

Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet

Sandra I. Kasalica

UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI
SAOBRAĆAJA NA PUTNO-
PRUŽNIM PRELAZIMA

doktorska disertacija

Beograd, 2013.

Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet

Sandra I. Kasalica

UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI
SAOBRAĆAJA NA PUTNO-
PRUŽNIM PRELAZIMA

doktorska disertacija

Beograd, 2013.

University of Belgrade
Faculty of mechanical engineering

Sandra I. Kasalica

SAFETY IMPROVEMENT OF TRAFFIC AT RAILWAY CROSSINGS

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013.

Komisija za pregled i odbranu:

Mentor:

Prof. dr Vojkan Lučanin,
Mašinski fakultet u Beogradu

Članovi komisije:

Prof. dr Gradimir Ivanović,
Mašinski fakultet u Beogradu

Prof. dr Dobrila Škatarić,
Mašinski fakultet u Beogradu

Doc. dr Vladimir Popović
Mašinski fakultet u Beogradu

Dr. Jovan Tanasković, naučni saradnik,
Mašinski fakultet u Beogradu

Datum odbrane:

Unapređenje bezbednosti saobraćaja na putno-pružnim prelazima

Apstrakt

U ovom radu su istraženi statistički modeli za procenu frekvencije nesreća, težine posledica nesreća i empirijskog rizika koji najviše odgovaraju lokalnim karakteristikama putnih prelaza Srbiji u cilju identifikacije mesta visokog rizika na mreži. Uzorak putnih prelaza lociranih na železničkoj mreži u Srbiji je korišćen za istraživanje sa istorijskim podacima o nesrećama od pet godina. Korišćeni su modeli regresione analize (Puasonova regresija, Puasonov model sa viškom nula – ZIP, negativni binomni model – NB, NB model sa viškom nula – ZINB). Za modeliranje frekvencije nesreća najbolje se pokazao ZIP model. Kod modeliranja i procene težine posledica nesreća korišćen je multinomni logit model. Za modeliranje empirijskog rizika podacima najviše odgovara ZINB model. Identifikovane su promenljive koje su značajno povezane sa brojem i posledicama nesreća. Konačno, kalibrisani modeli zajedno sa dva kriterijuma za rangiranje koji su primenjeni u ovom radu su poslužili za identifikaciju putnih prelaza visokog rizika na mreži Železnica Srbije. Prvi kriterijum je srednji totalni rizik na putnom prelazu, a drugi kriterijum je procena rizika koja je zasnovana na srednjem empirijskom riziku.

Prihvaćeni modeli frekvencije i posledica nesreća su poslužili za procenu redukcije nesreća na putnim prelazima primenom odgovarajućih tehničkih mera za podizanje nivoa bezbednosti. U tu svrhu urađena je sveobuhvatna analiza tehnologija i mera iz drugih regiona, a koje se danas primenjuju ili se ispituje njihova efikasnost. Koristeći njihova iskustva data je ocena efikasnosti koju bi te mere imale na putnim prelazima u Srbiji.

U ovom radu vršeno je i neposredno istraživanje ponašanja vozača na putnom prelazu osiguranom drumskom signalizacijom, kao i nakon osiguranja istog putnog prelaza aktivnim sistemom. Ovaj prelazak sa jednog sistema osiguranja na drugi sistem bio je pogodan da bi se sprovedo istraživanje u cilju sagledavanja ponašanja vozača u dva različita sistema, kao i bezbednosnih efekata koji su proizašli iz toga.

Ključne reči: bezbednost, putni prelazi, frekvencije nesreća, posledice nesreća

Naučna oblast: Mašinstvo

Uža naučna oblast: Železničko mašinstvo – bezbednost u saobraćaju

Safety Improvement of Traffic at Railway Crossings

Abstract

In this paper there were developed statistical models for estimation of accident frequency, accident severity and empirical risk, that correspond to local characteristics of crossings in Serbia. The goal was to identify high risk locations. The data used were from five year period. Several regression models were tried (Poisson regression, Zero-inflated Poisson – ZIP, negative binomial model – NB, Zero-inflated NB model – ZINB). The most suitable model for modeling accident frequency was ZIP model. For modeling accident severity multinomial logit model was used, whereas the best model for empirical risk was ZINB model. The variables significantly linked to accident frequency and severity were identified. Finally, the calibrated models together with two ranking criteria were used in order to identify high risk crossings in Serbian railway network. The first criterion was mean total risk at a crossing, and the second one was based on mean empirical risk.

The accepted models for accident frequency and severity were used for estimating the reduction of accidents at railway crossings applying the corresponding technical procedures for safety improvement. In order to accomplish this, there has been performed a complete analysis of technologies and procedures from various regions, which are used nowadays or are in phase of examining their efficiency. Their results and experience were used to estimate the efficiency that those procedures would have in Serbia.

In this paper the drivers' behaviour on railway crossing was also studied, both with road signs and with active warning devices. This upgrade from one system to another was useful for examining drivers' behaviour in two different systems, as well as the safety effects that consequently appeared.

Key words: safety, railway crossings, accident frequency, accident severity

Naučna oblast: Mechanical engineering

Uža naučna oblast: Railway engineering – Traffic safety

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
1.1	Ciljevi rada	3
1.2	Metodologija.....	4
1.3	Organizacija rada.....	5
2	PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U VEZI SA METODOLOGIJAMA PROCENE RIZIKA NA PUTNIM PRELAZIMA	7
2.1	Uvodna razmatranja.....	7
2.2	Modeli frekvencija i statističke metode.....	8
2.3	Modeli posledica i statističke metode.....	9
2.4	Modeli za analizu podataka o nesrećama	10
2.4.1	Puasonov regresioni model.....	10
2.4.2	Negativni binomni (NB) regresioni model.....	13
2.4.3	Puasonov regresioni model sa viškom nula (ZIP).....	14
2.4.4	Negativni binomni model sa viškom nula (ZINB).....	16
2.4.5	Multinomni logistički model	17
3	RAZVOJ KOMPONENTI MODELA ZA PREDVIĐANJE NESREĆA.....	18
3.1	Opis izvora podataka	18
3.1.1	Izvor podataka o putnim prelazima	18
3.1.2	Podaci o nesrećama	20
3.2	Modifikovanje podataka.....	21
3.3	Analiza sa jednom promenljivom.....	26
4	MODELI PREDVIĐANJA NESREĆA NA PUTNIM PRELAZIMA.....	30
4.1	Model frekvencije nesreća.....	30
4.2	Model posledica nesreća na putnim prelazima.....	35
4.2.1	Primena modela posledica nesreća	41
4.2.2	Analiza osetljivosti	41
4.3	Statistički metod razvoja modela empirijskog rizika	48
4.4	Metodologija za ocenu putnih prelaza visokog rizika.....	51
5	PROCENA EFEKTIVNOSTI IZABRANIH TEHNIČKIH MERA KROZ OCENU FAKTORA REDUKCIJE NESREĆA	60
5.1	Pregled postojećih metoda za određivanje faktora redukcije nesreća na putnim prelazima.....	62
5.1.1	Unakrsni statistički modeli	62
5.1.2	„Pre i posle” modeli.....	62
5.1.3	Bajesov metod sinteze podataka.....	62
5.2	Pregled postojećih tehnologija i mera za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima	64

