog pravca na mikrodeonice

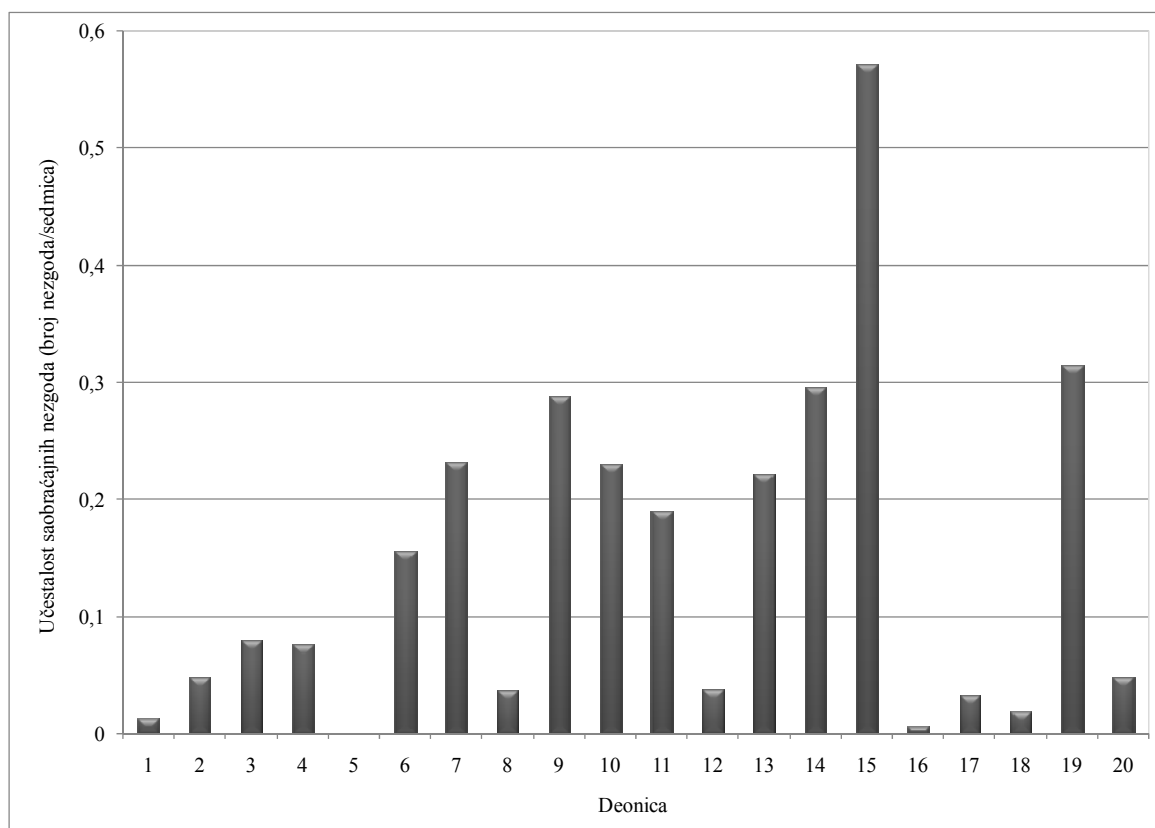
Redni broj	početak deonice		kraj deonice		dužina deonice [km]	Kumulativno dužina [km]
	[km]	naziv	[km]	naziv		
1	0,000	Subotica 1 (Bačka topola)	0,333	Subotica 3 (Kelebija)	0,333	0,333
2	0,333	Subotica 3 (Kelebija)	1,264	Subotica 2 (Senta)	0,931	1,264
3	1,264	Subotica 2 (Senta)	34,264	Gornji breg 1 (Horgoš)	33,000	34,264
4	34,264	Gornji breg 1 (Horgoš)	40,903	Gornji breg 2 (Bačka topola)	6,639	40,903
5	40,903	Gornji breg 2 (Bačka topola)	45,571	Senta	4,668	45,571
6	45,571	Senta	51,062	Čoka	5,491	51,062
7	51,062	Čoka	87,327	Kikinda 2 (Čoka)	36,265	87,327
8	87,327	Kikinda 2 (Čoka)	89,079	Kikinda 1 (Zrenjanin)	1,752	89,079
9	89,079	Kikinda 1 (Zrenjanin)	108,653	Bašaid 1 (Nova crnja)	19,574	108,653
10	108,653	Bašaid 1 (Nova crnja)	124,649	Melenci	15,996	124,649
11	124,649	Melenci	140,350	Zrenjanin 1 (Kikinda)	15,701	140,350
12	140,350	Zrenjanin 1 (Kikinda)	142,011	Zrenjanin 2 (Pančevo)	1,661	142,011
13	142,011	Zrenjanin 2 (Pančevo)	150,633	Ečka	8,622	150,633
14	150,633	Ečka	184,663	Kovačica	34,030	184,663
15	184,663	Kovačica	210,183	Jabuka	25,520	210,183
16	210,183	Jabuka	215,479	Pančevo 3 (Beograd)	5,296	215,479
17	215,479	Pančevo 3 (Beograd)	217,512	Pančevo 2 (Zrenjanin)	2,033	217,512
18	217,512	Pančevo 2 (Zrenjanin)	218,763	Pančevo 1 (Kovin)	1,251	218,763
19	218,763	Pančevo 1 (Kovin)	247,435	Kovin 1 (Bela crkva)	28,672	247,435
20	247,435	Kovin 1 (Bela crkva)	255,113	Gr. Apv (Kovin)	7,678	255,113
Ukupno :					255,113	255,113

Izvršena je analiza pouzdanosti prema razvijenom modelu (Jovanović et al., 2011; Bačkalić et al., 2013), a deo rezultata prikazan je u tabeli 4.3. - 4.4. i grafikonima 4.1. - 4.10. Poređenjem pouzdanosti deonica puta (srednjeg vremena između dve uzastopne nezgode na deonici), zaključuje se da deonica 15 ima najmanju pouzdanost, odnosno ima najmanju vrednost T_0 . Ovu najnepouzdaniju deonicu slede deonice 19, 14, 9, 7, 10, 13, 11 i 6. Dok je najpouzdanija deonica 5 bez ijedne nezgode, a za njom slede deonice 16, 1, 18, 17, 8, 12, 2, 20, 4 i 3.

Tabela 4.3. Osnovne karakteristike puta (dužina, broj saobraćajnih nezgoda), kao i osnovni parametri analize pouzdanosti deonica i puta za vremenski period $t = 365$ (dana) = 8.760 (h)

Deonica	Dužina (Km)	Br. saobraćajnih nezgoda	$A_i(t)$	$R_i(t)$	$T_{oi}(h)$	P_{oi}
1	0,333	4	0,652113227	0,5209437406228	13433,25	0,5209437406228
2	0,931	17	2,444076086	0,0868062994132	3584,18	0,0868062994132
3	33,000	28	4,113503723	0,0163503868220	2129,57	0,0163503868220
4	6,639	19	3,916788252	0,0199049217749	2236,53	0,0199049217749
5	4,668	0	0,000000000	1,0000000000000	∞	1,0000000000000
6	5,491	54	8,134963628	0,0002931096966	1076,83	0,0002931096966
7	36,265	83	12,048919528	0,0000058508739	727,04	0,0000058508739
8	1,752	12	1,874498475	0,1534318974284	4673,25	0,1534318974284
9	19,574	104	14,991854399	0,0000003084043	584,32	0,0000003084043
10	15,996	83	11,996634052	0,0000061649283	730,20	0,0000061649283
11	15,701	69	9,865830967	0,0000519187290	887,91	0,0000519187290
12	1,661	6	1,918003175	0,1469000030886	4567,25	0,1469000030886
13	8,622	78	11,496449844	0,0000101661209	761,97	0,0000101661209
14	34,030	107	15,438792990	0,0000001972502	567,40	0,0000001972502
15	25,520	208	29,769144052	0,0000000000001	294,26	0,0000000000001
16	5,296	2	0,322925499	0,7240277934568	27127,00	0,7240277934568
17	2,033	5	1,666666667	0,1888756028376	5256,00	0,1888756028376
18	1,251	5	0,987286989	0,3725861512235	8872,80	0,3725861512235
19	28,672	110	16,347165202	0,0000000795273	535,87	0,0000000795273
20	7,678	16	2,446542966	0,0865924225761	3580,56	0,0865924225761
put	255,113	1010	150,432159721	4,657395641E-66	58,23	4,657395641E-66

Ako se posmatra i učestalost saobraćajnih nezgoda (odnos broja nezgoda tokom jedne sedmice - λ_i), poređenjem deonica uočava se da je upravo deonica 15 najnepouzdanija tj. da se na ovoj deonici najčešće dešavaju nezgode ($\lambda_{15} = 0,57$), a potom slede deonice $\lambda_{19} = 0,31$, $\lambda_{9i14} = 0,30$ (grafik 4.1. i tabela 4.4.).



Grafik 4.1. Učestalost saobraćajnih nezgoda (broj nezgoda/sedmici) po deonicama puta

U tabeli 4.3. dati su parametri pouzdanosti deonica i sistema za period $t=365$ (dana)=8.760 (h), odnosno u tabeli 4.4. za period $t=7$ (dana)=168 (h). Na analiziranom putu, u proseku, u toku jedne sedmice dogodi se 2,885 nezgoda, tj. 150,432 nezgoda u toku godine, odnosno svakih 58,23 časova dogodi se saobraćajna nezgoda. Pouzdanost posmatranog puta u toku jedne godine je $4,65739564071297 \cdot 10^{-66}$, dok je pouzdanost puta za period od 7 dana 0,055854771, dok je nepouzdanost za period jedne sedmice 0,944145228527957 (tabela 4.3. i tabela 4.4.).

Tabela 4.4. Osnovni parametri analize pouzdanosti deonica i puta za vremenski period $t = 7$ (dana) = 168 (h)

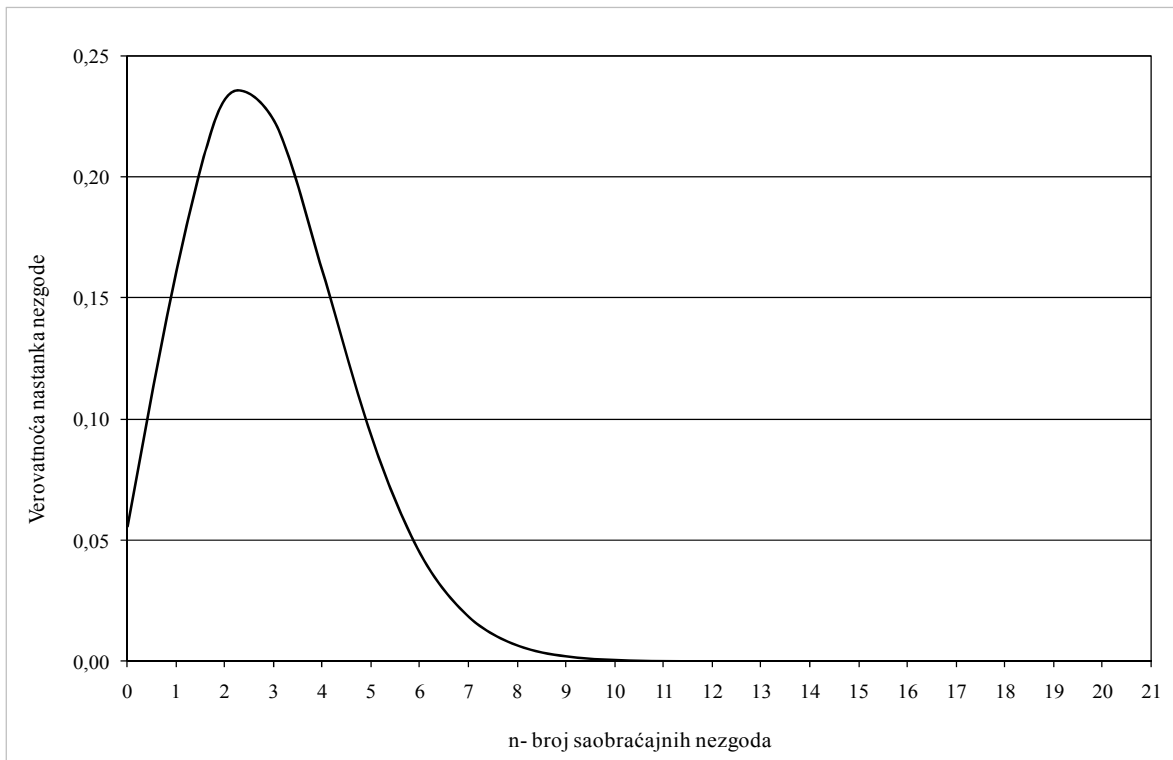
Deonica	λ_i	$F_i(t)$	$R_i(t)$	P_{0i}	P_{si}
1	0,012506281	0,012428403	0,987571597	0,987571597	0,012428403
2	0,046872692	0,045791132	0,954208868	0,954208868	0,045791132
3	0,078889112	0,075857605	0,924142395	0,924142395	0,075857605
4	0,075116487	0,072364577	0,927635423	0,927635423	0,072364577
5	0	0	1,000000000	1,000000000	0
6	0,156013001	0,144451933	0,855548067	0,855548067	0,144451933
7	0,231075169	0,206320196	0,793679804	0,793679804	0,206320196
8	0,035949286	0,035310784	0,964689216	0,964689216	0,035310784

9	0,287515016	0,249874697	0,750125303	0,750125303	0,249874697
10	0,230072434	0,205523947	0,794476053	0,794476053	0,205523947
11	0,189207717	0,172385421	0,827614579	0,827614579	0,172385421
12	0,036783623	0,036115324	0,963884676	0,963884676	0,036115324
13	0,22047986	0,197866206	0,802133794	0,802133794	0,197866206
14	0,296086441	0,256276863	0,743723137	0,743723137	0,256276863
15	0,570915091	0,434991832	0,565008168	0,565008168	0,434991832
16	0,006193092	0,006173954	0,993826046	0,993826046	0,006173954
17	0,03196347	0,031458038	0,968541962	0,968541962	0,031458038
18	0,018934271	0,018756144	0,981243856	0,981243856	0,018756144
19	0,313507278	0,26912094	0,730879060	0,730879060	0,26912094
20	0,046920002	0,045836274	0,954163726	0,954163726	0,045836274
put	2,885000323	0,944145229	0,055854771	0,055854771	0,944145229

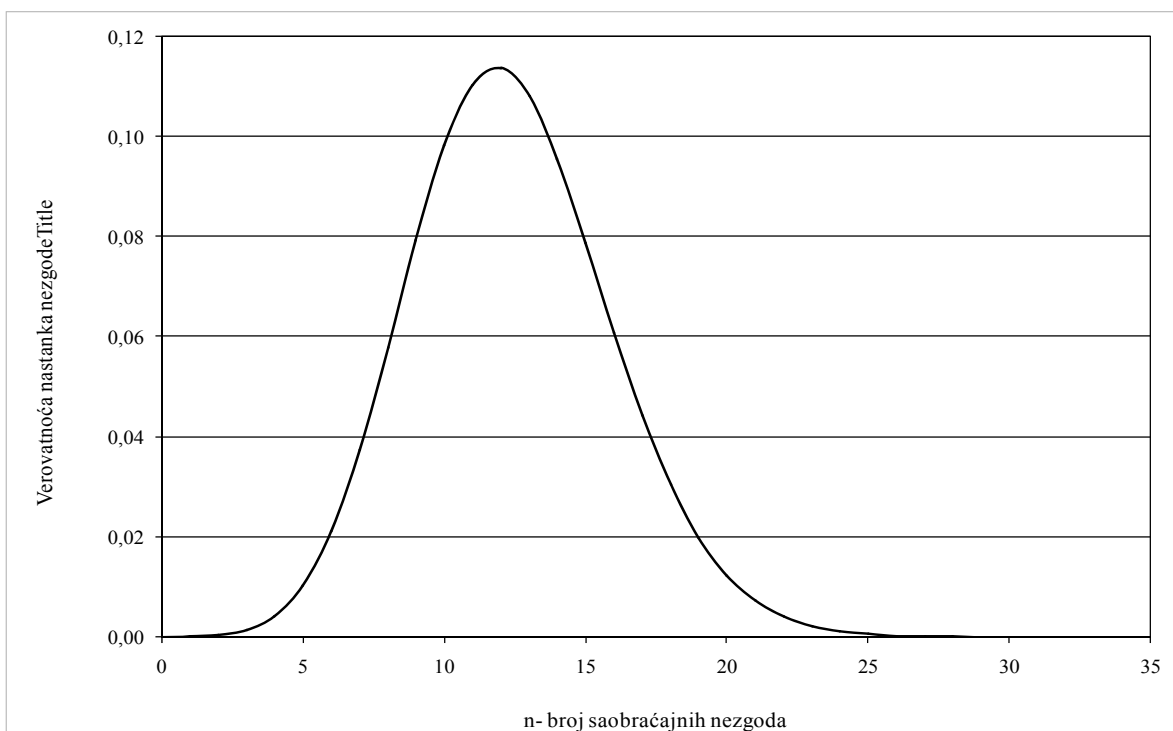
Pregledom literature iz oblasti analiza bezbednosti saobraćaja nijedan dosadašnji model nije određivao verovatnoću nastanka nezgoda u željenom periodu posmatranja (čas, sedmica, mesec, godina) posmatrajući vremena između nastanka nezgoda.

Pri analizi verovatnoća nastanka nezgoda na deonicama, odnosno na putu kao celini (prema formuli 4.74 i 4.75), takođe su posmatrani periodi $t=7$ (*dana*)=168 (*h*) , $t=30$ (*dana*)=720 (*h*) i $t=365$ (*dana*)=8760 (*h*). Na osnovu proračuna sa verovatnoćom od 0,223535564 možemo tvrditi da će se u periodu od 7 dana dogoditi 3 saobraćajne nezgode, odnosno sa verovatnoćom 0,00664824 da će biti 8 saobraćajnih nezgoda (grafik 4.2.).