5.2.1 Zatvaranje i denivelacija putnih prelaza.....	64
5.2.2 Poboljšanje geometrije	65
5.2.3 Unapređenje uređaja za kontrolu saobraćaja.....	66
5.2.4 Pasivne mere za kontrolu saobraćaja.....	66
5.2.5 Aktivni uređaji za kontrolu saobraćaja.....	68
5.2.6 Separatori.....	71
5.2.7 Detekcija prepreka na putnim prelazima	72
5.2.8 Zvučni upozoravajući sistemi.....	74
5.2.9 Video-nadzor	74
5.3 Procena efektivnosti izabranih tehničkih mera.....	78
5.4 Efekti bazirani na modelu predviđene frekvencije nesreća.....	79
5.4.1 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike	79
5.4.2 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike ...	83
5.4.3 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa polubranika na branike.....	85
5.5 Efekti bazirani na multinomnom logističkom modelu	86
5.5.1 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike	86
5.5.2 Efekti promene osiguranja sa drumske signalizacije na branike.....	88
5.5.3 Efekti promene osiguranja sa polubranika na branike.....	89
5.6 Efekti bazirani na modelu empirijskog rizika.....	90
5.6.1 Promena osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike	90
5.6.2 Promena osiguranja sa drumske signalizacije na branike	91
5.6.3 Promena osiguranja sa polubranika na branike	91
5.7 Efekti četiri polubranika	91
6 PONAŠANJE VOZAČA NA PUTNOM PRELAZU SA PASIVNOM SIGNALIZACIJOM.....	93
6.1 Ponašanje vozača na putnim prelazima	93
6.2 Ponašanje vozača na konkretnom izabranom pasivnom putnom prelazu	97
6.2.1 Metodologija.....	98
6.2.2 Rezultati i diskusija	101
7 POREĐENJE PONAŠANJA VOZAČA NA PUTNOM PRELAZU SA PASIVNOM I AKTIVNOM SIGNALIZACIJOM.....	112
7.1 Ponašanje vozača na putnim prelazima sa aktivnom signalizacijom	112
7.2 Konkretno istraživanje ponašanja vozača na putnom prelazu sa aktivnom signalizacijom	117
7.2.1 Procedura konkretnog posmatranja i prikupljanja podataka	118
7.2.2 Rezultati istraživanja ponašanja vozača	119
8 ZAKLJUČAK.....	128
LITERATURA.....	131

1 UVOD

U Srbiji železnički saobraćaj je zastupljen sa mrežom pruga ukupne dužine od oko 4 000 km, od čega je 276 km dvokolosečnih i 934 km elektrificiranih. Na toj mreži ima ukupno 2 138 putnih prelaza gde se pruga i drumska saobraćajnica ukrštaju u nivou. Svi ovi putni prelazi osigurani su različitim sistemima za obezbeđenje saobraćaja. Putni prelazi sa najnižim nivoom osiguranja su putni prelazi osigurani samo sa drumskom signalizacijom (Andrejin krst i znak „stop”) i njihov broj je 1 591, tj. učestvuju sa 74.4%. Putni prelazi osigurani pored drumske signalizacije i sa svetlosnom signalizacijom su putni prelazi koji se mogu svrstati u kategoriju prelaza sa višim nivoom osiguranja. Njihov broj na mreži iznosi 26, tj. 1.2%. Putni prelazi osigurani pored drumske signalizacije i mehaničkim sistemima (polubranicima i branicima) su putni prelazi koji upozoravaju i onemogućuju vozače da stupe u zonu ukrštanja pruge i puta. Možemo ih smatrati sistemima sa većim nivoom bezbednosti, a njihov broj na našoj mreži je u 2012. godini iznosio 234 odnosno 24%.

Na pomenutim putnim prelazima dešava se nemali broj vanrednih događaja sa manjim ili većim posledicama u broju stradalih i povređenih lica i u manjoj ili većoj materijalnoj šteti.

Prema Saobraćajnom pravilniku [1], vanredni događaj je „udes ili nezgoda u kome je jedno ili više lica poginulo ili povređeno ili je izazvana materijalna šteta, odnosno u kome je došlo do prekida, ugrožavanja ili otežavanja železničkog saobraćaja”¹. Prema težini posledica, udes je „vanredni događaj u kome je jedno ili više lica poginulo ili teže povređeno, u kome je nastala značajna materijalna šteta ili u kome je nastao duži prekid saobraćaja”, dok je nezgoda „vanredni događaj u kome je jedno ili više lica lakše povređeno, u kome je nastala manja materijalna šteta ili u kome je nastao kraći prekid saobraćaja”. Dalja podela udesa i nezgoda je izvršena na tri kategorije:

I: pri obavljanju železničkog saobraćaja,

I: na putnim prelazima,

III: van putnih prelaza na železničkom području.

¹ Odredba čl. 80 tač. 1 Saobraćajnog pravilnika (Pravilnik 2) – „Službeni glasnik ZJŽ” br. 4/93

Prva kategorija, vanredni događaj pri vršenju železničkog saobraćaja, definisana je kao „sudar vozova; nalet voza; iskliznuće voza; požar ili eksplozija; iskliznuće i nalet vozila pri manevrisanju; sudar, nalet i iskliznuće pružnih vozila”. Vanredni događaj na putnim prelazima se po pravilu definiše kao „udes ili nezgoda između voza i drumskog vozila ili pešaka kao i krupne životinje na putnom prelazu”. Treća kategorija je definisana kao „vanredni događaj na otvorenoj pruzi, na službenim mestima, usled ispadanja iz voza i usled uskakanja i iskakanja iz voza”.

U tabeli 1.1 je prikazan trend u nesrećama i posledicama na putnim prelazima u Srbiji od 1991 do 2007. godine.

Tabela 1.1 Statistika broja i posledica nesreća na putnim prelazima Železnica Srbije

God.	Frekvencija vanrednih događaja	Putni prelazi sa signalno-sigurnosnim uređajima			Putni prelazi obezbeđeni drumskom signalizacijom		
		Broj vanrednih događaja	Broj usmrćenih	Broj teže povređenih	Broj vanrednih događaja	Broj usmrćenih	Broj teže povređenih
1991.	129	17	2	8	112	27	59
1992.	109	12	6	6	97	10	34
1993.	65	12	12	9	53	15	57
1994.	91	16	2	8	77	14	40
1995.	75	13	6	7	62	18	34
1996.	124	27	4	7	97	19	36
1997.	141	31	9	5	110	20	45
1998.	94	14	11	12	80	22	39
1999.	77	2	4	8	75	15	42
2000.	74	6	1	4	68	7	22
2001.	110	10	-	6	100	15	29
2002.	121	18	6	13	93	24	35
2003.	79	9	7	6	70	5	41
2004.	83	9	3	5	74	11	12
2005.	90	16	2	8	74	15	48
2006.	83	19	3	3	64	7	27
2007.	81	17	3	6	64	8	25

Izvor: Sektor za saobraćajne poslove AD Železnice Srbije, odeljenje za poslove vanrednih događaja

Podaci o nesrećama iznetim u ovoj tabeli ukazuju na veliki broj vanrednih događaja koje bi trebalo svakako detaljnije analizirati i preduzeti odgovarajuće mere u cilju smanjenja kako broja tako i posledica.

Uopšte uzevši, problematika putnih prelaza je kompleksna i može se razmatrati sa više aspekata kao što su bezbednosni, tehničko-tehnološki, organizacioni, ekonomski, ekološki, sociološki, pravni i drugi.

U ovom radu razmatrana su dva aspekta problematike putnih prelaza, bezbednosni i tehnički aspekti.

Sa bezbednosnog aspekta razvijeni su modeli za predviđanje nesreća na putnim prelazima koji najviše odgovaraju lokalnim karakteristikama putnih prelaza želeničke mreže Srbije u cilju identifikacije mesta visokog rizika na mreži. Razvijena su tri modela, i to model predviđanja frekvencije nesreća, model predviđanja težine posledica nesreća i model empirijskog rizika. Konačno, modeli zajedno sa dva kriterijuma za rangiranje koji su primenjeni u ovom radu su poslužili za identifikaciju putnih prelaza visokog rizika na našoj mreži.

Tehnički aspekt je razmatran kroz efekte redukcije vanrednih događaja na putnim prelazima primenom odgovarajućih tehničkih mera.

1.1 Ciljevi rada

Ovaj rad ima nekoliko osnovnih ciljeva:

- (1) Prikupljanje relevantnih podataka o vanrednim događajima na mreži pruga ŽS, kao i pravljenje baza podataka sa svim relevantnim parametrima.
- (2) Pregled postojećih metodologija za predviđanje rizika nesreća na osnovu istorijskih podataka o nesrećama, pregled postojećih modela za procenu frekvencije i posledica nesreća na putnim prelazima.
- (3) Razvoj modela za predviđanje rizika vanrednih događaja na putnim prelazima. Razvijena su tri modela, i to model predviđanja frekvencije nesreća, model predviđanja težine posledica nesreća i model predviđanja empirijskog rizika. U faktore rizika spadaju karakteristike putnih prelaza koje utiču na očekivani broj nesreća i njihove posledice. U ovom radu je razmatrano šest tipova faktora rizika: lokacija putnog prelaza, sistem osiguranja, karakteristike putnog prelaza (širina prelaza, trougao preglednosti, ugao ukrštanja pruge i puta), karakteristike puta (kategorija puta i vrsta kolovoza), karakteristike pruge (kategorija pruge, broj koloseka, maksimalna brzina voza) i obim drumskog i železničkog saobraćaja.

- (4) Razvoj metodologije za identifikaciju putnih prelaza visokog rizika na bazi prethodno definisanih modela očekivane frekvencije nesreća, posledica nesreća i empirijskog rizika.
- (5) Demonstriranje metodologije kroz njegovu primenu na putne prelaze u Srbiji i dobijanje liste putnih prelaza visokog rizika.
- (6) Procena u redukciji nesreća primenom tehničkih mera na putnim prelazima u Srbiji, a korišćenjem dobijenih modela.
- (7) Empirijsko istraživanje ponašanja vozača na konkretnom putnom prelazu „označenom” kao prelazu visokog rizika, pre i posle podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije (pasivan sistem) na polubranike (aktivan sistem). Istraživanje je sprovedeno u svrhu ocene faktora redukcije nesreća.

1.2 Metodologija

Modeli koji su razvijeni u ovom radu predviđaju frekvenciju nesreća i posledice nesreća na putnim prelazima na bazi različitih karakteristika putnih prelaza. Ovi modeli praktično istražuju razlike u bezbednosti između različitih putnih prelaza, na kojima se u periodu analize nisu desile neke značajnije promene. Razvijeni modeli se dalje koriste za procenu efekata primene različitih tipova tehničkih mera za podizanje nivoa bezbednosti.

Pored navedene metodologije koja je korišćena u ovom radu, u upotrebi su i druge metodologije koje se zasnivaju na analizi redukcije u nesrećama pre i posle uvođenja neke od tehničkih mera za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima. Ovakvi modeli zahtevaju velike količine podataka kao što je na primer kontinuirana promena u obimu saobraćaja za duži vremenski period za svaki putni prelaz. To otežava korišćenje ovakvog modela, pogotovo kada je reč o bazi podataka koja nama stoji na raspolaganju, a koja ne poseduje ovakvu vrstu podataka. Zatim, u upotrebi je i Bajesov model, koji kombinuje ekspertske, subjektivno mišljenje o rezultatima iz prethodnih istraživanja dobijenih iz raznih studija da bi se dobila procena u posmatranom uzorku. Ovakvi modeli su teško primenjivi za naše uslove. Prisutan je nedostatak empirijskih studija, kako kod nas tako i u zemljama u okruženju sa sličnim karakteristikama populacije koje bismo mogli primeniti na naše uslove.

U upotrebi je i metodologija gde se koristi inženjersko procenjivanje dopunjeno sa jednostavnom statističkom analizom istorijskih podataka o nesrećama. Na železnicama Srbije u upotrebi je, za sada, ovaj metod.

Nadalje je u ovom radu razvijena metodologija za procenu putnih prelaza visokog rizika, koja upravo koristi predložene modele procene frekvencije i posledica nesreća, a koji su razvijeni u ovom radu. Danas je u upotrebi više metodologija za ocenu putnih prelaza visokog rizika i svi oni imaju neke svoje specifičnosti, tj. razlikuju se prema modelima kao i prema izboru kriterijuma za rangiranje putnih prelaza.

U cilju procene redukcije nesreća od koristi je i bolje razumevanje problema u vezi sa percepcijom i ponašanjem vozača na putnim prelazima. Zatim je razvijena metodologiju istraživanja ponašanja vozača na putnom prelazu osiguranom samo drumskom signalizacijom (pasivna zaštita), kao i metodologija obrade rezultata dobijenih direktnim istraživanjem sa njihovom analizom.

Nadalje je izvršena analiza ponašanje vozača na istom putnom prelazu nakon podizanja nivoa osiguranja na svetlosnu signalizaciju sa polubranicama (aktivna zaštita). Opisana je metodologija istraživanja ponašanja vozača u novim uslovima, kao i metodologija obrade podataka. Data je uporedna analiza dobijenih rezultata za dva sistema osiguranja.

1.3 Organizacija rada

U ovom radu su razvijeni modeli za procenu rizika na putnim prelazima, kao i efekti tehničkih mera za redukciju nesreća. Ovaj rad je organizovan u osam delova. Sadržaj svakog dela je sledeći:

- 1) U drugom delu ovog rada dat je pregled skorije literature koja se bavila ovom problematikom, kao i pregled postojećih metodologija za procenu rizika na putnim prelazima, odnosno metodologija koje se koriste za procenu frekvencije i težine posledica nesreća.
- 2) U trećem delu opisani su podaci koji su korišćeni u ovom radu za razvoj predloženih modela i razvoj komponenti modela, kao i njihova modifikacija.