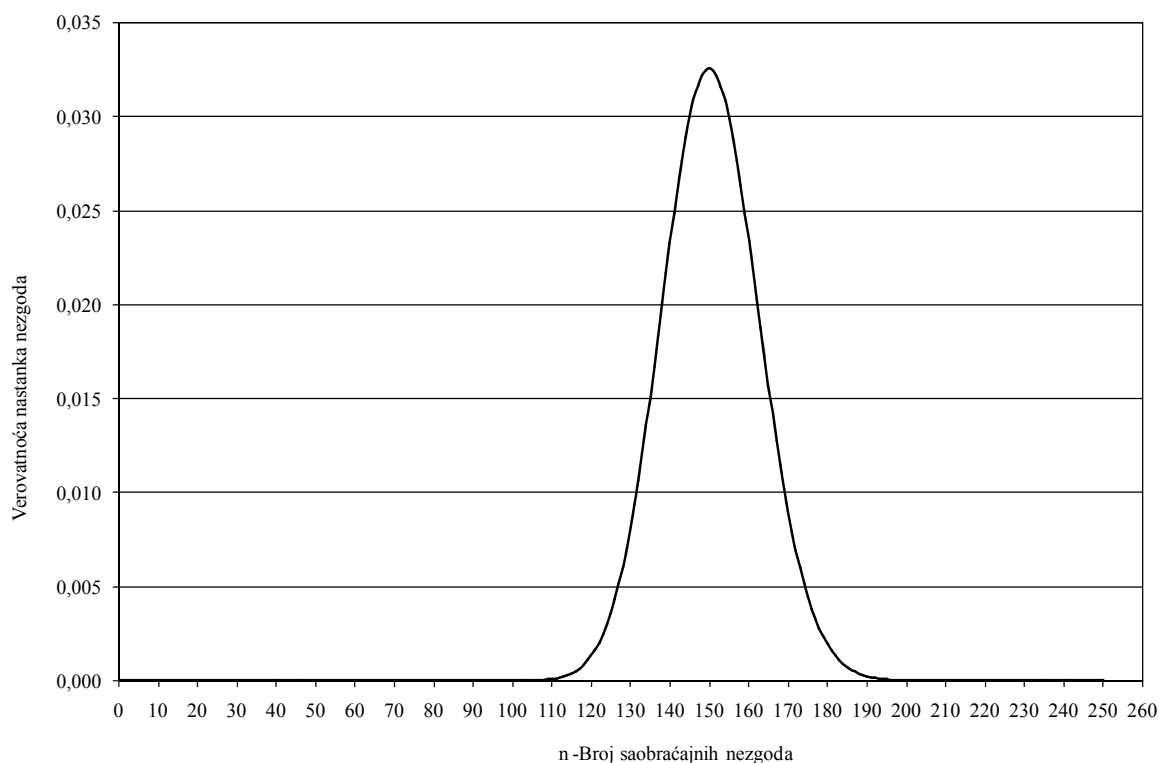
Ako posmatramo period od 30 dana, sa verovatnoćom od 0,113749723 dogodiće se 12 saobraćajnih nezgoda, odnosno sa verovatnoćom od 0,021180701 desiće se 6 saobraćajnih nezgoda (grafik 4.3.). U periodu od 365 dana, najveća je verovatnoća nastanka 150 nezgoda i ona iznosi 0,032535188, a isto tako sa verovatnoćom od 0,000114582 možemo očekivati 180 nezgoda u toku jedne godine (grafik 4.4.).



Grafik 4.2. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u period od 7 dana



Grafik 4.3. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u period od 30 dana

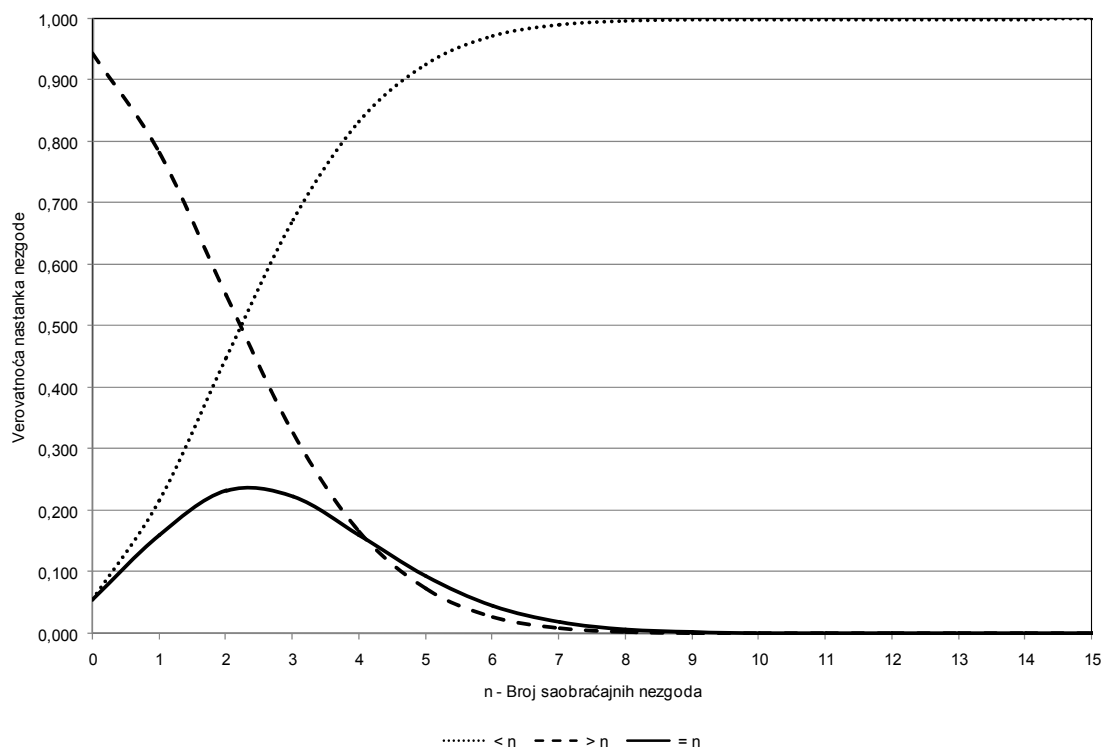


Grafik 4.4. Verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda u periodu od 365 dana

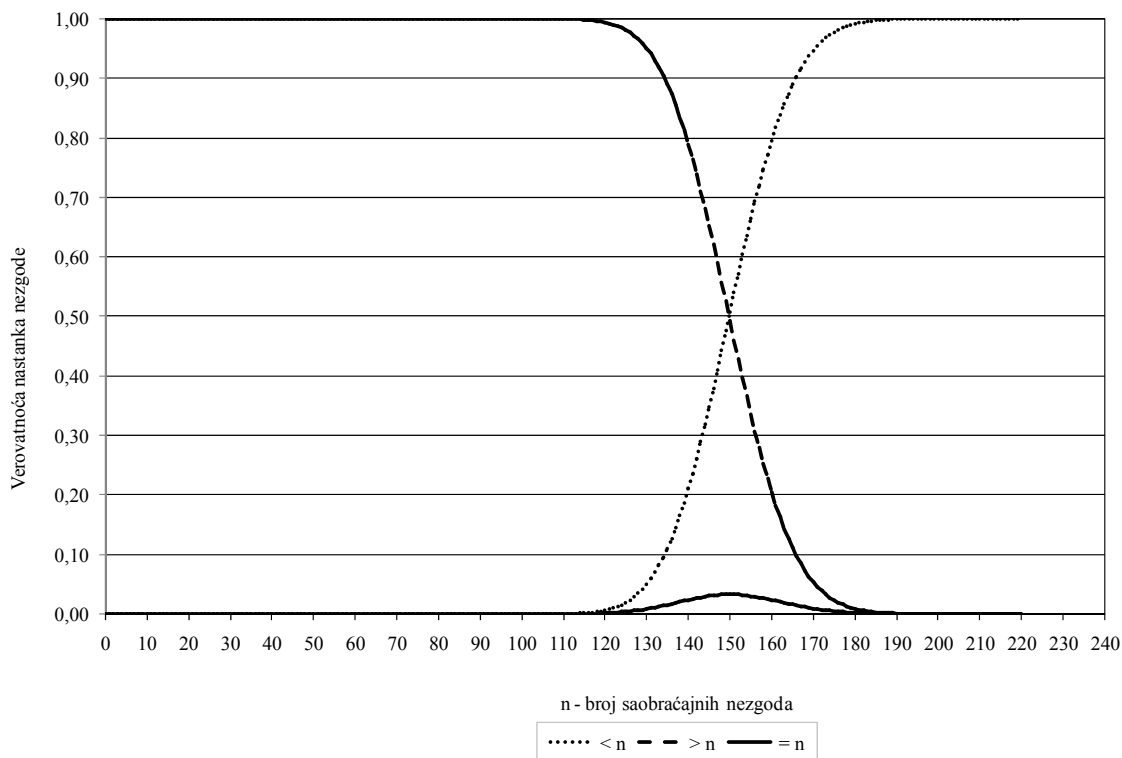
Na grafikonima 4.5 i 4.6 prikazane su verovatnoće nastanka nezgoda („jednako ili više od određenog broja“, „određen broj“ i „manje ili jednako od određenog broja“) na putu kao celini, odnosno na slikama 4.7, 4.8 i 4.9 na deonicama puta.

Na grafikonu 4.5 i 4.6, kriva verovatnoća nam pokazuje verovatnoću nastanka određenog broja nezgoda koja je veća, manja ili jednaka od n, odnosno ona ukazuje na verovatnoću nastanka nezgoda. Grafikon 4.5 pokazuje da sa verovatnoćom od 0,056 neće biti nezgoda na posmatranom putu u periodu od 7 dana, tj. brzina nastanka nezgode u posmatranom periodu je 0. Sa verovatnoćom od 0,927 može se tvrditi da će se dogoditi manje od 5 saobraćajnih nezgoda. Sa verovatnoćom od 1,0 može se reći da će se dogoditi manje od 10 saobraćajnih nezgoda tokom jedne sedmice. Ono što je važno istaći, a to se potvrđuje verovatnoćom od 0,95 je nastanak bar jedna nezgoda tokom 7 dana. Sa verovatnoćom od 0,232 možemo tvrditi da će se dogoditi 2 nezgode tokom 7 dana.

Za period od 365 dana raspodela verovatnoća nastanka nezgoda je drugačija (grafik 4.6.). Sa verovatnoćom od 1,0 možemo tvrditi da će se dogoditi više od 86 nezgoda, a manje od 231, odnosno sa verovatnoćom od 0,9 očekuje se broj saobraćajnih nezgoda između 134 i 166 u periodu od 365 dana, dok sa verovatnoćom od 0,0325 može se reći da će se u istom periodu dogoditi 150 nezgoda na putu (grafik 4.6.)

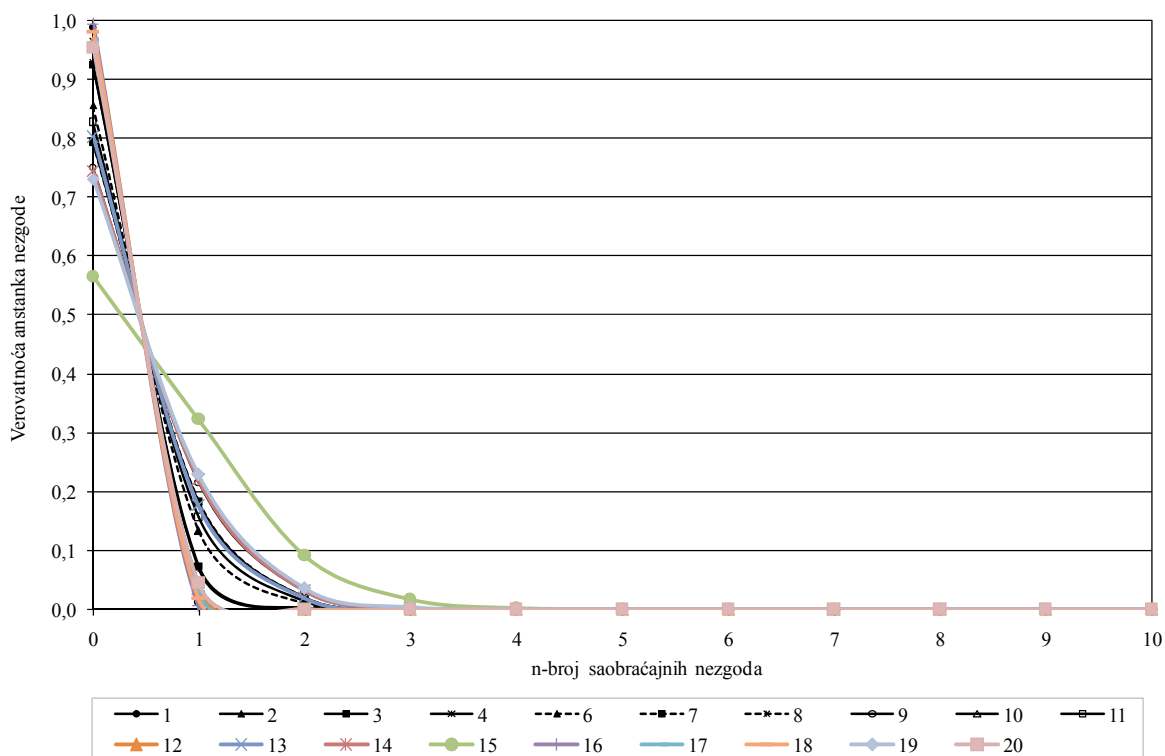


Grafik 4.5. Verovatnoće nastanka nezgoda („jednako ili više od određenog broja“, „određen broj“ i „manje ili jednako od određenog broja“) na putu kao celini za period $t=7$ (dana)=168 (h)



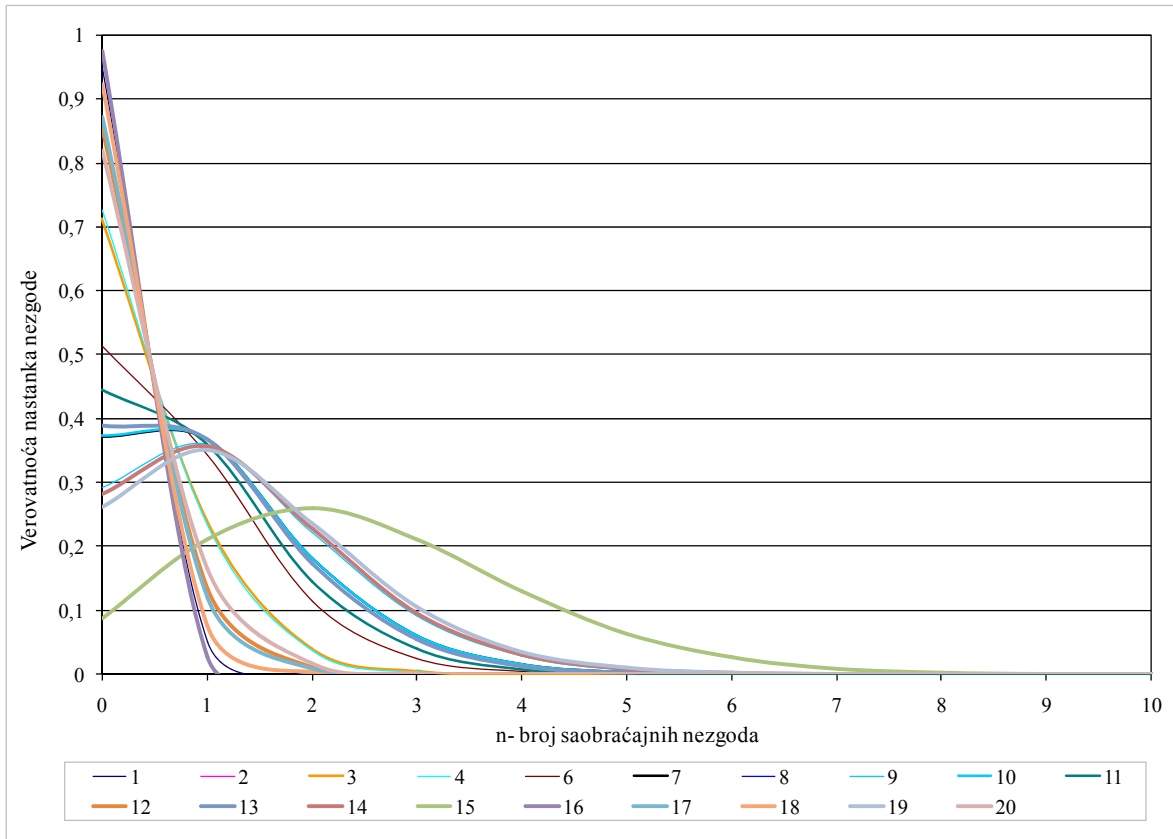
Grafik 4.6. Verovatnoće nastanka nezgoda („jednako ili više od određenog broja“, „određen broj“ i „manje ili jednako od određenog broja“) na putu kao celini za period $t=365$ (dana)=8760 (h)

Uzimajući u obzir zaključna razmatranja analiza grafikona 4.5 i 4.6, tokom analize grafikona 4.7 i 4.8 uočena je očigledna razlika između oblika krive verovatnoća. Na grafikonu 4.7 kriva verovatnoća je uska i visoka, što znači da su i kumulante strme i blizu jedna drugoj (grafik 4.10.). Odnosno, to ukazuje na uzan interval očekivanog broja nezgoda, sa visokom verovatnoćom događanja.