- 3) U četvrtom delu ovog rada razvijeni su modeli procene rizika i provereni korišćenjem podataka o putnim prelazima u Srbiji. U ovom delu je razvijena i metodologija za ocenu putnih prelllaaaza visokog rizika na mreži. Metodologija je primenjena za ocenu putnih prelaza visokog rizika u Srbiji.
- 4) U petom delu istraženi su efekti primene različitih tehničkih mera iz raznih studija. Zatim je objašnjena primena modela razvijenih u ovom radu na određenom putnom prelazu i ocena efekata izabranih mera za podizanje nivoa bezbednosti.
- 5) U šestom delu sprovedeno je empirijsko istraživanje ponašanja vozača drumskih vozila na pasivnom putnom prelazu.
- 6) U sedmom delu je sprovedeno empirijsko istraživanje ponašanja vozača drumskih vozila na istom putnom prelazu nakon njegovog prevođenja u aktivni sistem.
- 7) U osmom delu su dati zaključci sa predlozima za buduća istraživanja na ovom polju.

2 PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA U VEZI SA METODOLOGIJAMA PROCENE RIZIKA NA PUTNIM PRELAZIMA

2.1 Uvodna razmatranja

U istraživanju [2] je identifikovano 22 modela rizika za putne prelaze u 12 zemalja, na osnovu istorijskih podataka o nesrećama. Rizik se obično opisuje u dve dimenzije, frekvencije nesreća i posledice nesreća. U kontekstu putnih prelaza u nivou to znači da je rizik proizvod frekvencije nesreća, kao i posledica u smislu smrtnih slučajeva i povreda. Dakle, putni prelazi sa većom učestalošću nesreća, a koji kao posledicu imaju lakše posledice mogu da imaju isti rizik kao i putni prelazi sa manjom frekvencijom nesreća, ali sa ozbiljnijim posledicama [2].

U poslednjih nekoliko decenija, razvijen je veći broj modela za predviđanje frekvencije nesreća na putnim prelazima. Predviđena frekvencija nesreća je broj nesreća koji se očekuje da će se desiti na posmatranom putnom prelazu u posmatranom vremenskom periodu. Ovi modeli uglavnom daju jednu od dve osnovne perspektive, relativni i/ili apsolutni rizik.

Relativni modeli kao rezultat daju „indeks rizika”, koji predstavlja relativni rizik (frekvenciju i/ili posledice) jednog putnog prelaza u poređenju sa drugim. Mnogi relativni modeli predviđanja nesreća su razvijeni kao što su The Peabody Dimmick Formula, New Hampshire index [3], Austin i Carson model [4].

Apsolutni modeli kao rezultat daju „očekivani broj nesreća” na datom putnom prelazu u posmatranom vremenu. Tipične modele apsolutnog predviđanja nesreća su razvili Coleman-Stewart (1976) i US-DOT Accident Prediction Formula [3] i [5]. Istorijski, prvi modeli koji su analizirali podatke o frekvenciji nesreća su koristili konvencionalne višestruke linearne regresije koristeći regresione tehnike najmanjih kvadrata.

Često su statistički regresioni modeli formulisani da izraze očekivani broj nesreća jednog entiteta u funkciji od njegovih osobina. Regresioni modeli koji počivaju na iskustvu na nesrećama u saobraćaju i karakteristikama lokaliteta se u literaturi nazivaju „multivariate modeli” [6]. Upotreba ovih modela postaje široko rasprostranjena u

modernim analizama bezbednosti u saobraćaju na putevima, a sve češće se nalazi u upotrebi i kod putnih prelaza. Literatura o „multivariate modelima” nesreća se može podeliti u dve kategorije: modeli frekvencije nesreća i modeli posledica nesreća [6].

Modeli prognoze nesreća su namenjeni za procenu bezbednosti, tako što će se utvrditi koje su promenljive najbolji prediktori. Ako su takvi modeli uspešni, koeficijenti različitih faktora se mogu koristiti za procenu promena u tom faktoru koja bi za posledicu imala promenu u bezbednosti. Modeli posledica nesreća, sa druge strane, odnose se na faktore koji objašnjavaju posledice nesreća.

2.2 Modeli frekvencija i statističke metode

U radu [4] su razvijeni modeli predviđanja nesreća korišćenjem negativne binomne regresije. U modelu je korišćena „Instrumental Variables” tehnika u cilju korekcije uticaja promenljivih jednih na druge. Međutim, efekti nekoliko faktora nisu logični. Na primer, uočeno je da prisustvo signala „stop” i svetlosne signalizacije utiče na povećanje predviđenog broja nesreća, tako da je kontradiktorno očekivati efekte ukoliko se ove mere primene za podizanje nivoa osiguranja.

U svrhu identifikacije faktora koji utiču na nesreće na putevima i putnim prelazima razvijen je model frekvencije nesreća koji uključuju nule (zero-inflated modele) [7]. Ovaj metod je izabran u odnosu na standardne, Puasonov ili negativni binomni model, iz tog razloga što postoji mnogo situacija u kojima je broj nesreća nula. Nekoliko nezavisnih promenljivih je korišćeno uključujući one koji su vezani za lokaciju, karakteristike puta i putnog prelaza.

U radu [5] je korišćen model na bazi rizika da bi se identifikovali putni prelazi koji predstavljaju putne prelaze visokog rizika. Ovaj model se sastoji od dve komponente predviđanja: predviđanje frekvencije nesreća i predviđanje posledica nesreća na putnim prelazima. Puasonov i negativni binomni model predviđanja frekvencije nesreća su razvijeni za putne prelaze sa tri tipa sistema osiguranja. Negativni binomni model je razvijen za posledice nesreća. Prostorna distribucija putnih prelaza visokog rizika u Kanadi je predstavljena uključujući tip sistema osiguranja, podizanje nivoa osiguranja, geografsku lokaciju i istorijske podatke o nesrećama.

Model predviđanja nesreća u tri nivoa korišćenjem standardnih promenljivih karakteristika putnih prelaza je razvijen u radu [8]. Zasebni modeli predviđanja nesreća, korišćenjem negativne binomne tehnike, zatim su razvijeni za svaku grupu putnih prelaza u Kanadi.

U radovima [9] i [10] razvijeni su različiti modeli predviđanja nesreća korišćenjem linearne regresione tehnike (Puasonova regresija), kao i Recursive Partitioning (RPART) neparametarske metode. To su višestapni modeli kod kojih se, pre svega, putni prelazi klasifikuju u grupe prema sličnim fizičkim i saobraćajnim karakteristikama. Zasebni modeli predviđanja nesreća, korišćenjem linearne regresione tehnike, se razvijaju za svaku grupu putnih prelaza.