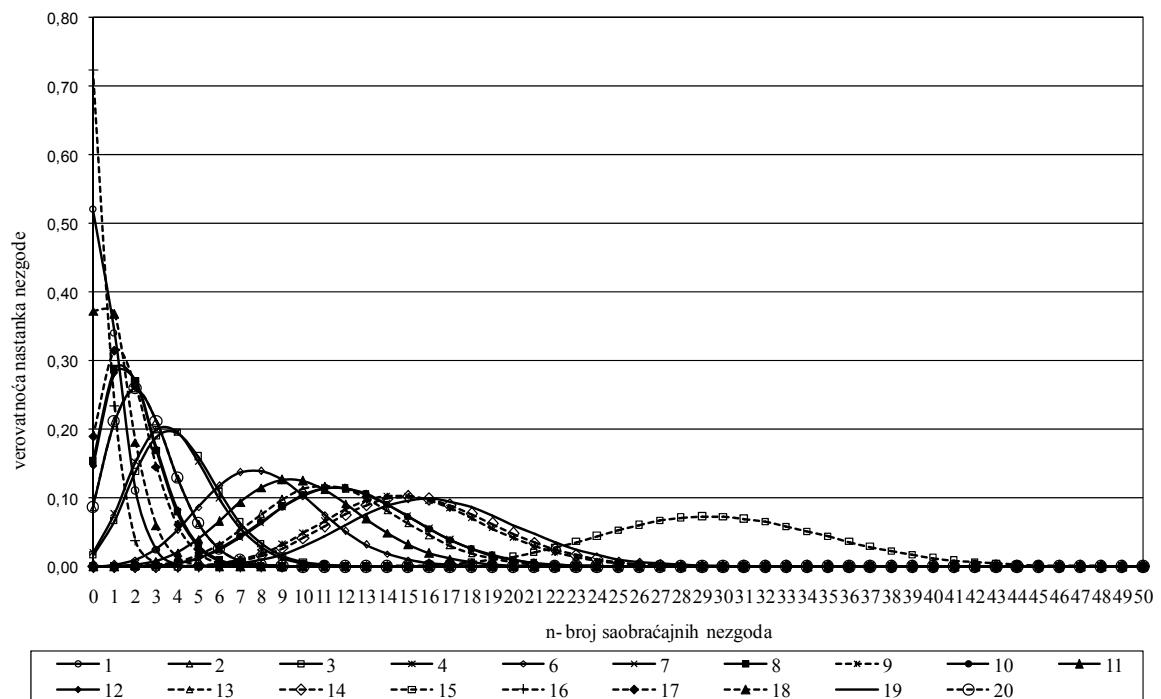


Grafik 4.7. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=7$ (dana)=168 (h)

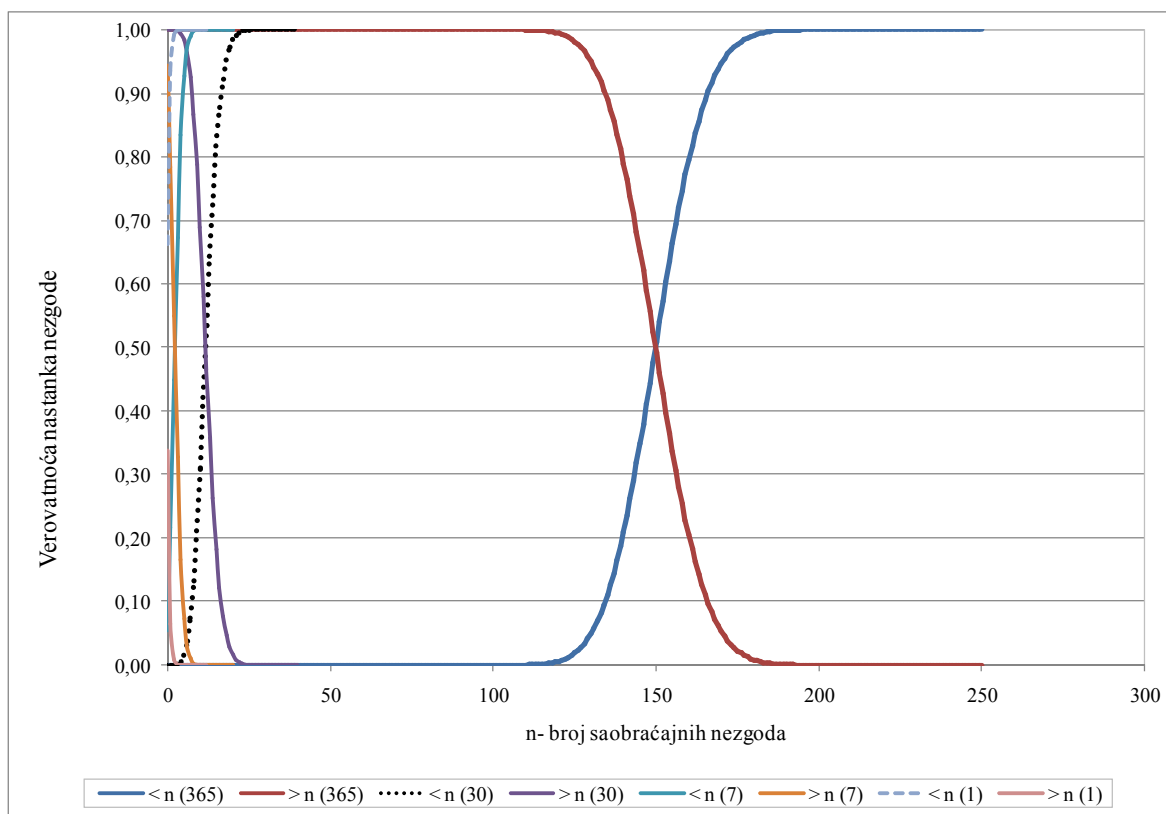
Ako se posmatra period od 30 dana i period od jedne godine uočava se da deonica 15 ima "spljoštenu" krivu verovatnoće tačno određenog broja nezgoda. To znači da je interval broja nezgoda širi i da sa suženjem intervala pada verovatnoća. Sa druge strane ako posmatramo period od 365 dana, sve krive imaju istaknut vrh, što znači da je velika verovatnoća nastanka nezgoda (grafik 4.9.).



Grafik 4.8. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=30$ (dana)=720 (h)



Grafik 4.9. Verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonicama kao elementima za period $t=365$ (dana)=8760 (h)



Grafik 4.10. Kumulativne vrednosti verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na putu

4.5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I DISKUSIJA

Poslednjih godina, modeli analize saobraćajnih nezgoda zasnovani na pojedinačnom pristupu dobijaju sve više na značaju. Definisanjem i testiranjem modela potvrđena je polazna pretpostavka da se frekvencija saobraćajnih nezgoda, bazirana na pojedinačnom pristupu, može analizirati primenom modela iz teorije pouzdanosti. U tom cilju izvršena je analiza mogućnosti primene i pojmovno prilagođavanje.

Kod prostorne analize, polazi se od uočenog broja nezgoda u određenom periodu i traže se uzroci i rešenja. Kod vremenske analize, polazi se od vremena između dve nezgode na deonicama puta. Krajnji cilj obe analize je smanjenje broja saobraćajnih nezgoda. Kod prostorne analize jedini pokazatelj je broj saobraćajnih nezgoda, dok kod vremenske analize glavni pokazatelj je prosečno vreme između dve nezgode, a broj nezgoda je posledica toga. Vremenska analiza sa aspekta teorije pouzdanosti ne isključuje prostornu analizu, naprotiv ona predstavlja početnu analizu. Stoga, ni prostorna analiza ne bi trebala da isključuje vremensku.

Rangiranje dva nezavisna puta prema bezbednosti saobraćaja zasniva se na jednostavnom poređenju broja nezgoda koje su se dogodile u istom definisanom periodu

posmatranja. Problem se javlja onda kada je neophodno izvršiti poređenje pouzdanosti više puteva, a kada varira period tokom koga su dobijeni podaci. U tom slučaju, upotreba prikazanog modela koji se bazira na posmatranju puta kao sistema može pomoći da se odredi srednje vreme između dve uzastopne nezgode, tj. učestalost saobraćajnih nezgoda. Na taj način biće omogućeno bolje poređenje bez redukovanja, ekstrapolacije ili uprosečavanja heterogenih podataka. Pored toga, analiza bezbednosti saobraćaja koja se bazira na broju nezgoda ne sadrži dinamičku komponentu i moguće je sprovesti je samo nakon prikupljanja podataka u saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile u dužem periodu posmatranja. Sa druge strane, predložena analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda koja se zasniva na vremenskom aspektu dozvoljava posmatranje u realnom vremenu i ne zahteva veći broj podataka o nezgodama. Ova karakteristika daje prikazanom modelu bolju mogućnost primene i fleksibilnosti, tj. mnogo manje zavisi od dužine perioda posmatranja. Dok većina modela zahteva posmatranje tokom relativno dužeg perioda vremena (3-5 godina), ovaj model se može primeniti za podatke dobijene u relativno kraćem vremenu (sedmica, mesec, godina). Umesto pasivnog broja registrovanih saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile u određenom periodu, predloženi model promovise permanentno i aktivno praćenje i merenje vremena između dve nezgode.

Analiza bezbednosti saobraćaja, odnosno analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda u ovom modelu, kao izlazni rezultat daje pouzdanost puta i njegovih deonica. Može se videti da model uzima u obzir sve saobraćajne nezgode bez obzira na vrstu posledice što daje veći doprinos pouzdanosti modela.

Najnebezbednija deonice puta je ona na kojoj je vreme između dve uzastopne nezgode kraće i na takvoj deonici je teško odrediti verovatnoću nastanka nezgode. Zbog toga što se nezgode dešavaju često, tj. velika je brzina nastanka nezgoda, teško je moguće predvideti precizan broj saobraćajnih nezgoda. Zbog toga, predloženi model ukazuje na značaj usmeravanja pažnje na nebezbedne deonice (deonice na kojima se nezgode dešavaju velikom brzinom). Pošto se predloženi model bazira na sistemskom pristupu praćenja nastanka saobraćajnih nezgoda, on takođe omogućava određivanje verovatnoće nastanka određenog broja nezgoda na deonici puta, kao i putu u celini. Takođe, moguće je utvrditi verovatnoću da se neće dogoditi saobraćajna nezgoda u definisanom vremenskom periodu.

Primenom datog modela, za put i deonice tokom definisanog vremenskog perioda, određuju se sledeći parametri:

- srednje vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode;
- učestalost saobraćajnih nezgoda;
- verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda na bilo kojoj deonici ili celom putu.

Predloženi model može poslužiti upravljaču puta kao značajan alat prilikom donošenja odluka o primeni mera bezbednosti saobraćaja na putevima. Naime, upravljač puta teži da vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode na nekom putu bude što duže, odnosno da brzina nastanka nezgoda bude što manja. Na taj način se povećava pouzdanost puta, a ujedno i sistema odvijanja saobraćaja. S druge strane, predloženi model ima velike potencijale u pogledu proširenja i razvoja.

LITERATURA

- Abdel-Aty, M., Pande, A., 2007. Crash data analysis: collective vs. individual crash level approach. *Journal of Safety Research* 38 (5), 581–587.
- Bačkalić, S., Jovanović, D., Bačkalić, T., 2013. „Application of the reliability theory in the traffic safety analysis on the rural road“, *Multidisciplinary Academic Conference 2013 Transport, Logistics and Information Technologies, Proceedings of MAC - TLIT 2013, Indexing – EBSCO, Google Books, Prague, ISBN Number: 978-80-905442-0-8*
- Ćatić, D., 2009. *Metode pouzdanosti mašinskih sistema*. Mašinski fakultet, Kragujevac, ISBN 978-86-86663-31-3.
- Dhillon, B.S., 2005. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. Boca Raton, Florida, USA, ISBN 0-8493-3068-8.
- Elvik, R., Vaa, T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier.
- Golob, T.F., Recker, W.W., 2003. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions. *Journal of Transport* 129 (4), 342–353.
- Golob, T., Recker, W., 2004. A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation Research Part A* 38 (1), 53– 80.
- Hauer, E., 1986. On the estimation of the expected number of accidents. *Accident Analysis and Prevention* 18 (1), 1–12.
- Hauer, E., Kononov, J., Allery, B., & Griffith, M. S., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record*, 1784(1), 27–32.
- Hughes, R., Council, F., 1999. On establishing relationship(s) between freeway safety and peak period operations: performance measurement and methodological considerations. In: Presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC.
- Ivanović, G., Stanivuković, D., et al., 2010. *Pouzdanost tehničkih sistema*. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-247-3.
- Jovanis, P.P., Chang, H.L., 1986. Modeling the relationship of accidents to miles traveled. *Transportation Research Record* 1068, 42–51.
- Kececioglu, D., 2002. *Reliability engineering handbook*. Volume 2, DLStech Publications. Inc. Pennsylvania, USA, ISBN 1-932078-01-0.
- Kumar, D., Crocker, J. et al., 2006. *Reliability and Six Sigma*. Springer, New York, USA, ISBN-10: 0387302557.
- Lee, C., Hellinga, B., Saccomanno, F., 2003. Real-time crash prediction model for the application to crash prevention in freeway traffic. *Transportation Research Record* 1840, 67–78.
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305.
- Miaou, S.-P., Lum, H., 1993. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention* 25 (6), 689–709.

- MIL-HDBK-338B, 1998. Military Handbook - Electronic Reliability Design Handbook, Department of defense, Washington, D.C.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic related units and motor vehicle accident frequencies. *Transportation* 25 (4), 395–413.
- O'Connor, P.D.T., Newton, D.W., Bromley, R.C., 2002. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, ISBN 0-470-84462-0.
- Persaud, B.N., 1991. Estimating accident potential of Ontario road sections. *Transportation Research Record* 1327, 47–53.
- Pham, H., 2003. *Handbook of reliability engineering*, ISBN 1852334533. London etc., Springer.
- Ramović, R., 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, elekomunikacionih i informacionih. Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd.
- Rausand, M., Høyland, A., 2004. *System Reliability Theory – Models, Statistical Methods and Applications*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN 0-471-47133-X.
- Shankar, V., Jovanis, P., Aguerde, J., Gross, F., 2008. Analysis of naturalistic driving data: prospective view on methodological paradigms. *Transportation Research Record* 2061, 1–9.
- Ushakov, I.A., Harrison, R.A., 1994. *Handbook of Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, ISBN 0-471-57173-3.

5. PRIMENA MODELA REALOKACIJE POUZDANOSTI PRI IZBORU DEONICA PUTA ZA TRETIRANJE

5.1 UVOD

5.2 POJAM (RE)ALOKACIJE POUZDANOSTI SISTEMA

5.3 DEFINISANJE MODELA

5.4 TESTIRANJE MODELA

5.5 REZULTATI

5.6 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I DISKUSIJA

5.7 REFERENCE

5.1. UVOD

Intervencije na mestima nakupljanja saobraćajnih nezgoda smatraju se jednim od najefektivnijih pristupa u prevenciji saobraćajnih nezgoda na putevima (European Commission, 2001). Imajući u vidu navedenu činjenicu, u poslednjih dvadesetak godina razvijeni su brojni pristupi za unapređenje bezbednosti puta (RIPCORD-ISEREST, 2007). U većini dosadašnjih istraživanja dominantan je pristup zasnovan na prostornim metodama analize bezbednosti saobraćaja. Na primer, Network Safety Management (NSM) koristi se u procesu donošenja odluka pri izboru deonice puta koju treba tretirati. NSM predstavlja metod za identifikaciju i rangiranje mreže puteva (deonica) na osnovu potencijala za smanjivanje troškova od saobraćajnih nezgoda (Sørensen and Elvik, 2007). Metodologija NSM bazira se na 3 ključna aspekta: (1) statistička analiza podataka o saobraćajnim nezgodama na putnoj mreži, (2) detaljna analiza najlošije projektovanih deonica i (3) rangiranje prioriternih mera (NSM, 2005). Takođe, *network screening* predstavlja jedan od alata koji se koristi za upravljanje bezbednošću saobraćaja na putnoj mreži. Svrha *network screening* je identifikacija deonica puta na kojima su izraženi problemi bezbednosti saobraćaja. Problemi se javljaju u obliku povećanog broja saobraćajnih nezgoda, njihovih posledica ili povećanog broja određenog tipa saobraćajnih nezgoda (Elvik, 2010). Metodologija *Network screening* koja se primenjuje u Sjedinjenim američkim državama je opisana u *Safety Analyst*-u i preporučena je u poslednjem *Highway Safety Manual*-u (Harwood, 2010). Poslednjih godina aktuelni *Road Assessment Programme* (Lynam et al., 2004; Metcalfe and Smith, 2005) zasnovan je na mapiranju kolektivnog i individualnog rizika u saobraćaju i on takođe predstavlja formu *network screening*-a koja se primenjuje u Evropi i Australiji (Elvik, 2010).

U skorašnjim istraživanjima značajniji aspekt pridaje se pristupu zasnovanom na vremenskim metodama analize bezbednosti saobraćaja, koji određuje verovatnoću nastanka nezgode u realnom vremenu (Abdel-Aty and Pande, 2007), odnosno posmatranju vremena između dve nezgode (Washington et al., 2003; Lord and Mannering, 2010; Jovanović et al., 2011). Uzimanje u obzir vremena, kao dinamičke komponente u analizama bezbednosti saobraćaja, predstavlja proširenje tradicionalnog pristupa zasnovanog na analizi podataka o saobraćajnim nezgodama nakon što se nezgode dogode. Jovanović et al. (2011) definisali su i testirali model analize frekvencije saobraćajnih nezgoda, zasnovan na teoriji pouzdanosti. Rezultati modela su: (1) srednje vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode, (2) frekvencija saobraćajnih nezgoda, (3) verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda na deonici ili celom putu. Predloženi model omogućava upravljaču puta jedan vid praktičnog delovanja čiji je cilj da vreme između dve uzastopne nezgode bude što duže.

U disertaciji je postavljena osnovna hipoteza 2 koja glasi: “*Model realokacije pouzdanosti upravljač puta može primeniti pri izboru (rangiranju) deonica za tretiranje u cilju postizanja zahtevane bezbednosti putnog pravca.*” Na osnovu osnovne hipoteze i ciljeva istraživanja, kao i izvršenog pregleda literature, postavljena je i pomoćna hipoteza 4 koja glasi: „*Model realokacije pouzdanosti (iz osnovne hipoteze 2), moguće je primeniti u cilju izbora (rangiranja) deonica za tretiranje, odnosno, preraspodeljivanje željene pouzdanosti sistema na njegove elemente, omogućuje postizanje tačno definisanog nivoa pouzdanosti ili tačno određenog povećanja pouzdanosti puta kao celine.*“

U opisu modela koji sledi pošlo se od pretpostavke da se u analizi bezbednosti saobraćaja, pored prethodno razvijenog modela za analizu frekvencija nezgoda, teorija pouzdanosti, odnosno realokacija pouzdanosti, može primeniti i kao alat za izbor (rangiranje) putnih deonica u cilju definisanja željenog nivoa pouzdanosti celog puta. Drugim rečima, primena teorije realokacije pouzdanosti, odnosno preraspodeljivanje željene pouzdanosti sistema na njegove elemente, omogućuje postizanje tačno definisanog nivoa pouzdanosti ili tačno određenog povećanja pouzdanosti puta kao celine.

Ideja modela koji je opisan u nastavku disertacije se zasniva na mogućnosti da upravljač puta (onaj koji donosi odluku) može u svom radu definisati željeni nivo pouzdanosti putne mreže na nekom prostoru. Na bazi te činjenice upravljač puta vrši izbor putnih deonica koje treba tretirati da bi se postigla zahtevana pouzdanost nekog putnog pravca, odnosno definisano smanjenje frekvencije saobraćajnih nezgoda. Osnovni cilj modela je razvoj metoda za primenu realokacije pouzdanosti kao pomoćnog alata u analizama bezbednosti saobraćaja, kako bi se dostigao novi zahtevani nivo pouzdanosti puta.

5.2. POJAM (RE)ALOKACIJE POUZDANOSTI SISTEMA

Teorija realokacije pouzdanosti prvi put je upotrebljena u vojnim sistemima u Drugom svetskom ratu, dok je ubrzani razvoj metodologije započet 1950-tih godina (MIL-HDBK-338B). Od tada teorija pouzdanosti se brzo razvija i primenu pronalazi i u mnogim drugim oblastima kao što su: avio industrija, nuklearni sistemi, biomedicinski uređaji i oprema, elektronika, transpotni i komunikacioni sistemi, mehaničko-električni sistemi i drugi tehnički sistemi gde postoje otkazi mehanizama (Blischke and Murthy, 2003; Kumar, 2006).

Raspodela pouzdanosti obuhvata problem dodeljivanja precizne vrednosti pouzdanosti svakom nivou neke celine na takav način da ukupna pouzdanost celine je jednaka željenoj pouzdanosti. Takođe, ovo se može posmatrati kao raspodela dozvoljenog nivoa nepouzdanosti svakom nivou. Nadalje, zahtevana pouzdanost može biti dodeljena svakom delu tj. elementu sistema. Pri projektovanju zasnovanom na pouzdanosti zahtevi moraju biti dodeljeni svim glavnim komponentama za koje je projektant odgovoran. Na osnovu ustanovljenih pouzdanosti projektant bira materijale, oblike, tipove tako da se na kraju postigne tražena ukupna pouzdanost.

Kod tehničkih sistema zahtevane pouzdanosti najčešće su definisane od strane korisnika ili predložene od strane proizvođača uz korisnikovo prihvatanje. Dodeljivanje zahtevanih pouzdanosti od strane korisnika najčešće su zasnovane na studijama strateških potreba, logističkih zahteva, izvršenja misije, operativne gotovosti, pogodnosti održavanja, bezbednosti, budžetskih ograničenja i drugih eksternih faktora. Raspodela (alokacija) je neophodna kada je proizvođač dužan da odluči koliko će biti pouzdani različiti podsistemi koji kao delovi konačnog proizvoda moraju dostići tačnu zahtevanu pouzdanost. Takođe treba napomenuti da što se pouzdanost više bliži perfekciji svaki sledeći napredak postaje zanačajno skuplji.

5.2.1. Značaj realokacije pouzdanosti

Ključni razlozi za sprovođenje (re)alokacije pouzdanosti su:

1. Dobro znana, ali neupotrebljiva filozofija često primenjena u pouzdanosti je „Mi ćemo uraditi najbolje što možemo“ treba zameniti ugovornom obavezom u obliku kvantitativnih zahteva za pouzdanost sistema koja će naterati ugovorene strane (partnere) da pouzdanost razmatraju jednako sa drugim parametrima sistema kao što su performanse, težina, cena, pogodnost održavanja i sl. Tražena pouzdanost sistema takođe od projektanta traži da zna kolika će biti i pouzdanost svakog podsistema. Ovo se postiže primenom alokacije pouzdanosti.

2. Postavljeni problem alokacije primorava partnere da postignu postavljene ciljeve, poboljšaju projekat, proces proizvodnje i testiranje. Takva situacija ne samo da osigurava pouzdan sistem nego poboljšava celokupno stanje svih potprograma.

3. Alokacija pouzdanosti usmerava pažnju na odnos između pouzdanosti komponenata, opreme, podsistema i sistema. Ovo vodi ka dostizanju potpunijeg razumevanja osnovnih komponenti pouzdanosti koje se javljaju u pouzdanosti.

4. Zahtevi koji su određeni primenom procedure alokacije biće mnogi objektivniji, jasniji, ekonomski ostvarljiviji nego oni do kojih se stiglo primenom subjektivnih ili slučajnih metoda ili onih koji dolaze kao rezultat propalih programa i koji su inicirani posle nesrećnih iskustava na terenu.

5. Alokacija pouzdanosti može dovesti do optimalne pouzdanosti sistema ako taj program uzima u obzir i faktor kao što su: suština, kompleksnost, dostignuti stepen razvoja, efekti radnog okruženja, troškovi, održavanje, težina i prostor.

6. Ukupni trošak programa mora biti više nego uravnotežen sa druge strane sa uštedama u vremenu i novcu koji se obično troše u postizanju zahtevane pouzdanosti u prvom projektu. Bez alokacije sistem će neprestano otkazivati i biće iznova popravljan uz potrošnju vremena i novca. Primenom realokacije pouzdanosti ostvariće se značajna smanjenja troškova rada, održavanja i upravljanja eliminisanjem problema u početnoj fazi projektovanja.

5.2.2. Kako i kada je najbolje koristiti alokaciju

Raspodela je neophodna kada je proizvođač dužan da odluči koliko moraju da budu pouzdani različiti podsistemi u cilju projektovanja konačnog proizvoda koji mora dostići određene predviđene zahteve pouzdanosti. U sistemima sa rednom vezom kod kojih otkaz bilo kog elementa prouzrokuje prekid rada svaki element mora biti pouzdaniji od traženog ukupnog i svaki deo mora biti pouzdaniji nego njegova komponenta. U slučaju kada je proizvođač postavio svoju traženu pouzdanost, proces alokacije obično obuhvata određivanje tražene pouzdanosti elementa, komponente, podsistema i sistema u tom delu.

Pošto se alokacija obično zahteva u početnom periodu kada u bazi ima malo ili uopšte nema podataka o radu sistema, alokacija se mora izvršavati periodično. U procesu projektovanja javljaju se momenti kada je neophodno izvršiti realokaciju:

1. Na završetku faze testiranja razvoja podsistema
2. Na završetku kvalifikacionog testiranja većine funkcionalnih komponenata sistema

3. Kod započinjanja bilo kojih većih izmena projekta sistema.

Pri početnom dodeljivanju neophodno je usvajanje procedure dodeljivanja konstruktivnih (tvorbenih) svojstava. Dodeljivanje konstruktivnih svojstava sa aspekta pouzdanosti sistema predstavlja skup projektnih planova izražen u kvantitativnom smislu na takav način da bilo koja inženjerska operacija može biti usmerena u cilju dostizanja zahtevane pouzdanosti na takav način da se postigne maksimalna ušteda u vremenu i novcu. U cilju obezbeđenja funkcije dodeljivanja konstruktivnih svojstava pouzdanosti sistema neophodno je izvršenje sledećih pojedinačnih koraka:

K1. Definisane cilja dodeljivanja konstruktivnih svojstava.

Dodeljivanje konstruktivnih (tvorbenih) svojstava se mora posmatrati kao sredstvo koje omogućava inženjeru planeru da se usmere na buduće projektne aktivnosti bez konfuznih generalizacija. Pored toga, ova vrsta preraspodele projektantima služi kao glavni koordinacioni alat prilikom opisa radnih zadataka u obliku razumljivih međuzavisnih kvantitativnih veličina. Zbog svoje osetljivosti na subjektivne procene, preraspodela (realokacija) mora biti razvijena kroz realna predviđanja od strane inženjera u nižim nivoima koordinacije, ali njihov rad mora biti podržan od strane glavnog inženjera kroz politiku odlučivanja.

K2. Raspored dodeljivanja konstruktivnih (tvorbenih) svojstava.

U procesu stvaranja sveobuhvatne realokacije u prvom koraku obavezna je identifikacija sledećih činilaca: osnovni elementi, osnovna kvalitativna obeležja i stepen korisnosti. Ova pojedinačna svojstva sistema služe kao polazna tačka u izgradnji strukture procesa realokacije. Vremenski period koji zahteva proces dodeljivanja mora biti dovoljno kratak da bi se postiglo precizno predviđanje, a sa druge strane mora biti dovoljno dugačak da može da ukaže na značajne probleme u poslovnoj politici, strategiji i procedurama. Pored toga, trajanje perioda dodeljivanja zavisi i od raspoloživosti konkretnih informacija i stabilnosti zahteva korisnika. Period procesa dodeljivanja mora biti u skladu sa prethodno definisanim projektnim fazama tako da se tekući rezultati mogu mnogo realnije uporediti sa dodeljenim vrednostima. Kratkotrajni procesi dodeljivanja dozvoljavaju mnogo jače vezivanje i usklađivanje sa tokom realizacije projekta, u smislu promene resursa i uslova. S druge strane, dodeljene (alocirane) vrednosti mogu biti podešene (uzimajući u obzir prirodu i svrhu proizvoda ili sistema ili ako to dozvoljavaju zahtevi korisnika) tako da se dopusti što konkretnije usklađivanje sa projektnim rezultatima. To je takozvana pokretno (dinamičko) dodeljivanje, gde se dodeljivanje planira za, npr., period od godinu dana, ali na kraju svakog meseca vrši se revizija dodeljenih vrednosti za narednih 12 meseci. Dinamičko dodeljivanje je pogodno za ekstremno duge razvojne programe gde je nemoguće postići preciznost u predviđanju.

K3. Integracija napora u dodeljivanju konstruktivnih svojstava.

Pošto je dodeljivanje pre svega alat za kontrolu izlaznog rezultata od strane ljudi, zbog toga akcenat mora biti stavljen na aspekte ljudskog faktora u delovanju. Parametri dodeljivanja moraju se klasifikovati strogo i kontrolisano da bi se izbeglo dupliranje napora i proizvoljno dodeljivanje pouzdanosti od strane različitih grupa u projektu.

K4. Sprovođenje procesa dodeljivanja konstruktivnih svojstava.

Priprema početnog dodeljivanja konstruktivnih svojstava ili unošenje promena je područje koje zahteva saradnju između inženjera projektanata i inženjera zaduženih za kvalitet.

K5. Istraživanje rezultata dodeljivanja konstruktivnih svojstava.

Inženjerski posao se sprovodi mnogo efikasnije i ekonomičnije ako je funkcionalna aktivnost koja čini taj posao bazirana na kvantitativnim istraživanjima i metodama. Ako se želi da projektni ciljevi budu zasnovani na znanju i umeću i jednostavno predstavljeni onda njihovo definisanje zahteva: odgovarajuću genezu problema, izdržljivost sistema, troškove i hodogram. Pored toga, kvantitativno dodeljivanje mora biti tako definisano da omogući brzo i pouzdano poređenje tekućih rezultata sa predviđenim projektnim karakteristikama i kvalitativnim svojstvima.

K6. Analiza nejasnoća i grešaka u procesu dodeljivanja konstruktivnih svojstava.

Kada se završi proces dodeljivanja svojstava on se mora prekontrolisati kako bi neprekidno ulaganje napora imalo za rezultat kontinualno i efektno izvršenje predviđenih projektnih zadataka i operacija dodeljivanja.

K7. Usklađivanje napora dodeljivanja konstruktivnih svojstava.

Dodeljivanje konstruktivnih svojstava nije primenljivo u realnosti zauvek i nerazumni su pokušaji u izgradnji perfektnog procesa dodeljivanja na samom početku projekta. Minimalni zahtevi koji su inicijalno postavljeni na samom početku procesa vremenom se moraju neprekidno usklađivati sa razvojem projekta.

Dodeljivanje ima svoja ograničenja. Što se više primenjuje njeni proračuni su zasnovani na pretpostavkama statističke nezavisnosti i u obliku takvih matematičkih modela koji opisuju odnose između komponenti i sistema. U proračunima u procesu dodeljivanja nije neophodno postojanje nezavisnosti, ali proračuni postaju ekestremno teški ako se ne uzima u obzir nezavisnost. To se može posmatrati tako da se iznete tvrdnje mogu primeniti samo kada govorimo o vrednostima pouzdanosti koje su procenjene na zasebnim testiranjima komponenti i podsistema. Kada govorimo o ispitivanjima podsistema kao delovima testova sistema tada ispravne matematičke i statističke međuzavisnosti automatski postoje i nema objektivnosti.

5.2.3. Izbor metoda realokacije pouzdanosti sistema

Alokacija pouzdanosti predstavlja proces raspoređivanja unapred definisanih zahteva za pouzdanošću pojedinih elemenata, kako bi se postigla zahtevana pouzdanost sistema. Alokacija pouzdanosti vrši se na sistemima koji su u fazi projektovanja ili izgradnje, dok se kod sistema koji su u eksploataciji vrši realokacija pouzdanosti. Pošto se model koji je prikazan u nastavku rada odnosi na analizu bezbednosti saobraćaja već postojećeg putnog pravca, a ne pravca koji je u fazi projektovanja, koristiće se pojam realokacija pouzdanosti.

Idealna realokacija pouzdanosti sistema postiže se kada se zahtevi za pouzdanošću elemenata sistema definišu tako da se ostvaruje optimalno korišćenje raspoloživih mogućnosti. Pri tom je potrebno obratiti pažnju na postizanje određene ravnoteže između zahteva za pouzdanošću određenih elemenata sistema. Strožiji zahtevi za pouzdanošću se postavljaju onim elementima sistema kod kojih je to moguće lakše ostvariti. Složenost

sistema ima veliki uticaj na mogućnost postizanja zahtevane pouzdanosti, što znači kod složenijih sistema teže je i skuplje postići zahtevanu pouzdanost.

Realokacija pouzdanosti nekog sistema zahteva rešenje sledeće nejednačine (MIL-HDBK-338B, 1998; Kumar, 2006; Hoyland, 2009):

$$f(R_1^*, R_2^*, \dots, R_n^*) \geq R^* \quad (5.1)$$

gde je:

R_i^* - pouzdanost realocirana na i-tom elementu sistema,

R^* - zahtevana pouzdanost sistema.

f – funkcionalna zavisnost pouzdanosti elemenata sistema i sistema kao celine

Kada se R^* i R_i posmatraju u funkciji vremena prethodna jednačina se uopštava. Uz pretpostavke da su otkazi elemenata sistema međusobno nezavisni i da otkaz bilo kog elementa izaziva otkaz čitavog sistema, nejednačina dobija sledeći oblik:

$$R_1^*(t) \cdot R_2^*(t) \cdot \dots \cdot R_n^*(t) \geq R^*(t) \quad (5.2)$$

Data jednačina, teoretski, ima beskonačan broj rešenja, pod pretpostavkom da nema nekih ograničenja u procesu definisanja zahteva za realokaciju. Zbog toga se postavljaju određena ograničenja pri realokaciji, kojim se definiše postupak pomoću kog se dobijaju rešenja nejednačine, na osnovu kojih se može izvršiti realokacija.

Pri rešavanju problema realokacije sistema razvijene su metode prilagođene određenim vrstama tehničkih sistema. Najčešće korišćene metode pri alokaciji pouzdanosti su (MIL-HDBK-338B, 1998; Kumar, 2006):

- metoda jednake alokacije;
- AGREE metoda alokacije;
- ARINC metoda alokacije;
- EFTES metoda alokacije;
- metoda alokacije uz minimalan uloženi napor.

Prethodno navedene metode primenjuju se za alokaciju pouzdanosti pri projektovanju novih sistema, ali i za realokaciju pouzdanosti kod sistema u eksploataciji. Pri izboru metode realokacije potrebno je prethodno detaljno proučiti sistem i uočiti sve relevantne faktore (složenost, uslovi korišćenja, obim uloženog rada na istraživanju i razvoju, značajnost i dr.), i na kraju na osnovu svega toga odabrati odgovarajuću metodu.

Metoda jednake (re)alokacije primenjuje se samo u posebnim situacijama, pošto ona podrazumeva istu vrednost pouzdanosti za svaki element sistema kako bi se ispuni zahtev pouzdanosti za celokupni sistem. Takav stav ne može se primeniti za složene tehničke sisteme.

AGREE metoda (re)alokacije uzima u obzir složenost i značajnost svakog elementa sistema, ali je primenljiva samo za elektronske sisteme.

ARINC metoda (re)alokacije uzima u obzir relativnu osetljivost na otkaze, svakog elementa sistema, i može se primeniti kod složenijih tehničkih sistema. Naziv ARINC metode vodi od skraćenice za Aeronautičku radio-korporaciju (Aeronautical Radio, Inc.)

koja je razvila ovu metodu početkom 60-tih godina (MIL-HDBK-338B, 1998). Preduslovi za primenu ove metode su sledeći: (1) sistem se sastoji iz n redno vezanih elemenata, tako da otkaz bilo kog elementa predstavlja i otkaz celog sistema, (2) intenziteti otkaza su konstantni i (3) vreme rada elemenata sistema je jednako vremenu rada celog sistema.

EFTES metoda (re)alokacije primenjuje se pri alokaciji pouzdanosti sistema u mašinstvu.

Metoda (re)alokacije uz minimalan uloženi napor obezbeđuje optimalno postizanje zahtevane pouzdanosti sistema, pri čemu se zahtevi za povećanje pouzdanosti postavljaju kod elemenata sa nižom pouzdanošću. Uzima se u obzir količina napora koju treba uložiti da bi se ostvarila zahtevana pouzdanost sistema, tako da se ukupna količina napora alocira na elemente sistema. Za svaki element sistema je vezana ista funkcija napora, koja meri količinu napora potrebnog za povećanje pouzdanosti datog elementa sistema.

Na osnovu, prethodno nabrojanih, svojstava navedenih metoda za realokaciju pouzdanosti odabrane su: *ARINC metoda (re)alokacije* i *metoda (re)alokacije uz minimalan uloženi napor*. Navedeni modeli alokacija pouzdanosti zasnovani su na pretpostavci da su otkazi elemenata sistema nezavisni, kao i da otkaz bilo kog elementa izaziva otkaz sistema.

5.3. DEFINISANJE MODELA REALOKACIJE POUZDANOSTI PRI IZBORU DEONICA PUTA ZA TRETIRANJE

5.3.1. Realokacija pouzdanosti primenom ARINC metode alokacije

Ispunjeni su uslovi za primenu metode u oblasti bezbednosti saobraćaja jer su deonice u rednoj vezi, intenzitet saobraćajnih nezgoda je konstantan i vreme proticanja saobraćaja na deonicama je jednako vremenu proticanja saobraćaja na putu kao celini. Primena ARINC metode traži da se zahtevi pouzdanosti izraze preko intenziteta otkaza tj. u ovom slučaju frekvencije saobraćajnih nezgoda (Kumar, 2006; MIL-HDBK-338B, 1998). Alokcija pouzdanosti ove metode sastoji se od tri koraka.