Tri modela: tradicionalni negativni binomni (NB), heterogeni negativni binomni model (HNB) i negativni binomni model koji uključuje nule (ZINB) su razmatrani u radu [11]. Za svaki model, dve alternativne procene očekivanog broja nesreća su rađene korišćenjem uslovne srednje vrednosti raspodele. Uzorak putnih prelaza u Kanadi sa podacima o nesrećama od pet godina je korišćen za vrednovanje i razvoj tri alternativna modela frekvencije nesreća i dva kriterijuma za rangiranje putnih prelaza visokog rizika.

2.3 Modeli posledica i statističke metode

U poređenju sa podacima frekvencije nesreća, koji su prebrojive prirode, podaci posledice nesreća, koji su obično klasifikovani u različite modalitete uticaja nesreće, kategoričke su promenljive.

Američki US-DOT model posledica nesreća na putnim prelazima u nivou iz 1987. razmatra verovatnoću nesreća sa smrtnim slučajem [3]. Fokus ovog modela posledica je verovatnoća nesreće sa posledicama, a ne i broj povređenih ili usmrćenih koji je povezan sa svakom nesrećom [12]. Kasnije je za analizu posledica nesreća nekoliko statističkih modela predloženo u literaturi, kao što je osnovna logistička regresija, multinomni logistički model, uređeni logistički model i kombinovani logistički modeli [13].

Za analizu podataka određenih po kategorijama, od statističkih metoda se obično koriste logit modeli. Logit modeli utvrđuju koji faktori značajno utiču na ishod događaja i mogu se koristiti za predviđanje verovatnoće svakog mogućeg ishoda događaja datog obeležja nezavisnih promenljivih uključenih u model. Uopšteni logit model sa

selekcijom promenljivih korak po korak je korišćen za identifikaciju promenljivih koji imaju najveći uticaj na posledice nesreća na putnim prelazima [14].

Bajesov model višestrukog izbora za procenu nivoa posledica za svaku osobu koja je uključena u nesreću na putnim prelazima je razvijen u [13]. Za modeliranje frekvencije nesreća je korišćen Puasonov regresioni model.

U radu [14] je razvijen interesantan generalizovani logit model u svrhu identifikacije ključnih parametara koji su odgovorni za različite nivoe posledica nesreća na putnim prelazima u Tajvanu. Iznenadujuće je to što je model pokazao da tehničke mera koje se koriste u Tajvanu za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima, kao što su separatori i detektori smetnji (biće objašnjeno u daljem radu), ne utiču na prevenciju dešavanja nesreća sa težim posledicama.

U svrhu opredeljenja za najpogodniju formu modela poslužio je pregled prethodnih modela predviđanja frekvencije nesreća, kao i posledica nesreća.

2.4 Modeli za analizu podataka o nesrećama

U ovom delu su opisani modeli koji su korišćeni u ovom radu.

2.4.1 Puasonov regresioni model

Za analizu podataka o nesrećama, Puasonov regresioni model je tradicionalno početni model [15]. Ovaj model pretpostavlja da je broj nesreća koje se dese tokom vremenskog perioda na posmatranom mestu i , ima Puasonovu raspodelu sa srednjom vrednošću λ_i , tako da je:

$$Y_i | \lambda_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i) \quad (2.1)$$

gde je λ_i parametar Puasonovog regresionog modela.

Puasonov regresioni model je nelinearni regresioni model i obično se koristi u proučavanju prebrojivih podataka. U primeni Puasonove regresije u analizi frekvencije

nesreća, neka Y_i bude broj nesreća na putnom prelazu i , gde je $i = 1, 2, \dots$ tokom određenog perioda. Puasonov model je:

$$P(Y_i = y_i) = \frac{\lambda_i^{y_i} e^{-\lambda_i}}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.2)$$

gde je:

$P(Y_i = y_i)$ za ovo istraživanje je verovatnoća da će se y_i nesreća desiti na putnom prelazu i u posmatranom periodu vremena,

λ_i je srednja vrednost od Y_i , parametar Puasonovog regresionog modela koji se ocenjuje eksponencijalnom funkcijom vektora nezavisnih promenljivih i može se predstaviti kao:

$$\lambda_i = \exp(\mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta}) \quad (2.3)$$

gde je:

$\mathbf{x}_i = (1, x_{i1}, \dots, x_{ik})'$ vektor nezavisnih promenljivih, koje opisuju različite karakteristike puta, pruge i putnog prelaza i ostale relevantne uslove koji utiču na frekvenciju nesreća na putnom prelazu koji će se oceniti standardnom metodom maksimalne verodostojnosti (MLE) [4],

$\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \dots, \beta_k)'$ je vektor regresionog parametra koji će biti procenjen iz podataka.

Kako je reč o nelinearnoj regresiji, parametri se ocenjuju metodom maksimalne verodostojnosti (MLE), čija se funkcija može predstaviti kao:

$$L = \prod_{i=1}^n P(Y_i = y_i) = \prod_{i=1}^n \frac{e^{-e^{x_i \beta}} (e^{x_i \beta})^{y_i}}{y_i!} \quad (2.4)$$

i Log funkcija verodostojnosti kao:

$$LL = (\hat{\boldsymbol{\beta}} | y_i, X_i) = \sum_{i=1}^n [-e^{x_i \hat{\boldsymbol{\beta}}} + y_i x_i \hat{\boldsymbol{\beta}} - \log(y_i!)] \quad (2.5)$$

Na osnovu ocenjenog modela moguće je predvideti ishod za svaki element uzorka:

$$\hat{\lambda} = \exp(\hat{\boldsymbol{\beta}} \cdot \bar{x}) \quad (2.6)$$

Veličina promene u verovatnoći događaja zavisi od $\hat{\lambda} = \exp(\hat{\beta} \cdot \bar{x})$ i nije ista za sve elemente uzorka. Iz tog razloga je od interesa oceniti parametar srednje vrednosti koji je se ovde ocenjuje sa $\hat{\beta}' \cdot \bar{x}$.

Jedna važna karakteristika Puasonove raspodele je da su prva dva momenta, matematičko očekivanje i disperzija, jednaki:

$$E[Y_i|\lambda_i] = D[Y_i|\lambda_i] \quad (2.7)$$

Ako ova jednakost ne važi, podaci govore da je prisutna manje ili veće odstupanje od Puasonove raspodele tako da je ako je:

$$E[Y_i|\lambda_i] > D[Y_i|\lambda_i], \text{ manja disperzija} \quad (2.8)$$

$$E[Y_i|\lambda_i] < D[Y_i|\lambda_i], \text{ veća disperzija} \quad (2.9)$$

i procenjeni rezultujući parametar će imati odstupanje [4].

Kako Puasonov regresioni model ima nelinearnu funkciju uslovnog očekivanja i heteroskedastične slučajne greške, izračunata vrednost koeficijenta determinacije nema „direktnu” interpretaciju i ne može se koristiti kao pokazatelj kvaliteta modela. U cilju vrednovanja kvaliteta ovog modela predloženi su brojni specifični pokazatelji poput sume pojedinačnih odstupanja *i-og* elementa uzorka (jednake nuli za slučaj perfektnog predviđanja modela), ali i pokazatelji uobičajeni za model diskretnog izbora, kao što je indeks količnika verodostojnosti (LRI).