U prvom koraku neophodno je odrediti ili proceniti frekvenciju saobraćajnih nezgoda na svakoj deonici na osnovu podataka o broju saobraćajnih nezgoda.

Potrebno je odabrati λ_i^* tako da je:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i^* \leq \lambda^*, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (5.3)$$

gde je:

λ_i^* - frekvencija saobraćajnih nezgoda (re)alociran na i -toj deonici puta,

λ^* - zahtevana frekvencija saobraćajnih nezgoda na putu.

U drugom koraku se na osnovu utvrđenih vrednosti frekvencije saobraćajnih nezgoda deonica puta (λ_i) određuje težinski faktor (u_i) za svaku n deonicu pomoću sledećeg obrasca:

$$u_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{\lambda_i}{\lambda_s}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5.4)$$

Težinski faktor u_i predstavlja relativnu osetljivost na saobraćajne nezgode i -te deonice puta, odnosno relativan značaj (težinu) i -tog dela, tako da sledi:

$$\sum_{i=1}^n u_i = 1 \quad (5.5)$$

U trećom koraku, uzimajući u obzir određene vrednosti koeficijenta alokacije u_i i zadatu pouzdanost sistema R_s , odnosno frekvencija saobraćajnih nezgoda $\lambda_s = \frac{\ln R_s(t)}{t}$, određuju se maksimalne dozvoljene tj. alocirane vrednosti frekvencije nezgoda deonica prema formuli:

$$\lambda_i^* = u_i \lambda_s^* \quad (5.6)$$

Ovom jednačinom dobijamo vrednosti pouzdanosti koje treba realocirati deonicama puta, kako bi se ostvarila zahtevana frekvencija saobraćajnih nezgoda puta λ_s^* , odnosno zahtevana pouzdanost puta R^* .

Alocirana pouzdanost i -te deonice jednaka je:

$$R_i = e^{-\lambda_i^* t} \quad (5.7)$$

gde je t vreme neprekinutog odvijanja saobraćaja.

Ako se vrednosti za veličinu λ_i^* iz izraza (5.6) uvrsti u izraz (5.7) pouzdanost i -te deonice može da se dobije u funkciji zadate pouzdanosti puta R_s i koeficijenta alokacije u_i :

$$R_i = e^{-\omega_i \lambda_s^* t} = R_s^{\omega_i} \quad (5.8)$$

5.3.2. Realokacija pouzdanosti primenom metode alokacije uz minimalni uloženi napor

Osnovni cilj metode alokacije uz minimalni uloženi napor je postizanje zahtevane pouzdanosti puta uz minimalni uloženi napor za povećanje pouzdanosti deonica puta. Metoda se primenjuje kod sistema sa rednom vezom elemenata, što je slučaj sa putem čije su deonice u rednoj vezi. Zadana pouzdanost puta se alocira na način da se veća poboljšanja zahtevaju kod deonica sa nižom pouzdanošću. Zbog toga je potrebno da se odredi ili izmeri pouzdanost svake deonice ili ako postoji mogućnost proceni pouzdanost svih deonica puta.

Ako se put sastoji iz n deonica redno povezanih, i ako su R_1, R_2, \dots, R_n označene pouzdanosti datih deonica puta, tada će pouzdanost čitavog puta biti jednaka (Kececioglu, 2002):

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (5.9)$$

Neka je R^* zahtevana pouzdanost puta, pri čemu je $R^* > R$, tada je potrebno povećati bar jednu vrednost R_i , tako da se zadovolji zahtevana pouzdanost puta R^* .

Ova metoda je zasnovana na pretpostavci da je uz svaku deonicu puta vezana ista funkcija napora $G(R_i, R_i^*)$, koja meri količinu napora za povećanje pouzdanosti i -te deonice puta sa R_i na R_i^* . Funkcija se privremeno označava sa $G(x,y)$, radi razmatranja sledećih njenih svojstava:

1. funkcija $G(x,y)$ uvek je veća ili jednaka nuli, $G(x,y) \geq 0$, $y > x > 0$;
2. $G(x,y)$ je neopadajuća funkcija od y za konstantnu vrednost x , i nerastuća funkcija za konstantnu vrednost y : $G(x,y) \leq G(x, y+\Delta y)$, $\Delta y > 0$, i $G(x,y) \geq G(x+\Delta x, y)$, $\Delta x > 0$;
3. ako je $x \leq y \leq z$, tada je: $G(x,y) + G(y,z) = G(x,z)$, što znači da je količina napora uložena za povećanje pouzdanosti od x do z , jednaka zbiru napora za povećanje pouzdanosti od x do y i od y do z ;
4. $G(0,y)$ ima izvod $h(y)$ tako da je $yh(y)$ striktno rastuća funkcija u intervalu $(0 < y < 1)$.

Problem se svodi na određivanje vrednosti R_i^* tako da izraz: $\sum_{i=1}^n G(R_i, R_i^*)$ ima minimalnu vrednost, uz uslov da je: $\prod_{i=1}^n R_i^* \geq R^*$

Rešenje ovog problema ima sledeći oblik:

$$R_i^* = \begin{cases} R_0^*, & \text{ako je } i \leq k_0 \\ R_i, & \text{ako je } i > k_0 \end{cases} \quad (5.10)$$

gde su pouzdanosti deonica puta poređane po rastućem nizu $R_1 \leq R_2 \leq \dots \leq R_n$. Indeks r_i predstavlja rang elemenata puta prema izračunatoj pouzdanosti.

Broj k_0 predstavlja maksimalnu vrednost j tako da je:

$$R_j < \left[\frac{R^*}{\prod_{i=j+1}^{n+1} R_i} \right]^{\frac{1}{j}} = r_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (5.11)$$

gde je po definiciji $R_{n+1} = 1$.

Alocirana pouzdanost R_0^* je dat izrazom:

$$R_0^* = \left[\frac{R^*}{\prod_{j=k_0+1}^{n+1} R_j} \right]^{\frac{1}{k_0}} \quad (5.12)$$

Izraz za zahtevanu pouzdanosti puta R^* u funkciji od alociranih vrednosti pouzdanosti puta se računa prema sledećem obrascu:

$$R^* = (R_0^*)^{k_0} \cdot \prod_{j=k_0+1}^{n+1} R_j \quad (5.13)$$

5.4. TESTIRANJE MODELA

Za testiranje modela odabran je državni put I reda (nekadašnji put M24), sastavljen od 20 deonica, koji se u okviru modela posmatra kao sistem od 20 elemenata u rednoj (serijskoj) vezi (tabela 4.2). Deonice predstavljaju delove putne mreže između dva saobraćajna čvora (Hauer et al., 2002). Svaka deonica puta je specifična po strukturi i intenzitetu saobraćaja, saobraćajnom okruženju i opremi puta. Analizom podataka o saobraćajnim nezgodama na posmatranom putu, obuhvaćen je period 2005-2011. godine (7 godina). Na taj način je dobijen uzorak od 1.010 nezgoda. Ulazni parametri za testiranje modela realokacije pouzdanosti dobijeni su prema ranije razvijenom modelu za određivanje pouzdanosti puta koji je detaljno prikazan u okviru četvrtog poglavlja disertacije. Izlazni rezultati modela su parametri pouzdanosti za deonice puta i put u celini. Parametri modela pouzdanosti koji su korišćeni u modelu realokacije su: intenziteta saobraćajnih nezgoda na deonicama i putu $\lambda(t)$ ($\lambda_S(t)$ put, $\lambda_i(t)$ i-ta deonica), $R_i(t)$ funkcija pouzdanosti $R(t)$ ($R_S(t)$ put, $R_i(t)$ i-ta deonica), srednje vreme između dve saobraćajne nezgode T_0 ($T_{0S}(t)$ put, $T_{0i}(t)$ i-ta deonica). Rezultati ovih parametara su prikazani u tabelama 4.3 i 4.4, kao i na grafikonima 4.4 i 4.9. Grafikon 4.4 prikazuje frekvenciju saobraćajnih nezgoda (nezgoda/sedmica) po deonicama puteva. Poređenjem pouzdanosti deonica puta, zaključuje se da deonica 15 ima najmanju pouzdanost, zatim slede deonice 19, 14, 9, 7, 10, 13, 11 i 6. Dok je najpouzdanija deonica 5 bez saobraćajne nezgode, a za njom slede deonice 16, 1, 18, 17, 8, 12, 2, 20, 4 i 3. Prema rezultatima modela, saobraćajna nezgoda se dešava svakih 58,23 časa na putu posmatranom kao sistemu, u proseku, u toku jedne sedmice dogodi se 2,885 nezgoda, tj. 150,432 nezgoda u toku godine. Pouzdanost posmatranog puta je $R_S(t=365 \cdot 24) = 4,65739564071297 \cdot 10^{-66}$.

Posle analize pouzdanosti i rangiranja deonica prema tom kriterijumu, sledeći korak predstavlja definisanje željenog nivoa pouzdanosti, odnosno postavljanje cilja. Primenom modela za realokaciju pouzdanosti izabraće se deonice za tretiranje kako bi se postigao novi zahtevani nivo pouzdanosti.

Zahtevani nivo pouzdanosti može se definisati kao tačna vrednost ili kao rezultat preciznog procenta povećanja. Pored toga, zahtevana pouzdanost se može postići i kroz zahtev za smanjenje frekvencije saobraćajnih nezgoda. U drugim tehničkim sistemima, obično se u ovom koraku definiše tačna vrednost pouzdanosti, a ne zahtevani procenat povećanja. Sa aspekta upravljanja bezbednošću na putevima, na osnovu analiziranog stanja mnogo češće se cilj definiše kao procenat smanjenja broja nezgoda, tj. frekvencije nezgoda, nego kao postizanje nekog tačno određenog broja nezgoda. U datom primeru pokazano je kako se definisanje nove pouzdanosti postiže putem postavljanja preciznog procenta povećanja pouzdanosti (odnosno verovatnoće da neće biti nezgode u zahtevanom periodu) ili smanjenja frekvencije saobraćajnih nezgoda.

Metoda realokacije se posmatrala sa dva aspekta. Prvi je realokacija pouzdanosti uz zahtev za povećanje nivoa pouzdanosti puta za 20%, a drugi je realokacija pouzdanosti uz zahtev smanjenja frekvencije saobraćajnih nezgoda za 20%.

Zahtevana frekvencija saobraćajnih nezgoda (λ_s^*) je jednaka:

$$\lambda_s^* = - \frac{\ln R_s^*(t = 365 \cdot 24)}{t} \quad (5.14)$$

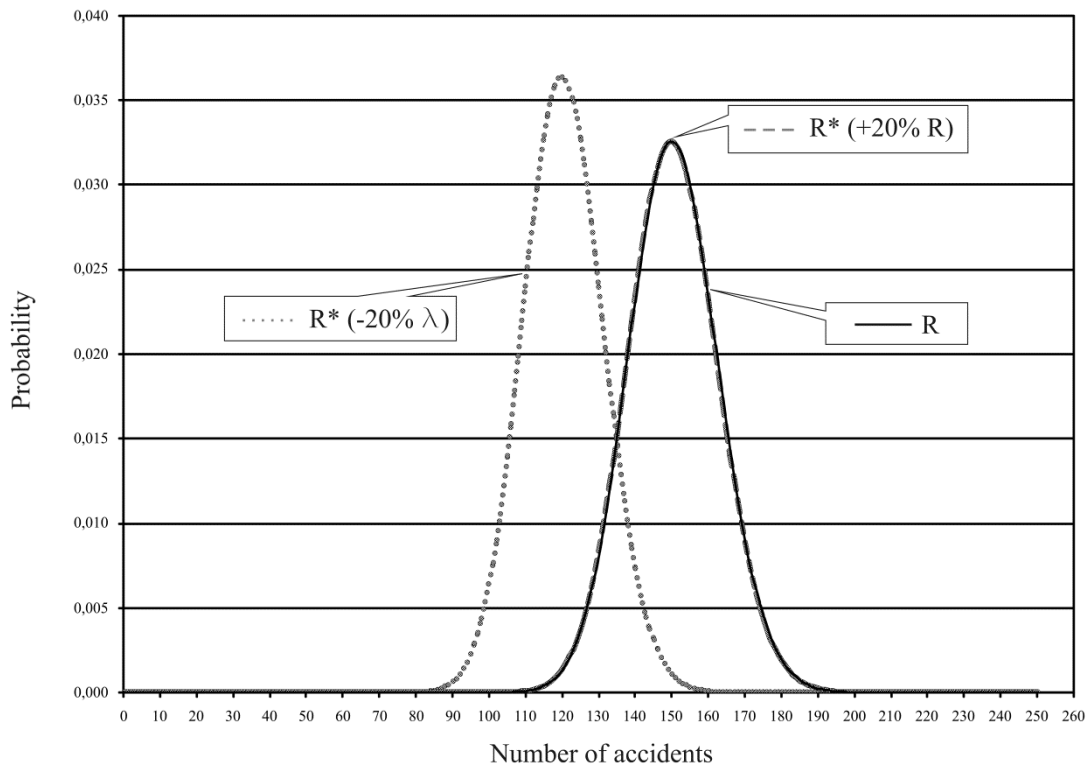
Srednje vreme između dve nezgode (T_{0s}^*) se izračunava po obrascu:

$$T_{0s}^* = \frac{1}{\lambda_s^*} \quad (5.15)$$

Vrednosti zahtevane pouzdanosti sistema (R_s^*), zahtevana frekvencija saobraćajnih nezgoda (λ_s^*) u toku jedne godine, kao i srednje vreme rada između dve nezgode (T_{0s}^*) izračunate su i date za oba posmatrana slučaja respektivno u tabeli 5.1. Grafik 5.1 pokazuje promenu verovatnoće nastanka saobraćajnih nezgoda na putu kao celini za period $t = 365(\text{dana}) = 8760(\text{h})$ nakon realokacije.

Tabela 5.1. Vrednosti zahtevane pouzdanosti za parametre puta

	Povećanje nivo pouzdanosti za 20%	Smanjenje frekvencije saobraćajnih nezgoda za 20%
R_s^*	$5,5888747688535 \cdot 10^{-66}$	$5,42643375865532 \cdot 10^{-53}$
λ_s^* (nezgoda/godina)	150,249838164288	120,345727776866
T_{0s}^* (h)	58,30	72,79



Grafik 5.1. Promena verovatnoće nastanka saobraćajne nezgode na putu za period $t=365$ (dana)=8.760 (h) nakon realokacije pouzdanosti

5.5. REZULTATI

Na osnovu definisanih ciljeva (određeno povećanje pouzdanosti) izračunate su vrednosti novih parametara deonice (pouzdanost, frekvencija saobraćajnih nezgoda, srednje vreme između dve nezgode) primenom metoda ARINC i minimalno uložnog napora. U tabelama 5.2 i 5.3, pored vrednosti parametara pouzdanosti date su vrednosti promena tih vrednosti.

Kod ARINC metode, procenti promene frekvencije i srednjeg vremena između nezgoda jednake su za sve deonice i iznose:

- povećanje pouzdanosti 20%: $\Delta\lambda = -0,12\%$, $\Delta T_0 = 0,12\%$
- smanjenje frekvencije saobraćajnih nezgoda 20%: $\Delta\lambda = -20,00\%$, $\Delta T_0 = 25,00\%$

Tabela 5.2. Rezultati realokacije pouzdanosti primenom ARINC metode (+ ili -20%)

Deonica	u_i	+20% R_S			-20% λ_S		
		λ_i^*	R_i^*	$\Delta R_i(\%)$	λ_i^*	R_i^*	$\Delta R_i(\%)$
15	0.19789082406	0.003394185421	0.000000000000	3.65	0,002718643292	0,000000000045	38412,81
19	0.10866802173	0.001863853046	0.000000081119	2.00	0,001492891799	0,000002091284	2529,64
14	0.10262960406	0.001760283265	0.000000200976	1.89	0,001409935433	0,000004325277	2092,79
9	0.09965857319	0.001709324714	0.000000314059	1.83	0,001369119123	0,000006184382	1905,28
7	0.08009537023	0.001373780413	0.000005936942	1.47	0.001100357948	0.000065129327	1013.16
10	0.07974780176	0.001367818985	0.000006255220	1.46	0.001095583018	0.000067911359	1001.58
13	0.07642281986	0.001310789534	0.000010308762	1.40	0.001049904095	0.000101326774	896.71
11	0.06558325683	0.001124871430	0.000052543260	1.20	0.000900989129	0.000373473027	619.34
6	0.05407729067	0.000927523307	0.000296013892	0.99	0.000742919053	0.001491503060	408.85
3	0.02734457666	0.000469008929	0.016432105305	0.50	0.000375662440	0.037223947364	127.66
4	0.02603690766	0.000446580041	0.019999636853	0.48	0.000357697557	0.043568075856	118.88
20	0.01626343045	0.000278947237	0.086849565220	0.30	0.000223428581	0.141248521949	63.12
2	0.01624703182	0.000278665971	0.087063816875	0.30	0.000223203296	0.141527551748	63.04
12	0.01274995439	0.000218684770	0.147241882803	0.23	0.000175160107	0.215584455827	46.76
8	0.01246075626	0.000213724499	0.153780870165	0.23	0.000171187075	0.223219702328	45.48
17	0.01107919124	0.000190028161	0.189257512502	0.20	0.000152207002	0.263597138116	39.56
18	0.00656300482	0.000112567399	0.373032246178	0.12	0.000090163195	0.453922140856	21.83
1	0.00433493229	0.000074351926	0.521355632092	0.08	0.000059553719	0.593516311815	13.93
16	0.00214665201	0.000036818963	0.724311219593	0.04	0.000029490913	0.772332286323	6.67
5	0.00000000000	0.000000000000	1.000000000000	0.00	0.000000000000	1.000000000000	0.00

Tabela 5.3. Rezultati realokacije pouzdanosti primenom metode minimalno uloženog napora (+ ili -20%)

Deonica	Rang	+20% R_S					-20% λ_S				
		λ_i^*	R_i^*	$\Delta R_i(\%)$	$\Delta \lambda_i(\%)$	$\Delta T_i(\%)$	λ_i^*	R_i^*	$\Delta R_i(\%)$	$\Delta \lambda_i(\%)$	$\Delta T_i(\%)$
15	1	0.003377491152	0.0000000000001415	19.97	-0.61	0.62	0.001341439846	0.0000078813366205	6684441456.96	-60.53	153.33
19	2	0.001866114749	0.0000000795273220	0.00	0.00	0.00	0.001341439846	0.0000078813366205	9810.23	-28.12	39.11
14	3	0.001762419291	0.0000001972501751	0.00	0.00	0.00	0.001341439846	0.0000078813366205	3895.60	-23.89	31.38
9	4	0.001711398904	0.0000003084042547	0.00	0.00	0.00	0.001341439846	0.0000078813366205	2455.52	-21.62	27.58
7	5	0.001375447435	0.0000058508738721	0.00	0.00	0.00	0.001341439846	0.0000078813366205	34.70	-2.47	2.54
10	6	0.001369478773	0.0000061649282964	0.00	0.00	0.00	0.001341439846	0.0000078813366205	27.84	-2.05	2.09
13	7	0.001312380119	0.0000101661209295	0.00	0.00	0.00	0.001312380119	0.0000101661209295	0.00	0.00	0.00
11	8	0.001126236412	0.0000519187289602	0.00	0.00	0.00	0.001126236412	0.0000519187289602	0.00	0.00	0.00
6	9	0.000928648816	0.0002931096965901	0.00	0.00	0.00	0.000928648816	0.0002931096965901	0.00	0.00	0.00
3	10	0.000469578051	0.0163503868219624	0.00	0.00	0.00	0.000469578051	0.0163503868219624	0.00	0.00	0.00
4	11	0.000447121947	0.0199049217749108	0.00	0.00	0.00	0.000447121947	0.0199049217749108	0.00	0.00	0.00
20	12	0.000279285727	0.0865924225760776	0.00	0.00	0.00	0.000279285727	0.0865924225760776	0.00	0.00	0.00
2	13	0.000279004119	0.0868062994131854	0.00	0.00	0.00	0.000279004119	0.0868062994131854	0.00	0.00	0.00
12	14	0.000218950134	0.1469000030886260	0.00	0.00	0.00	0.000218950134	0.1469000030886260	0.00	0.00	0.00
8	15	0.000213983844	0.1534318974283630	0.00	0.00	0.00	0.000213983844	0.1534318974283630	0.00	0.00	0.00
17	16	0.000190258752	0.1888756028375620	0.00	0.00	0.00	0.000190258752	0.1888756028375620	0.00	0.00	0.00
18	17	0.000112703994	0.3725861512235020	0.00	0.00	0.00	0.000112703994	0.3725861512235020	0.00	0.00	0.00
1	18	0.000074442149	0.5209437406228380	0.00	0.00	0.00	0.000074442149	0.5209437406228380	0.00	0.00	0.00
16	19	0.000036863641	0.7240277934568100	0.00	0.00	0.00	0.000036863641	0.7240277934568100	0.00	0.00	0.00
5	20	0.000000000000	1.0000000000000000	0.00	0.00	0.00	0.000000000000	1.0000000000000000	0.00	0.00	0.00

Prikazani rezultati ukazuju na osnovne karakteristike predloženih metoda. Metoda ARINC svakoj deonici dodeljuje određeni “napor” za postizanje definisanog nivoa pouzdanosti, dok metoda minimalno uloženog napora izdvaja deonice koje treba tretirati da bi se postigao definisani cilj.

U Tabeli 5.2 dati su rezultati ARINC metode, koliko je potrebno povećati pouzdanost svake deonice puta za ostvarivanje zahtevane pouzdanosti sistema, koja je za 20% veća od sadašnje, kao i rezultati potrebnog povećanja pouzdanosti kada se frekvencija saobraćajnih nezgoda smanji za 20%.

Primenom metode minimalnog uloženog napora neophodno je uložiti napor samo za povećanje pouzdanosti deonice 15 da bi se pouzdanost puta povećala za 20%, pri tome nije potrebno povećavati pouzdanost ostalih deonica puta. Ukoliko se za cilj postavi smanjenje frekvencije saobraćajnih nezgoda za 20%, tada je neophodno da se ulože napori za povećanje pouzdanosti šest deonica i to: 15, 19, 14, 9, 7, 10 (Tabela 5.3).

5.6. ZAKLJUČAK I DISKUSIJA

Upravljač puta u svom radu susreće se sa mnogim izazovima. Između ostalog od njega se zahteva da: (1) prati stanje bezbednosti saobraćaja na putevima, (2) vrši identifikaciju, izbor i tretman opasnih mesta i deonica na putevima, (3) definiše ciljeve bezbednosti saobraćaja i dr. U realizaciji navedenih zadataka upravljač puteva koristi određene alate i postupke koji se razlikuju po složenosti primene (vreme trajanja, ulazni podaci, pouzdanost rezultata i sl.).

Ovim modelom je definisan pristup rangiranju i izboru deonica puteva, kao elemenata sistema, u cilju povećanja pouzdanosti, tj. bezbednosti odnosno smanjenja frekvencija broja nezgoda. Razvijeni metod baziran je na teoriji pouzdanosti, preciznije na metodama alokacije pouzdanosti tehničkih sistema, i spada u grupu vremensko-prostornih modela. Postizanje zahtevanog nivoa pouzdanosti, odnosno smanjenja frekvencije nezgoda, moguće je jedino putem produžavanja vremena između dve uzastopne nezgode. Osnovna odlika modela je pružanje precizne vrednosti zahtevane frekvencije saobraćajnih nezgoda, odnosno srednjeg vremena između dve nezgode, na svim ili izabranim deonicama (u zavisnosti od primenjene metode) na osnovu preciznog zahteva za povećanjem pouzdanosti, tj. bezbednosti putnog pravca. Posebno treba istaći da realokacija pouzdanosti, odnosno težnja za produženjem vremenskog perioda između dve nezgode, predstavlja kontinualan proces.

Predložen model omogućava upravljaču puta da na jednostavan i brz način definiše željeni nivo pouzdanosti putne mreže na nekom prostoru. Metoda minimalno uloženog napora je posebno značajna, jer omogućava izbor putnih deonica koje treba tretirati da bi se postigla zahtevana pouzdanost nekog putnog pravca, odnosno definisano smanjenje frekvencija saobraćajnih nezgoda.

Neophodno je napomenuti da predložene metode imaju određeno ograničenje. Naime, za svaku deonicu puta vezana je ista funkcija napora koja meri količinu napora potrebnog za povećanje pouzdanosti datog dela puta. U nastavku istraživanja, potrebno je

usmeravanje aktivnosti na razvoj modela koji obezbeđuju uključivanje različitih funkcija napora za deonice puta u procesu realokacije pouzdanosti. To znači da bi se analizirali i uticaji pojedinih faktora bezbednosti puta na nastanak saobraćajnih nezgoda.

Pristup opisan u radu je vid proaktivnog delovanja koje omogućava donosiocu odluka da prati stanje bezbednosti saobraćaja na putim pravcima posmatranjem vremena između dve nezgode. Ponuđeni alat daje brz odgovor donosiocu odluka gde da uloži limitirana sredstva budžeta. Predloženi metod značajan je onim upravljačima puta koji ne poseduju dobre i sveobuhvatne baze podataka neophodnih za modelovanje bezbednosti saobraćaja. Predloženi model ima velikih potencijala za proširenje i razvoj.

5.7. REFERENCE

- Abdel-Aty, M., Pande, A., 2007. Crash data analysis: collective vs. individual crash level approach. *Journal of Safety Research* 38 (5), 581–587.
- Blischke, W.R., Murthy, D.P. (Eds.), 2003. *Case Studies in Reliability and Maintenance*, vol. 480. Wiley, New Jersey, ISBN: 9780471413738.
- Elvik, R., 2007. *State-of-the-Art Approaches to Road Accident Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks*. Project: 3064 RIPCORDER-ISEREST. The Institute of Transport Economics (TOI), Oslo, ISBN978-82-0739-5.
- Elvik, R., 2010. *Assessment and Applicability of Road Safety Management Evaluation Tools: Current Practice and State-of-the-Art in Europe*. The Institute of Transport Economics (TOI), TOI report: 1113/2010, Oslo, ISBN978-82-480-1171-2. European Commission, 2001.
- White Paper - European Transport Policy for 2010: Time to Decide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-0341-1.
- Harwood, D.W., Torbic, D.J., Richard, K.R., Meyer, M.M., 2010. *SafetyAnalyst: Software Tools for Safety Management of Specific Highway Sites*, FHWA-HRT-10-063. Midwest Research Institute, Kansas City, MO.
- Hauer, E., et al., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record* 1784, 27–32.
- Høyland, A., Rausand, M., 2009. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. Wiley, New Jersey, ISBN 0470317744.
- Jovanović, D., Bačkalić, T., Bašić, S., 2011. The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. *Safety Science* 49, 1246–1251.
- Kececioglu, D., 2002. *Reliability Engineering Handbook*, vol. 2. DLS tech Publications Inc, PA, USA, ISBN 1-932078-01-0.
- Kumar, D., Crocker, J., et al., 2006. *Reliability and Six Sigma*. Springer, New York, USA, ISBN 10:0387302557.
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305.
- Lynam, D., Hummel, T., Barker, J., Lawson, S., 2004. *European Road Assessment Programme, EuroRAP I, (2003) Technical Report*, European Road Assessment, <http://www.eurorap.org>
- Metcalfe, J., Smith, G., 2005. *How Safe are Our Roads? Rating Australia's National Highways for Risk*. Australian Automobile Association, Canberra.
- MIL-HDBK-338B, 1998. *Military Handbook – Electronic Reliability Design Handbook*. Department of Defense, Washington, DC.
- Network Safety Management (NSM), 2005. *BASt and Sétra (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes)*, France, http://www.sure.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/NSM_V_FD_final_cle55ec71-1.pdf

- Sorensen, M., Elvik, R., 2007. Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks-Best Practice Guidelines and Implementation Steps. The Institute of Transport Economics (TOI), ISBN 978-82-480-0810-1.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2003. Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

6.1 ZAKLJUČAK

6.2 PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

6.3 REFERENCE

6.1. ZAKLJUČAK

Pored zagađenja životne sredine, saobraćajne nezgode predstavljaju jedan od najznačajnijih problema savremenog industrijskog društva. Koliko je ozbiljan problem stradanja ljudi u saobraćaju pokazuje i to da je 11. maja 2011. godine pokrenuta Globalna kampanja „Decenija akcije za bezbednost saobraćaja na putevima 2011-2020“. Ona je nastavak kampanje „Učinimo puteve bezbednim“ koja označava period konkretnih mera i akcija u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja. U tom cilju vlade država širom sveta uz pomoć predstavnika nacionalnih i lokalnih vlasti, građanskih organizacija, privatnih kompanija obavezuju se da definišu nacionalne planove i usklade svoje aktivnosti u toku Decenije sa aktivnostima na Globalnim planom koji je sačinjen od strane Komisije ujedinjenih nacija. U Globalnom planu definisano je pet kategorija ili stubova aktivnosti i to: (1) upravljanje bezbednošću saobraćaja, (2) bezbedniji putevi i mobilnost, (3) bezbednija vozila, (4) bezbedniji učesnici u saobraćaju i (5) aktivnosti posle nezgoda (United Nations Road Safety Collaboration, 2011).

Dugi niz godina stručnjaci iz oblasti bezbednosti saobraćaja ulažu napore da smanje broj i ublaže posledice saobraćajnih nezgoda. U tom složenom sistemu istraživanja kao osnovni korak nameće se oblast saobraćajnih analiza koje se zasnivaju na vremenskim i prostornim modelima. Osnova svake aktivnosti na unapređenju bezbednosti saobraćaja, odnosno na sprečavanju saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica, mora počivati na tačno dijagnostifikovanom stanju i jasno definisanim uslovima u kojima se ove pojave javljaju. Detaljna analiza i stalno praćenje vremenske i prostorne distribucije saobraćajnih nezgoda, odnosno nastradalih lica, omogućava efikasnije planiranje i sprovođenje mera i aktivnosti radi njihovog sprečavanja. Sve ovo ukazuje na značaj unapređenja i razvoja modela za upravljanje bezbednošću saobraćaja što ujedno predstavlja i prvi stub aktivnosti Globalnog plana bezbednosti saobraćaja. Evropska komisija je u julu 2010. kao primarni cilj definisala smanjenje broja poginulih u saobraćajnim nezgodama na putevima za polovinu do 2020. godine. Kako je broj nezgoda na ruralnim putevima još uvek procentualno veći od broja nezgoda koje se dogode na ulicama u stambenim oblastima i motoputevima, mnoge zemlje rade na definisanju i sprovođenju strategija koje se odnose na unapređenje bezbednosti saobraćaja na ruralnim putevima.

Modeli opisani i testirani u disertaciji otvaraju jedan novi pristup analize frekvencija saobraćajnih nezgoda u oblasti bezbednosti saobraćaja. Doprinos doktorske disertacije može se posmatrati sa naučnog i praktičnog aspekta. Sa naučnog aspekta, u radu su izvršeni pregled i sistematizacija modela koji se zasnivaju na frekvenciji saobraćajnih nezgoda sa vremenskog aspekta i njihova veza sa prostornim modelima. Na ovaj način napravljena je šira teorijska podloga za definisanje značaja analize frekvencije saobraćajnih nezgoda i razvoj modela za upravljanje bezbednošću saobraćaja na ruralnim putevima.

Na osnovu detaljnog pregleda literature koja se odnosi na modele frekvencije saobraćajnih nezgoda mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Podaci o frekvenciji saobraćajnih nezgoda predstavljaju ulazne parametre za primenu modela u analizama bezbednosti saobraćaja;

- Podaci o saobraćajnim nezgodama baziraju se na vremensko-prostornim koordinatama;
- Vremenski modeli pružaju značajne pogodnosti i oni predstavljaju početni korak u analizama bezbednosti saobraćaja, jer omogućavaju uočavanje i praćenje trendova i definisanje ciljeva u budućnosti;
- Vremenski, prostorni i vremensko-prostorni modeli zasnivaju se na metodama gde se frekvencija saobraćajnih nezgoda posmatra kao broj događaja u nekom periodu vremena;
- Analize frekvencija broja saobraćajnih nezgoda imaju brojna ograničenja kao što su:
 - Saobraćajne nezgode su pojave koje retko nastaju, stoga je neophodno da protekne duži period kako bi se sakupila dovoljna količina podataka;
 - Promena uticaja pojedinih faktora na nastanak nezgoda;
 - Etički problem očekivanja broja stradanja ljudi u saobraćaju kako bi se moglo delovati u cilju prevencije;
 - Nezgode su slučajni događaji, tako da broj nezgoda koji se registruju na jednom mestu nije isti svake godine;
 - Postoji tzv. “tamna brojka” nezgoda koja se ne evidentira;
 - Pored problema u načinu sakupljanja podataka i njihovoj evidenciji postoje i drugi problemi sa kojima se eksperti susreću prilikom modelovanja (nad disperzija, pod disperzija, vremenski promenljive nezavisne varijable, vremensko-prostorna korelacija podataka, mala srednja vrednost i mala veličina uzorka, izostavljanje promenljive, endogene promenljive, funkcionalni obrasci, fiksni parametri).
- Glavna prednost vremensko-prostornih modela je dinamička komponenta vremena (posmatra se vreme između dva događaja) koja omogućava aktivno delovanje u realnom vremenu.
- Nakon analize modela koji se zasnivaju na frekvenciji saobraćajnih nezgoda uočena je potreba za razvojem modela koji omogućuju poređenje stanja bezbednosti saobraćaja na putnim pravcima, nezavisnog od vremenskog okvira posmatranja i broja podataka.

Pregled i detaljna analiza literature iz oblasti frekvencija saobraćajnih nezgoda dokazuje da je modelima koji posmatraju vreme između nastanka dve saobraćajne nezgode posvećeno najmanje pažnje u okviru dosadašnjih istraživanja iz oblasti bezbednosti saobraćaja (Lord and Mannering, 2010; Mannering and Bhat, 2013). Doktorska disertacija doprinosi postojećoj literaturi kroz razvoj modela koji otvaraju jedan novi pristup analize frekvencije saobraćajnih nezgoda u oblasti bezbednosti saobraćaja. Osnovni praktični doprinos doktorske disertacije ogleda se u mogućnosti primene opisanih i testiranih modela na mreži ruralnih puteva. Punu praktičnu upotrebljivost ovi modeli imaju za donosiocce odluka (upravljача puta) čiji je osnovni zadatak veština u izboru i primeni odgovarajućeg modela u cilju povećanja bezbednosti saobraćaja.

Praktična prednost razvijenih modela ogleda se u sledećem:

- Pomoću datih modela upravljač puta može da donese odluke gde da uloži određeni napor i sredstva sa ciljem unapređenja bezbednosti saobraćaja;
- Modeli koji posmatraju vreme između dve saobraćajne nezgode, za razliku od drugih modela koji se primenjuju za analizu frekvencija saobraćajnih nezgoda, zahtevaju samo podatke o vremenu nastanka saobraćajne nezgode i lokaciji;
- Predloženi model daje odgovor upravljaču puta gde da očekuje pojavu saobraćajne nezgode;
- Izlazni rezultat modela koji posmatra vreme između dve saobraćajne nezgode na ruralnim putevima je nivo pouzdanosti puta i njegovih deonica;
- Primenom datog modela, za put i deonice tokom definisanog vremenskog perioda, određuju se sledeći parametri:
 - srednje vreme između dve uzastopne saobraćajne nezgode;
 - učestalost saobraćajnih nezgoda;
 - verovatnoća nastanka određenog broja saobraćajnih nezgoda na bilo kojoj deonici ili celom putu.
- Dinamička komponenta vremena, kao jedna od glavnih prednosti modela koji se zasniva na analizi vremena između dve saobraćajne nezgode, ujedno omogućava i aktivno delovanje u realnom vremenu;
- Osnovna odlika modela realokacije pouzdanosti je pružanje precizne vrednosti zahtevane frekvencije saobraćajnih nezgoda, odnosno srednjeg vremena između dve nezgode, na svim ili izabranim deonicama (u zavisnosti od primenjene metode) na osnovu preciznog zahteva za povećanjem bezbednosti putnog pravca;
- Prednost ovih modela ogleda se u jednostavnosti primene za upravljača puta (ne zahtevaju detaljne baze podataka, primenu nekih od komplikovanih matematičkih aparata);
- Predloženi model promoviše permanentno i aktivno praćenje stanja bezbednosti saobraćaja na mreži puteva;
- Model daje brz odgovor donosiocu odluka gde da uloži limitirana sredstva budžeta;
- Od velike su koristi posebno za zemlje u razvoju koje ne poseduju detaljne baze podataka o saobraćajnim nezgodama.