Jedan od problema koji se javlja pri modeliranju prebrojivih podataka Puasonovom regresijom jeste to što je raspodela u potpunosti određena jednim parametrom (λ_i), odnosno odgovarajući momenti raspodele slučajne promenljive Y_i su funkcije od λ_i . Navedeno ograničenje se najčešće manifestuje u manjem broju nula koje model predviđa u odnosu na opservacije u uzorku, a ovaj problem je poznat kao „višak nula” (excess zeros) u analiziranim podacima. Drugi problem je poznat kao problem „prevelike raspršenosti” i odnosi se na pojavu da je za prebrojive podatke vrednost uzoračke disperzije zavisne promenljive obično veća od vrednosti aritmetičke sredine. Nasuprot tome, Puasonov model pretpostavlja jednakost disperzije i srednje vrednosti (2.7) odnosno nameće „jednaku raspršenost” (equidispersion) podataka. Naime, u uslovima važenja jednakosti (2.7) ocene Puasonovog modela dobijene metodom maksimalne verodostojnosti zadržavaju osobinu postojanosti, ali je testiranje prisustva

„prekomerne raspršenosti” u modelu ipak neophodno iz dva razloga. Prvo, u složenijim modelima brojivih podataka, kada je opravdano primeniti cenzurisani regresioni model, javlja se problem nepostojanosti dobijenih ocena [4]. Drugo, standardne greške ocenjene metodom maksimalne verodostojnosti u prisustvu „veće raspršenosti” su znatno potcenjene, pa smo skloni da prihvatamo kao statistički značajne i parametre koji to, u stvari, nisu. Iz tih razloga predložen je veliki broj testova za otkrivanje problema „veće raspršenosti” u Puasonovom regresionom modelu [16].

2.4.2 Negativni binomni (NB) regresioni model

U cilju otklanjanja restriktivne pretpostavke o jednakosti uslovne očekivane vrednosti i uslovne disperzije, kao alternativa Puasonovom regresionom modelu, predlaže se veliki broj manje restriktivnih modela brojivih podataka kao što je popularni negativni binomni model, koji se još zove i Puason-gama model [15].

Zbog pomenutih problema „veće raspršenosti”, korišćenje tehnike negativne binomne raspodele je sledeći razvojni korak stavljanja u odnos frekvencije nesreća prema različitim nezavisnim promenljivim. Negativni binomni model je mnogo pogodniji za „veću disperziju”, jer model dopušta nejednakost srednje vrednosti i disperzije [17].

Umesto pretpostavke da je srednja vrednost frekvencije nesreća fiksna, kao što je to u standardnom Puasonovom modelu, u NB modelu se pretpostavlja da je slučajna, prikazana sa $\hat{\lambda}_i$. Po toj pretpostavci, NB model se može predstaviti [15]:

$$\begin{aligned} Y_i | \hat{\lambda}_i &\sim \text{Poisson}(\hat{\lambda}_i), \\ \hat{\lambda}_i &= \lambda_i \exp(\varepsilon_i), \\ \exp(\varepsilon_i) &\sim \text{Gamma}(\vartheta, \vartheta), \end{aligned} \tag{2.10}$$

gde je:

prema formuli (2.3), $\lambda_i = \exp(\mathbf{x}_i' \boldsymbol{\beta})$, a

ε_i je slučajna greška, kojom mogu biti obuhvaćene promenljive koje nisu eksplicitno uključene u model,

$\exp(\varepsilon_i)$ se pretpostavlja da prati gama raspodelu sa srednjom vrednošću $E[\exp(\varepsilon_i)] = 1$ i odstupanjem $D[\exp(\varepsilon_i)] = 1|\varnothing$. \varnothing je recipročna vrednost disperzionog parametra α , $\varnothing = 1|\alpha$, $\alpha \geq 0$. Ovo je postignuto uzimajući u obzir da su dva parametra gama raspodele jednaka.

U nameri da se postigne negativni binomni regresioni model, slučajni ishod $\exp(\varepsilon_i)$ je integrisan. Prema tome, negativni binomni regresioni model ima formu prema [15] i [17]:

$$f(y_i|\lambda_i, \varnothing) = \frac{\Gamma(y_i + \varnothing)}{y_i! \Gamma(\varnothing)} \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \varnothing}\right)^{y_i} \left(\frac{\varnothing}{\lambda_i + \varnothing}\right)^{\varnothing} \quad y_i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

gde se uzima da je disperzioni parametar \varnothing stalan za sve putne prelaze. Matematičko očekivanje i odstupanje negativnog binomnog regresionog modela su:

$$E[y_i|\lambda_i, \varnothing] = \lambda_i \quad i \quad D[y_i|\lambda_i, \varnothing] = \lambda_i(1 + \lambda_i|\varnothing) \quad (2.12)$$

Parametri λ_i i \varnothing se ocenjuju metodom maksimalne verodostojnosti (MLE), čija se funkcija može predstaviti kao:

$$L(\lambda_i \text{ i } \varnothing) = \prod_{i=1}^n \frac{\Gamma(y_i + \varnothing)}{y_i! \Gamma(\varnothing)} \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \varnothing}\right)^{y_i} \left(\frac{\varnothing}{\lambda_i + \varnothing}\right)^{\varnothing} \quad (2.13)$$

2.4.3 Puasonov regresioni model sa viškom nula (ZIP)

Drugi izvor preterane disperzije, pored skrivene nehomogenosti, može da bude velika frekvencija nula u uzorku. U ovoj situaciji, standardni Puasonov i NB modeli mogu da budu neodgovarajući. Da bi se rešio problem viška nula u [18] se predlaže Puasonov model sa viškom nula (ZIP), gde se pretpostavlja da je raspodela frekvencija mešavina konstante „0” i Puasonove raspodele. Prilikom pravljenja modela dobijaju se dva modela. Jedan, kojim se procenjuje verovatnoća nula (*model zero*), i drugi (Puasonov regresioni model), kojim se procenjuje srednja vrednost λ (*model count*).

ZIP model je primenjen u analizi bezbednosti u drumskom saobraćaju za model sa bazom podataka sa velikom frekvencijom udesa sa nulama [19].

U [18] se predlaže ZIP regresioni model koji podrazumeva da su događaji, $Y = Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ nezavisni i:

$$Y_i = 0 \text{ sa verovatnoćom: } P(Y_i = 0) = p_i + (1 - p_i)e^{-\lambda} \quad (2.14)$$

$$Y_i = y \text{ sa verovatnoćom: } P(Y_i = y) = (1 - p_i) \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!} y = 0, 1, 2, \dots \quad (2.15)$$

gde je p_i verovatnoća da se pojavi višak nula u analiziranim podacima. Ako je $Y_i = 0$, srednja vrednost i disperzija zavisne promenljive Y ZIP modela je:

$$E(y_i) = (1 - p_i)\lambda_i \quad (2.16)$$

i

$$D(Y_i) = \lambda_i(1 - p_i)(1 + \lambda_i p_i) \quad (2.17)$$

Ako je $p_i = 0$, nema višak nula i srednja vrednost ZIP modela je jednaka srednjoj vrednosti Puasonovog modela.

Odnos disperzije i srednje vrednosti u ZIP modelu je:

$$\frac{D(Y_i)}{E(Y_i)} = 1 + (1 - p_i)\lambda_i = 1 + \left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right)E(Y_i) \quad (2.18)$$

Iz formule (2.16) može se videti da je raspršenost u ZIP modelu mnogo veća nego u Puasonovom modelu. Odnos $\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right)$ je jednak parametru α u NB modelu. Ukoliko je $p_i = 0$, u podacima nema preterane raspršenosti.

Za ZIP model, povezujuća funkcija od p_i je modelovana logističkom funkcijom i λ je formirana eksponencijalnom funkcijom. Povezujuća funkcija je sledeća:

$$\ln \lambda_i = X_i \beta \quad (2.19)$$

$$\text{logit}(p_i) = \ln\left(\frac{p_i}{1 - p_i}\right) = G_i \gamma \quad (2.20)$$

$$p_i = \frac{e^{G_i \gamma}}{1 + e^{G_i \gamma}} \quad (2.21)$$

Parametri λ_i i p_i se zasebno modeliraju vektorima nezavisnih promenljivih, X_i i G_i , i ovi vektori mogu biti isti ili različiti.

Metoda maksimalne verodostojnosti (MLE) u ovom radu je korišćena da bi se ocenili nepoznati parametri λ i p i njihovo standardno odstupanje.

2.4.4 Negativni binomni model sa viškom nula (ZINB)

Dok ZIP model može da podrži problem viška nula, ne razmatra mogućnost da je problem veće disperzije prouzrokovan oboma, skrivenom nehomogenosti i viškom nula. Da bi se nosio sa ova dva moguća izvora veće disperzije, mnogo fleksibilniji model može biti negativni binomni model sa viškom nula (ZINB), koji se može predstaviti prema sledećem [15]:

$$Y_i \sim 0, \text{ sa verovatnoćom } p_i, \quad (2.22)$$

$$Y_i / \tilde{\lambda}_i \sim \text{Poisson}(\tilde{\lambda}_i), \text{ sa verovatnoćom } (1 - p_i),$$

gde je:

p_i – parametar koji predstavlja proporciju nula dodatih u NB raspodelu, $0 < p_i < 1$. ZINB raspodela može biti napisana prema sledećem:

$$f(y_i | \lambda_i, p_i, \emptyset) = p_i + (1 - p_i) \left(\frac{\emptyset}{\emptyset + \lambda_i} \right) \text{ za } y_i = 0,$$

$$f(y_i | \lambda_i, p_i, \emptyset) = (1 - p_i) \frac{\Gamma(y_i + \emptyset)}{y_i! \Gamma(\emptyset)} \left(\frac{\emptyset}{\lambda_i + \emptyset} \right)^{1-\alpha} \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \emptyset} \right)^{y_i} \quad (2.23)$$

za $y_i > 0$.

Da bi se ocenio p_i , može se zadati logistička povezujuća funkcija:

$p_i = \exp(\mathbf{v}_i' \boldsymbol{\omega}) / [1 + \exp(\mathbf{v}_i' \boldsymbol{\omega})]$, gde je:

$\mathbf{v}_i = (1, v_{i1}, \dots, v_{ik})'$ predstavljaju vektor karakteristika prelaza, obično različitih od \mathbf{x}_i , i

$\boldsymbol{\omega} = (\omega_0, \dots, \omega_k)'$ su parametri vektora.

Srednja vrednost i odstupanje ZINB modela su dati kao:

$$E[y_i | \lambda_i, p_i, \emptyset] = \lambda_i(1 - p_i) \quad (2.24)$$

$$D[y_i | \lambda_i, p_i, \emptyset] = \lambda_i(1 - p_i)[1 + \lambda_i(p_i + \alpha)].$$

Može se uočiti, kada je p_i bliska 1, očekivani broj je blizak 0.

Kao i kod ZIP modela, kod negativnog binomnog modela sa viškom nula (ZINB) se pretpostavlja da je raspodela frekvencija mešavina konstante „0” i negativne binomne raspodele. Prilikom pravljenja modela dobijaju se dva modela. Jedan, kojim se

procenjuje verovatnoća nula (*model zero*), i drugi, (NB regresioni model) kojim se procenjuje srednja vrednost λ (*model count*).

2.4.5 Multinomni logistički model

Ukoliko je prisutno tri ili više nivoa kategorija zavisnih promenljivih, potrebno je koristiti multinomni logistički regresioni model [14].

Neka je $\pi_j(\mathbf{x}) = P(Y = j; \mathbf{x})$ verovatnoća da je $Y = j, j = 0, 1, 2, \dots, r$. Pri tome je $\sum_{j=0}^r \pi_j(\mathbf{x}) = 1$. Multinomni logistički model se može predstaviti prema sledećem:

$$\text{logit}[\pi_j(\mathbf{x})] = \log \frac{\pi_j(\mathbf{x})}{\pi_0(\mathbf{x})} = \alpha_j + \mathbf{x}\beta_j, j = 1, 2, \dots, r. \quad (2.25)$$

Ovde je α_j slobodni parametar i $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{jn})^T$ je n – dimenzioni vektor regresionih parametara za j -tu vrednost zavisne promenljive. Iz (2.25) uzevši da je $\alpha_0 = 0$ i $\beta_0 = 0$ za jednostavno prikazivanje, može se prikazati verovatnoća $\pi_j(\mathbf{x})$ kao:

$$\pi_j(\mathbf{x}) = \frac{\exp(\alpha_j + \mathbf{x}\beta_j)}{\sum_{k=0}^r \exp(\alpha_k + \mathbf{x}\beta_k)}, j = 0, 1, 2, \dots, r \quad (2.26)$$

Parametri u multinomnom logističkom modelu mogu se proceniti korišćenjem metode maksimalne verodostojnosti (*MLE*). Predviđena verovatnoća posledica nesreća, za dati skup nezavisnih promenljivih može biti izračunata putem *MLE* $(\hat{\alpha}_j, \hat{\beta}_j), j = 1, 2, \dots, r$, i $(\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0) = (0, 0)$ u formulu (2.26) prema sledećem:

$$\hat{\pi}_j(\mathbf{x}) = \hat{P}(Y = j; \mathbf{x}) = \frac{\exp(\hat{\alpha}_j + \mathbf{x}\hat{\beta}_j)}{\sum_{k=0}^r \exp(\hat{\alpha}_k + \mathbf{x}\hat{\beta}_k)}, j = 0, 1, 2, \dots, r. \quad (2.27)$$

3 RAZVOJ KOMPONENTI MODELA ZA PREDVIĐANJE NESREĆA

3.1 Opis izvora podataka

U ovom delu je dat kratak opis podataka o putnim prelazima i podataka o nesrećama koji su korišćeni za razvoj modela predviđanja nesreća na putnim prelazima. Za ovu analizu sprovedeno je sveobuhvatno istraživanje u cilju pronalaženja veze između karakteristika putnih prelaza i nesreća, što se ogleda u bazi Železnica Srbije.