Predloženi modeli u okviru disertacije predstavljaju novine u oblasti analiza frekvencije saobraćajnih nezgoda i njihov posebni značaj ogleda se u praktičnoj primeni i značaju u analizama bezbednosti saobraćaja na putnoj mreži. Takođe, treba istaći da predloženi modeli imaju veliki potencijal u pogledu razvoja i proširenja.

6.2. PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Modeli razvijeni i testirani u doktorskoj disertaciji pripadaju novoj i nedovoljno istraženj oblasti u analizama frekvencija saobraćajnih nezgoda, i kao takvi imaju

prednosti kako sa teorijskog, tako i sa praktičnog aspekta. Pored toga, aktuelnost predstavlja jednu od prednosti ovih modela što omogućava njihovo proširenje i razvoj u bliskoj budućnosti.

Prilikom modelovanja, u disertaciji pažnja je bila usmerena na izbor deonica u cilju postizanja željenog nivoa pouzdanosti (tj. smanjenja broja nezgoda), tako da nisu uzeti u obzir faktori koji utiču na rizik od nezgoda. Pravce daljih istraživanja i unapređenje modela trebalo bi usmeriti ka kombinovanom pristupu identifikacije opasnih lokacija i uticaju faktora na nastanak saobraćajne nezgode.

Takođe, kod modela realokacije pouzdanosti za svaku deonicu puta vezana je ista funkcija napora koja meri količinu napora potrebnog za povećanje pouzdanosti datog dela puta. U nastavku istraživanja, potrebno je usmeravanje aktivnosti na razvoj modela koji obezbeđuju uključivanje različitih funkcija napora za deonice puta u procesu realokacije pouzdanosti.

6.3. REFERENCE

- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305
- Mannering, F.L., Bhat, C.R., 2013. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*.
- United Nations Road Safety Collaboration, 2011. *Global plan for the Decade of Action for Road Safety 2011–2020*. Geneva, WHO.

7. LITERATURA

- AASHTO, 2010. Highway Safety Manual, 1st edition. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abdel-Aty, M., & Keller, J. 2005. Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 417–425.
- Abdel-Aty, M., Pande, A., 2007. Crash data analysis: collective vs. individual crash level approach. *Journal of Safety Research* 38 (5), 581–587.
- Abdel-Aty, M., Radwan, E., 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis and Prevention* 32 (2000) 633–642.
- Agresti, A., 2002. *Categorical data analysis*. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc.
- Aguero-Valverde, J. 2013. Full Bayes Poisson gamma, Poisson lognormal, and zero inflated random effects models: Comparing the precision of crash frequency estimates. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 289-297.
- Aguero-Valverde, J. 2013. Multivariate spatial models of excess crash frequency at area level: Case of Costa Rica. *Accident Analysis & Prevention*, 59, 365-373.
- Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P.P., 2006. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 618-625.
- Aguero-Valverde, J., Jovanis, P.P., 2008. Analysis of road crash frequency with spatial models. *Transportation Research Record* 2061, 55–63.
- Aguero-Valverde, J., Jovanis, P.P., 2010. Spatial correlation in multilevel crash frequency models: effects of different neighboring structures. *Transportation Research Record* 2165, 21–33.
- Anastasopoulos, P.C., Mannering, F.L., 2009. A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models. *Accident Analysis and Prevention* 41 (1), 153–159.
- Anderson, T. K., 2009. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364.
- Andersson, A., Chapman, L., 2011. The use of a temporal analogue to predict future traffic accidents and winter road conditions in Sweden, *Meteorological applications Meteorol. Appl.* 18: 125–136.
- Andreescu, M.P., Frost, D.B., 1998. Weather and traffic accidents in Montreal, Canada. *Climate Research* 9: 225–230.
- Andrey J, Olley R. 1990. The relationship between weather and road safety: past and future research directions. *Climatological Bulletin* 24: 123–127.
- Andrey J., Mills, B. et al., 2003. Weather as a Chronic Hazard for Road Transportation in Canadian Cities., *Natural Hazards* 28: 319–343.
- Andrey, J., Yagar, S., 1993. A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accident Analysis and Prevention* 25: 465–472.
- Antoniou, C., & Yannis, G., 2013. State-space based analysis and forecasting of macroscopic road safety trends in Greece. *Accident Analysis & Prevention*.

- Bačkalić, S., 2013. Temporal analysis of the traffic accidents occurrence in Province of Vojvodina, *Transport Problems, International scientific journal*, Volume 8, Issue 1, The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, 8 Krasinskiego St., 40-019 Katowice, Poland, ISSN 1896-0596, page 87-93
- Bačkalić, S., Jovanović, D., Bačkalić, T., 2013. Application of the reliability theory in the traffic safety analysis on the rural road, *Multidisciplinary Academic Conference 2013 Transport, Logistics and Information Technologies, Proceedings of MAC - TLIT 2013, Indexing – EBSCO, Google Books, Prague, ISBN Number: 978-80-905442-0-8*
- Bačkalić, S., Jovanović, D., Bačkalić, T., 2014. Reliability reallocation models as a support tools in traffic safety analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 65, 47-52.
- Bačkalić, S., Matović, B., Bašić, A., 2013. The time-space approach in the analysis of traffic safety on rural road“, 6. *International scientific conference Road Research and Administration CAR 2013, Technical University of Civil Engineering of Bucharest, ISBN 978-973-100-290-3.*
- Bašić, S., Bačkalić, T., Jovanović, D., 2010. Temporal and time series forecasting as a tool for traffic safety analysis, *X International Symposium "ROAD ACCIDENTS PREVENTION 2010"*, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-279-4.
- Bates, D.M., Watts, D.G., 1988. *Nonlinear regression analysis and its applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bergel, R., Girard, B., Lassarre, S., & Le Breton, P. (1996). A model of seasonally corrected indicators of road safety. *Proceedings of the Conference Road Safety in Europe and Strategic Highway research Program (SHRP), Prague, the Czech Republic (VTI konferens N8 4A, Part 1, pp. 147–156).*
- Bergel-Hayat, R., 2008. *The use of explanatory variables in time series modelling: applications to transport demand and road risk*. Ph.D. thesis. Paris-Est University.
- Bergel-Hayat, R., 2012. Time-series models of aggregate road risk and their applications to European countries. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal* 32, 211–246.
- Bhat, C. R., & Pinjari, A.R., 2000. Duration modeling. *Handbook of transport modelling*, 6, 91-111.
- Bhat, C.R., 1996. A hazard-based duration model of shopping activity with nonparametric baseline specification and nonparametric control for unobserved heterogeneity. *Transportation Research Part B: Methodological* 30 (3), 189–207
- Bhat, C.R., Frusti, T., Zhao, H., Schfelder, S., Axhausen, K.W., 2004. Intershopping duration: an analysis using multiweek data. *Transportation Research Part B: Methodological* 38 (1), 39–60.
- Bijleveld, F.D., Commandeur, J.J.F., Gould, P.G., Koopman, S.J., 2008. Model-based measurement of latent risk in time series with applications. *Journal of the Royal Statistical Society A* 171, 265–277.

- Bíl, M., Andrášik, R., & Janoška, Z. (2013). Identification of Hazardous Road Locations of Traffic Accidents by means of Kernel Density Estimation and Cluster Significance Evaluation. *Accident Analysis & Prevention*.
- Blazquez, C. A., & Celis, M. S., 2012. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. *Accident Analysis & Prevention*.
- Blischke, W.R., Murthy, D.P. (Eds.), 2003. *Case Studies in Reliability and Maintenance*, vol. 480. Wiley, New Jersey, ISBN: 9780471413738.
- Box, G.E.P., Cox, D.R., 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society B* 26, 211–246.
- 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 and Prevention*. 40 (3), 1180–1190.
- Brodsky, H., Hakkert, A. S., 1993. Highway accident rates and rural travel densities. *Accident Analysis and Prevention*. 15(1):73-84.
- Brodsky, H.; Hakkert, A. S., 1998. Risk of a road accident in rainy weather. *Accident Analysis and Prevention*. 20(3):161-176.
- Broughton, J., 1991. Forecasting road accident casualties in Great Britain. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):353-362.
- Carson, J., Mannering, F., 2001. The effect of ice warning signs on accident frequencies and severities. *Accident Analysis and Prevention* 33 (1), 99–109.
- Ceder, A., 1982. Relationships between road accidents and hourly traffic flow-II Probabilistic approach. *Accid. Anal. And Prev.* 14(1):35-44.
- Ceder, A., Livneh, M., 1978. Further evaluation of the relationships between road accidents and average daily traffic. *Accid. Anal. and Prev.* 10:95-109.
- Chang, J., Oh, C., Chang, M., 2000. Effects of Traffic Condition (v/c) on safety at freeway facility sections. *Transportation Research, E-Circular, Fourth International Symposium on Highway Capacity Proceedings*, pp. 200–208.
- 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.
- Chang, L.Y., 2005. Analysis of freeway accident frequencies: Negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science*, 43(8), 541–557.
- Chapman, R.A., 1973. The concept of exposure. *Accident Anal Prev.* 5 (2), 95–110.
- Chin, H.C., Quddus, M.A., 2003. Applying the random effect negative binomial model to examine traffic accident occurrence at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention* 35 (2), 253–259.
- Chin, S.M., Franzese, O., Greene, D.L., Hwang, H.L., Gibson, R.C., 2004. “Temporary Loss of Highway Capacity and Impacts on Performance: Phase 2”. Report No. ORNLN/TM-2004/209, Oak Ridge National Laboratory.
- Chung, Y., 2010. Development of an accident duration prediction model on the Korean Freeway Systems. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 282-289.

- Coate, D., Markowitz, S., 2004. The effects of daylight and daylight saving time on US pedestrian fatalities and motor vehicle occupant fatalities. *Accident Analysis and Prevention*. 36, 351–357.
- Commandeur, J. J., Bijleveld, F. D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., & Papadimitriou, E., 2013. On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 424-434.
- Commandeur, J., Bjleveld, F., & Bergel, R., 2007. A multivariate time series analysis applied to SafetyNet data. *SafetyNet Deliverable D7.7*
- Commandeur, J.J., Bijleveld, F.D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., & Papadimitriou, E., 2013. On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 424-434.
- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., 2007. *An Introduction to State Space Time Series Analysis*. Practical Econometrics Series. Oxford University Press, Oxford.
- Commandeur, J.J.F., Koopman, S.J., Ooms, M., 2011. Statistical software for state space methods. *Journal of Statistical Software* 41, 1–18.
- Ćatić, D., 2009. *Metode pouzdanosti mašinskih sistema*. Mašinski fakultet, Kragujevac, ISBN 978-86-86663-31-3.
- De Jong, G., 1996. A disaggregate model system of vehicle holding duration, type choice and use. *Transportation Research Part B: Methodological* 30 (4), 263–276.
- Dhillon, B.S., 2005. *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*. Boca Raton, Florida, USA, ISBN 0-8493-3068-8.
- Dobson, A., 1990. *An Introduction to Generalized Linear Models*, 2nd edition. Chapman & Hall, London.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic safety research – Methodology*, Deliverable D7.4 of the EU, FP6 project SafetyNet.
- Dupont, E. and Martensen, H. (Eds.), 2007. *Multilevel modelling and time series analysis in traffic research – Manual*. Deliverable D7.5 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Durbin, J., Koopman, S.J., 2012. *Time Series Analysis by State Space Methods*, 2nd edition. Oxford University Press, Oxford.
- Edwards, J., 1999. The temporal distribution of road accidents in adverse weather. *Meteorol. Appl.* 6, 59–68.
- El-Basyouny, K., Sayed, T., 2009a. Collision prediction models using multivariate Poisson-lognormal regression. *Accident Analysis and Prevention* 41 (4), 820–828.
- Elvik, R., 2007. *State-of-the-Art Approaches to Road Accident Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks*. Project: 3064 RIPCORD-ISEREST. The Institute of Transport Economics (TOI), Oslo, ISBN978-82-0739-5.
- Elvik, R., 2008. A Survey of Operational Definitions of Hazardous Road Locations in Some European Countries, *Accident Analysis and Prevention* Vol. 40, pp.1830–1835.
- Elvik, R., 2008. Comparative Analysis of Techniques for Identifying Hazardous Road Locations, Annual meeting of Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Elvik, R., 2010. Assessment and Applicability of Road Safety Management Evaluation Tools: Current Practice and State-of-the-Art in Europe. The Institute of Transport Economics (TOI), TOI report: 1113/2010, Oslo, ISBN 978-82-480-1171-2. European Commission, 2001.
- Elvik, R., Vaa, T., 2004. *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier.
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M., 2008. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 174-181.
- Ettema, D., Borgers, A., Timmermans, H., 1995. Competing risk hazard model of activity choice, timing, sequencing, and duration. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1493, 101–109.
- European Commission, 2001. WHITE PAPER-European transport policy for 2010: time to decide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-0341-1.
- Evans, L., 2004. *Traffic safety*, Science Serving Society of Bloomfield Hills, Michigan, ISBN 978-0975487105
- Folkard, S., 1997. Black times: temporal determinants of transport safety. *Accident Analysis and Prevention*. Vol. 29. No. 4. DD. 417-430.
- Fridstrom, L., Liver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R., Thomsen, L., 1995. Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis and Prevention* 27: 1–20.
- Garbarino, S., Nobili, L., Beelke, M., De Carli, F., & Ferrillo, F., 2001. The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents. *Sleep*, 24(2), 203-206.
- Garib, A., Radwan, A.E., Al-Deek, H., 1997. Estimating magnitude and duration of incident delays. *Journal of Transportation Engineering* 123 (6), 459–466.
- Gaudry, M., Lassarre, S. (Eds.), 2000. *Structural Road Accident Models: The International DRAG Family*. Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Gilbert, C.C.S., 1992. A duration model of automobile ownership. *Transportation Research Part B: Methodological* 26 (2), 97–114.
- Gill, J., 2000. *Generalized Linear Models: A Unified Approach*. Number 07-134 in Sage University Papers Series on Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage University Papers, Thousand Oaks, CA.
- Giuliano, G., 1989. Incident characteristics, frequency, and duration on a high volume urban freeway. *Transportation Research* 23A (5), 387±396.
- Global status report on road safety 2013, Supporting a decade of action, 2013. World Health Organization, Geneva, ISBN 978 92 4 156456 4.
- Goh, B.H., 2005. The dynamic effects of the Asian financial crisis on construction demand and tender price levels in Singapore. *Building and Environment* 40, 267–276.
- Golias, J.C., 1992. Establishing relationships between accidents and flows at urban priority road junctions *Accident Analysis and Prevention*. 24(6):689-694.
- Golob, T., Recher, W., Leonard, J., 1987. An analysis of the severity and incident duration of truck-involved freeway accidents. *Accident Analysis and Prevention* 19(5), 375±395.

- Golob, T., Recker, W., 2004. A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. *Transportation Research Part A* 38 (1), 53–80.
- Golob, T.F., Recker, W.W., 2003. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather, and lighting conditions. *Journal of Transport* 129 (4), 342–353.
- Golob, T.F., Recker, W.W., Levine, D.W., 1990. Safety of freeway median high occupancy vehicle lanes: a comparison of aggregate and disaggregate analyses. *Accident Analysis and Prevention*. 22(1):19-34..
- Graham, D. J., & Glaister, S., 2003. Spatial variation in road pedestrian casualties: the role of urban scale, density and land-use mix. *Urban Studies*, 40(8), 1591-1607.
- Guoa, F., Wang, X., Abdel-Aty, M., 2010. Modeling signalized intersection safety with corridor-level spatial correlations. *Accident Analysis and Prevention* 42 (1), 84–92.
- Hakim, S., Hakkert, S., Hochermann, I., & Shefert, D. (1991). A critical review of macro models for road accidents. *Accident Analysis & Prevention*, 23(5), 379–400.
- Hamilton, J.D. (1994). *Time series analysis (Vol. 2)*. Princeton: Princeton university press.
- Harvey, A.C., 1989. *Forecasting, structural time series models and the Kalman filter*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Harwood, D.W., Torbic, D.J., Richard, K.R., Meyer, M.M., 2010. *SafetyAnalyst: Software Tools for Safety Management of Specific Highway Sites*, FHWA-HRT-10-063. Midwest Research Institute, Kansas City, MO.
- Hauer, E. et al., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record* 1784, 27–32.
- Hauer, E., 1986. On the estimation of the expected number of accidents. *Accident Analysis and Prevention* 18 (1), 1–12.
- Hauer, E., 1992. Empirical Bayes approach to the estimation of unsafety: the multivariate regression method. *Accident Analysis and Prevention* 24 (5), 457–477.
- Hauer, E., et al., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record* 1784, 27–32.
- Hauer, E., Kononov, J., Allery, B., & Griffith, M. S., 2002. Screening the road network for sites with promise. *Transportation Research Record*, 1784(1), 27–32.
- Hojati F., A., Ferreira, L., Washington, S., & Charles, P., 2013. Hazard based models for freeway traffic incident duration. *Accident Analysis & Prevention*, 52, 171-181.
- Houston, D.J., Richardson, L.E., 2002. Traffic safety and the switch to a primary seat belt law: the California experience. *Accident Analysis and Prevention* 34 (6), 743–751.
- Høyland, A., Rausand, M., 2009. *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. Wiley, New Jersey, ISBN 0470317744.
- Huang, H., Darwiche, A.L., Abdel-Aty, M.A., 2010. County-level crash risk analysis in Florida: Bayesian spatial modeling. *Transportation Research Record* 2148, 27–37.
- Hughes, R., Council, F., 1999. On establishing relationship(s) between freeway safety and peak period operations: performance measurement and methodological considerations. In: Presented at the 78th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington, DC.

- Hummer, E.J., Hultgren, C.A., Khattak, J.A., 2012. Identification of Promising Sites on Secondary Highways Using Inventory Data. Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting.
- Inić, M., 2004. Bezbednost drumskog saobraćaja. FTN izdavaštvo, Novi Sad, ISBN 86-80249-85-8.
- IRTAD, 2013. Road Safety Annual Report 2013, OECD
- Ivan, J.N., Wang, C.-Y., Bernardo, N.R., 2000. Explaining two-lane highway crash rates using land use and hourly exposure. *Accident Anal. Prev.* 32, 787–795.
- Ivanović, G., Stanivuković, D., et al., 2010. Pouzdanost tehničkih sistema. Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, ISBN 978-86-7892-247-3.
- Johansson, P., 1996. Speed limitation and motorway casualties: a time series count data regression approach *Accident Analysis and Prevention*. 28 (1), 73–87.
- Jones, B., Janssen, L.; Mannering, F., 1991. Analysis of the frequency and duration of freeway accidents in Seattle. *Accid. Anal. and Prev.* 23(4):239-255.
- Joshua, S., & Garber, N., 1990. Estimating truck accident rate and involvement using linear and Poisson regression models. *Transportation Planning and Technology*, 15,41–58.
- Jost, G., Allsop, R., Steriu, M., 2012. A Challenging Start towards the EU 2020 Road Safety Target. 6th Road Safety PIN Report. ETSC, Brussels.
- Jovanis, P.P., Chang, H.L., 1986. Modeling the relationship of accidents to miles traveled. *Transportation Research Record* 1068, 42–51.
- Jovanović D., Bašić, S., Mitrović, 2010. Injury Risk to Young Car Drivers in Traffic on Territory of Republic of Serbia, *Transport Problems, International scientific journal*, Volume 5, Issue 2, Silesian University of Technology Faculty of Transport, Katowice, Poland, ISSN 1896-0596
- Jovanović, D., Bačkalić, T., & Bašić, S. 2011. The application of reliability models in traffic accident frequency analysis. *Safety Science*, 49(8), 1246-1251.
- Key, K., Simmonds, I., 2005. The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis and Prevention* 37: 109–124.
- Kececioglu, D., 2002. Reliability engineering handbook. Volume 2, DLStech Publications. Inc. Pennsylvania, USA, ISBN 1-932078-01-0.
- Kharoufeh, J.P., Goulias, K.G., 2002. Nonparametric identification of daily activity durations using kernel density estimators. *Transportation Research Part B: Methodological* 36 (1), 59–82.
- Kingham, S., Sabel, C. E., Bartie, P., 2011. The impact of the ‘school run’ on road traffic accidents: A spatio-temporal analysis. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 705-711.
- Kitamura, R., Chen, C., Pendyala, R., 1997. Generation of synthetic daily activity travel patterns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1607 (-1), 154–162.
- Kovačić, Z.J., 1995. Analiza vremenskih serija. Ekonomski fakultet, Beograd.

- Kowtanapanich, W., Tanaboriboon Y., Chadbunchachai W., 2006. Applying Public Participation Approach to Black Spot Identification Process,-A Case Study in Thailand – IATSS RESEARCH Vol. 30, No.1.
- Kumar, D., Crocker, J. et al., 2006. Reliability and Six Sigma. Springer, New York, USA, ISBN-10: 0387302557.
- Land, K.C., McCall, P.L., Nagin, D.S., 1996. A comparison of Poisson, negative binomial and semi-parametric mixed Poisson regressive models with empirical applications to criminal careers data. *Sociological Methods and Research* 24, 387–442.
- LaScala, E. A., Gerber, D., & Gruenewald, P. J. 2000. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident; analysis and prevention*, 32(5), 651.
- Lassarre, S., 1986. The introduction of the variables “traffic volume”, “speed” and “belt wearing” into a predictive model of the severity of accidents. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):129-134;
- Lee, C., Hellinga, B., Saccomanno, F., 2003. Real-time crash prediction model for the application to crash prevention in freeway traffic. *Transportation Research Record* 1840, 67–78.
- Levine, N., Kim, K. E., & Nitz, L. H., 1995. Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: II. Zonal generators. *Accident Analysis & Prevention*, 27(5), 675
- Levine, N., Kim, K., et al., 1995. Daily fluctuations in Honolulu motor vehicle accidents. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 6, pp. 785-796.
- Li, L., Zhu, L. et al., 2007. A GIS-based Bayesian approach for analyzing spatial–temporal patterns of intra-city motor vehicle crashes. *Journal of Transport Geography* 15 (2007) 274–285.
- Liang, L.Y., Mo'soem, D.M., Hua, L.T., 2005. Traffic accident application using geographic information system. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6, 3574–3589.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Mapping of risks on the main road network of Serbia *Journal: Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering* ISSN: 1584-2665, Hunedoara, Romania, ISIRR 2009, Vol. 7, No. Fasciclu 4, ISSN 1584-2665.
- Lipovac, K., Jovanović, D., Bašić, S., 2009. Threats imposed on children in traffic - mapping of risks per municipalities in Serbia, *Safe children in safe communities, The first regional southeastern Europe conference on safe communities*, Novi Sad.
- Liu, C., Chen, C., 2004. Time Series Analysis and Forecast of Annual Crash Fatalities. *Research Note. NCSA DOT HS 809 717*, U.S., Department Of Transportation National Highway Traffic Safety Administration.
- Lord, D., 2000. The prediction of accidents on digital networks: characteristics and issues related to the application of accident prediction models. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto.

- Lord, D., 2006. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the Estimation of the fixed dispersion parameter. *Accident Analysis and Prevention* 38 (4), 751–766
- Lord, D., Mannering, F., 2010. The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A* 44 (5), 291–305
- Lord, D., Persaud, B.N., 2000. Accident prediction models with and without trend: application of the generalized estimating equations procedure. *Transportation Research Record* 1717, 102–108
- 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 and Prevention* 37 (1), 35–46.
- Lynam, D., Hummel, T., Barker, J., Lawson, S., 2004. European Road Assessment Programme, EuroRAP I, (2003) Technical Report, European Road Assessment, <http://www.eurorap.org>
- MacNab, Y.C., 2004. Bayesian spatial and ecological models for small-area crash and injury analysis. *Accident Analysis and Prevention* 36 (6), 1019–1028. Mahalel, D., 1986. A note on accident risk. *Transportation Research Record* 1068, 85–89.
- Mannering, F. L., Bhat, C. R., 2013. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*.
- Mannering, F., Kim, S.-G., Barfield, W., Ng, L., 1994. Statistical analysis of commuters' route, mode, and departure time flexibility. *Transportation Research Part C* 2 (1), 35–47.
- 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., 2013. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*.
- Mannering, F.L., Hamed, M.M., 1990. Occurrence, frequency, and duration of commuters' work-to-home departure delay. *Transportation Research Part B: Methodological* 24 (2), 99–109.
- Martin, J., 2002. Relationship between crash rate and hourly traffic flow on interurban motorways. *Accident Analysis and Prevention* 34 (2002) 619–629.
- Memon, A.Q, 2012. Modelling road accidents from national datasets: A case study of Great Britain. Ph thesis, University College London, Centre for Transport Studies.
- Metcalfe, J., Smith, G., 2005. How Safe are Our Roads? Rating Australia's National Highways for Risk. Australian Automobile Association, Canberra.
- Miaou, S. P., Song, J.J., & Mallick, B. K. 2003. Roadway traffic crash mapping: A space-time modeling approach. *Journal of Transportation and Statistics*, 6, 33-58.
- Miaou, S., 1994. The relationship between truck accidents and geometric design of road section: Poisson versus Negative Binomial regression. *Accident Analysis and Prevention* 26(4).

- Miaou, S.-P., Lord, D., 2003. Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: dispersion parameter, functional form, and Bayes versus Empirical Bayes. *Transportation Research Record* 1840, 31–40.
- Miaou, S.-P., Lum, H., 1993. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships. *Accident Analysis and Prevention* 25 (6), 689–709.
- Miaou, S.P., Song, J.J. 2005. Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: Decision parameter, treatability concept, statistical criterion, and spatial dependence. *Accident Analysis and Prevention* 37 (4), 699–720.
- MIL-HDBK-338B, 1998. *Military Handbook - Electronic Reliability Design Handbook*, Department of defense, Washington, D.C.
- Milton, J., Mannering, F., 1998. The relationship among highway geometrics, traffic related units and motor vehicle accident frequencies. *Transportation* 25 (4), 395–413.
- Montella, A., 2010. A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) 571–581.
- Nam, D., Mannering, F., 2000. An exploratory hazard-based analysis of highway incident duration. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (2), 85–102.
- Network Safety Management (NSM), 2005. BAST and Sétra (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes), France, http://www.sure.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/NSM_V_FD_final_cle55ec71-1.pdf
- Nicholson, A., 1998. Analysis of spatial distributions of accidents. *Safety science*, 31(1), 71-91.
- Niemeier, D.A., Morita, J.G., 1996. Duration of trip-making activities by men and women. *Transportation* 23 (4), 353–371.
- Nofal F.H, Saeed A.A.W., 1997. Seasonal variation and weather effects on road traffic accidents in Riyadh City. *Public Health* 111: 51–55.
- Noland, R.B., Quddus, M.A. and Ochieng, W.Y., 2006. The effect of the congestion charge on traffic casualties in London: an intervention analysis, Presented at the Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting, Washington, DC, USA, January.
- Norrman J, Eriksson M, Lindqvist S. 2000. Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity. *Climate Research* 15: 185–193
- O'Connor, P.D.T., Newton, D.W., Bromley, R.C., 2002. *Practical Reliability Engineering*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, ISBN 0-470-84462-0.
- OECD, 1999. *Safety Strategies for Rural Roads, Road Transport and Intermodal Linkages Research Programme*, OECD Publishing, ISBN: 9789264172913
- Oppe, S., 1991. Development of traffic and traffic safety: global trends and incidental fluctuations. *Accid. Anal. and Prev.* 23(5):413-422.
- Oppe, S., 1979. The use of multiplicative models for analysis of road safety data, *Accident Analysis and Prevention*, 11(2), pp. 101-115.
- O'Sullivan, D., & Unwin, D.J. (2003). *Geographic information analysis*. John Wiley & Sons.

- P. Tarko, A., Kanodia, M., 2004. Effective and Fair Identification of Hazardous Locations. Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting, Washington D.C.
- Park, Y.P., Sahaji, R., 2013. Safety network screening for municipalities with incomplete traffic volume data. *Accident Analysis and Prevention* 50 (2013) 1062–1072.
- Partyka, S. C., 1984. Simple models of fatality trends using employment and population data. *Accident Analysis and Prevention*. 16:211-222.
- Partyka, S.C., 1991. Simple models of fatality trends revisited seven years later. *Accident Analysis and Prevention*. 23(5):423-430; 1991.
- Paselk, T., Mannering, F., 1993. Use of duration models for predicting vehicular delay at a US/Canadian border crossing. *Transportation* 21, 249±270.
- Pei, J., Ding, J., & District, H., 2005. Improvement in the quality control method to distinguish the black spots of the road. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* (Vol. 5, pp. 2106-2113).
- Pei, X., Wong S.c. et al., 2011. A joint-probability approach to crash prediction models. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 1160–1166.
- Persaud, B.N., 1991. Estimating accident potential of Ontario road sections. *Transportation Research Record* 1327, 47–53.
- Persaud, B.N., Mucsi, K., 1995. Microscopic accident potential models for two-lane rural roads. *Transport. Res. Rec.* 1485, 134–139.
- Pfundt, K., 1969. Three difficulties in the comparison of accident rates. *Accident Analysis and Prevention*. 1:253-259.
- Pfundt, K., 1969. Three difficulties in the comparison of accident rates. *Accident Analysis and Prevention*. 1:253-259.
- Pham, H., 2003. *Handbook of reliability engineering*, ISBN 1852334533. London etc.: Springer.
- Plug, C., Xia, J., et al., 2011. Spatial and temporal visualisation techniques for crash analysis. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 1937–1946.
- Poch, M., Mannering, F., 1996. Negative binomial analysis of intersection accident frequencies. *Journal of Transportation Engineering* 122, 391–401.
- Pollock, D.S. G., Green, R.C., & Nguyen, T. (Eds.). (1999). *Handbook of time series analysis, signal processing, and dynamics*. Academic Press.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Charutha, R., & Geetha, N. (2011). Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 317-325.
- Qin, X., Ivan, J., Ravishanker, N. et al. 2006. Bayesian estimation of hourly exposure functions by crash type and time of day. *Accident Analysis and Prevention*. 38 (2006) 1071–1080.
- Qin, X., Ivan, J.N., Ravishankar, N., 2004. Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments. *Accident Analysis and Prevention* 36 (2), 183–191.

- Quddus, M., 2011. Time series count data models: An empirical application to traffic accidents. *Safety Science* 49 (2011) 1246–1251.
- Quddus, M.A., 2008. Time series count data models: an empirical application to traffic accidents. *Accid. Anal. Prev.* 40 (5), 1732–1741
- Radun, I., & Radun, J. E., 2006. Seasonal variation of falling asleep while driving: an examination of fatal road accidents. *Chronobiology international*, 23(5), 1053-1064.
- Ramović, R., 2005. Pouzdanost sistema elektronskih, elekomunikacionih i informacionih. Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku, Beograd.
- Ramstedt, M., 2008. Alcohol and fatal accidents in the United States—A time series analysis for 1950–2002. *Accident Analysis and Prevention* 40 (2008) 1273–1281.
- Rausand, M., Høyland, A., 2004. *System Reliability Theory – Models, Statistical Methods and Applications*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN 0-471-47133-X.
- Rausand, M., Høyland, A., 2004. *System Reliability Theory – Models, Statistical Methods and Applications*. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA, ISBN 0-471-47133-X.
- Road Safety Report 2013 Rural roads, 2013. DEKRA Automobil GmbH
- Sabel, C., Kingham, S., Nicholson, A., & Bartie, P., 2005. Road Traffic Accident Simulation Modelling-A Kernel Estimation Approach. In *The 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, Dunedin, New Zealand* (pp. 67-75).
- Savolainen, P., Mannering, F., Lord, D., Quddus, M., 2011. The statistical analysis of crash-injury severities: a review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention* 43(5),1666–1676.
- Schultz, G.G., Johnson, E.S., Black, C.W., Francom, D., & Saito, M., 2012. *Traffic & Safety Statewide Model and GIS Modeling* (No. UT-12.06).
- Scott, P. P., 1986. Modelling time-series of British road accident data. *Accident Analysis and Prevention*. 18(2):109-117; 1986.
- Shankar, V., Jovanis, P., Aguerde, J., Gross, F., 2008. Analysis of naturalistic driving data: prospective view on methodological paradigms. *Transportation Research Record* 2061, 1–9.
- Shankar, V., Milton, J., Mannering, F.L., 1997. Modeling accident frequency as zero-altered probability processes: an empirical inquiry. *Accident Analysis and Prevention* 29 (6), 829–837.
- Shankar, V.N., Albin, R.B., Milton, J.C., Mannering, F.L., 1998. Evaluating median cross-over likelihoods with clustered accident counts: an empirical inquiry using random effects negative binomial model. *Transportation Research Record* 1635, 44–48.
- 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.
- Siddiqui, C., Abdel-Aty, M., & Choi, K., 2012. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 382-391.

- Smeed, R.J. 1949. Some statistical aspects of road safety research. *Journal of the Royal Statistical Society A*, 112(1), 1–24.
- Songchitruksa, P., Balke, K.N., 2006. Assessing weather, environment, and loop data for real-time freeway incident prediction. *Transport Research Record*, 105–113 (1959).
- Sorensen, M., Elvik, R., 2007. *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best Practice Guidelines and Implementation Steps*, The Institute of Transport Economics (TOI), ISBN: 978-82-480-0810-1.
- Sørensen, M., Elvik, R., 2008. *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks-Best Practice Guidelines and Implementation Steps*, 6th Framework Programme RIPCORDER ISEREST- Deliverable.
- Stathopoulos, A., Karlaftis, M.G., 2002. Modeling duration of urban traffic congestion. *Journal of Transportation Engineering* 128 (6), 587–590.
- Stipdonk, H.L. (Ed.), 2008. Time series applications on road safety developments in Europe. Deliverable D7.10 of the EU FP6 project SafetyNet.
- Sukhaia, A., Jonesa, A., Lovea, B., S., et al., 2011. Temporal variations in road traffic fatalities in South Africa. *Accident Analysis and Prevention* 43 (2011) 421–428.
- Tarko, A.P., Kanodia, M., 2004. Effective and Fair Identification of Hazardous Locations. Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting, Washington D.C.
- TR 36007, 2011-2014., Razvoj i primena modela upravljanja rizicima na koridorima VII i X sa aspekta unapređenja saobraćajnog sistema Srbije, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- TRB, 1994. "Highway capacity manual: special report 209." Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- United Nations Road Safety Collaboration, 2011. *Global plan for the Decade of Action for Road Safety 2011–2020*. Geneva, WHO.
- Ushakov, I.A., Harrison, R.A., 1994. *Handbook of Reliability Engineering*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, ISBN 0-471-57173-3.
- Van den Bossche, F., Wets, G., Brijs, T., 2004. A Regression Model with ARIMA Errors to Investigate the Frequency and Severity of Road Traffic Accidents, R-00-2002-01, Steunpunt Verkeersveiligheid.
- Vukadinović, S., 1986. *Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike*. Privredni pregled, Beograd.
- Vukadinović, S., Teodorović, D., 1979. *Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema*. Privredni pregled, Beograd.
- Wang, J.J., 1996. Timing utility of daily activities and its impact on travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 30 (3), 189–206.
- Wang, X., Abdel-Aty, M., 2006. Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1137–1150.
- Washington, S., Karlaftis, M., Mannering, F., 2003. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL.

- White Paper - European Transport Policy for 2010: Time to Decide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-0341-1.
- Whitfield, R.A., Fife, D., 1987. Changing patterns in motor vehicle crash mortality: 1940-1980. *Accident Analysis and Prevention*. 19(4):261-269.
- Yamamoto, T., Kitamura, R., 2000. Analysis of household vehicle holding durations considering intended holding durations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 34 (5), 339–351.
- Yannis, G., Antoniou, C., Papadimitriou, E., 2011. Autoregressive nonlinear timeseries modeling of traffic fatalities in Europe. *European Transport Research Review* 3, 113–127.
- Zlatoper, T.J., 1984. Regression analysis of time-series data on motor vehicle deaths in the United States. *J. Transp. Econ. Policy*. 18:263-274.
- Zlatoper, T.J., 1989. Models explaining motor vehicle death rates in the United States. *Accident Analysis and Prevention*. 21(2):125-154.