3.1.1 Izvor podataka o putnim prelazima

Podaci za ovo istraživanje su potekli iz dva izvora: (1) baza evidencije putnih prelaza na teritoriji Srbije [21] i (2) baza nesreća na putnim prelazima srpskih železnica [22].

Baza evidencije putnih prelaza Železnica Srbije obezbeđuje podatke o 2 138 putnih prelaza sa podacima o geometriji prelaza i sistemima osiguranja. Ova baza uključuje pet tipova podataka:

1) Podatke o lokaciji putnih prelaza

Svaki putni prelaz u bazi sadrži podatke koji uključuju lokaciju, tj. prugu i put na kome se nalazi, kao i nadležnu stanicu. Lokacija putnog prelaza na pruzi sadrži broj i kategoriju pruge na kojoj se nalazi. U bazi, a prema pravilniku o kategorizaciji pruga [23], razlikuju se četiri kategorije: magistralne glavne (M-G), magistralne pomoćne pruge (M-P), ostale pruge prvog reda (O-I) i ostale pruge drugog reda (O-II). U cilju istraživanja sprovedenog u ovom radu pruge su svrstane u dve različite klase. Prva klasa su magistralne glavne (M-G) i magistralne pomoćne pruge (M-P), a druga klasa ostale pruge prvog (O-I) i ostale pruge drugog reda (O-II).

2) Način osiguranja

Postoji šest različitih sistema osiguranja putnih prelaza prema [24]:

- 1) saobraćajni znaci na putu i trougao preglednosti,
- 2) svetlosni saobraćajni znaci i saobraćajni znaci na putu,
- 3) polubranici sa svetlosnim saobraćajnim znacima na putu,
- 4) branici i saobraćajni znaci na putu,
- 5) neposredno regulisanje saobraćaja na putnom prelazu i posebne mere u određenim slučajevima,
- 6) ograda ili drugi uređaj na putnom prelazu za pešake i bicikliste.

Za svrhe ove analize, četiri tipa osiguranja je razmatrano, tako što su integrisani u četiri različite klase. To su:

- 1) saobraćajni znaci na putu i trougao preglednosti,
- 2) svetlosni saobraćajni znaci i saobraćajni znaci na putu,
- 3) polubranici sa svetlosnim saobraćajnim znacima na putu i
- 4) branici i saobraćajni znaci na putu.

3) Karakteristike putnog prelaza

Baza podataka [21] sadrži podatke o geometrijskim karakteristikama prelaza koji uključuju širinu i površinu putnog prelaza, trougao preglednosti, ugao ukrštanja pruge i puta. Pored toga, razlikuje se šest vrsta kolovoza: asfalt, armirano-betonske ploče, kamena kocka sitna i krupna, gumeni paneli, drveni pragovi i lomljeni kamen. Za svrhe ove analize šest tipova kolovoza je integrisano u dve različite grupe:

- 1) asfalt, armirano betonske ploče i gumeni paneli i
- 2) kamena kocka, drveni pragovi i lomljeni kamen.

4) Karakteristike puta

Prema bazi, putevi su klasifikovani u sedam različitih tipova: magistralni put, regionalni put, seoski put, lokalni, poljoprivredni, nekategorisani put i ulica. Ovi tipovi puteva su grupisani u pet različitih klasa kao što su:

- 1) magistralni put,
- 2) regionalni put,
- 3) seoski i lokalni put,
- 4) poljoprivredni i nekategorisani put i
- 5) ulica.

5) Karakteristike pruge

U bazu su uključeni podaci o kategoriji pruge i broju koloseka na putnom prelazu. Kategorija pruge je prethodno objašnjena u okviru podataka o lokaciji putnih prelaza. Podaci o maksimalnoj brzini voza prema redu vožnje nisu sastavni deo baze, već su za potrebe ovog rada dodati u bazu za one putne prelaze koji su posmatrani.

6) Obim saobraćaja

Podaci o broju vozova dnevno, kao i prosečnom dnevnom drumskom saobraćaju preko putnog prelaza nisu sastavni deo baze podataka [21]. Podaci o dnevnom broju vozova su dodati u bazu na osnovu reda vožnje vozova. Prosečan dnevni drumski saobraćaj je aproksimiran korišćenjem baze brojanja saobraćaja na putevima Srbije i dodat u bazu podataka o putnim prelazima. U analizama koje slede će biti upotrebljen termin „izloženost putnog prelaza saobraćaju”, koji predstavlja proizvod dnevnog broja vozova i dnevnog broja drumskih vozila.

3.1.2 Podaci o nesrećama

Baza nesreća se administrira od strane Železnica Srbije. Ona sadrži informacije o vremenu, mestu i uslovima pri kojima se desila nesreća za 2 138 putnih prelaza na teritoriji Srbije za period od pet godina, od 2007–2011. godine [22].

Baza podataka o nesrećama je organizovana u četiri tipa informacija:

- Osnovni podaci o nesreći uključuju: broj nesreće, datum i vreme kada se desila nesreća, lokaciju i uzrok nesreće,

- Podaci o vozaču drumskog vozila, vrsti vozila i voza: uključuju informacije o aktivnosti vozača, pol i godine vozača, vidljivost, vrstu drumskog vozila i vrstu voza,
- Vrsta nesreće, kao što je voz je udario u drumsko vozilo ili vozilo je udarilo u voz,
- Podaci o posledicama nesreće: ovi podaci uključuju broj usmrćenih lica, ozbiljno povređenih lica, kao i nivo materijalne štete u nasreći.

U ovom radu, frekvencija nesreća na svakom putnom prelazu, kao i posledice svake nesreće za period od pet godina, od 2007–2010. godine, biće korišćene za razvoj modela predviđanja frekvencije nesreća, modela posledica nesreća, kao i modela empirijskog rizika, a kasnije i za procenu efektivnosti odgovarajućih mera.

3.2 Modifikovanje podataka

Za jedan broj putnih prelaza je utvrđeno da nisu pogodni za predstojeće analize jer ne sadrže promenljive koje su potrebne za modeliranje, tako da nisu uzeti u razmatranje. Jedan deo uklonjenih prelaza su poljoprivredni, nekategorisani i vojni putni prelazi. Drugi deo prelaza koji nisu uzeti u razmatranje su putni prelazi kod kojih su uglavnom nedostajali podaci u vezi sa obimom saobraćaja, a posebno za gustinu drumskog saobraćaja na prelazu. Kao rezultat modifikacije podataka, baza sa kojom smo dalje radili uključuje 745 putnih prelaza.

Baze evidencije putnih prelaza i nesreća na putnim prelazima za 745 putnih prelaza su dalje kombinovane za istraživanje i validaciju modela predviđanja frekvencije i posledica nesreća na putnim prelazima u Srbiji.

Ukupno 17 nezavisnih promenljivih je razmatrano u ovim modelima. One uključuju:

- karakteristike pruge: kategorija pruge, broj vozova dnevno, maksimalnu brzinu voza prema redu vožnje, kao i broj koloseka,
- karakteristike puta: kategorija puta, prosečna gustina dnevnog drumskog saobraćaja,
- karakteristike putnog prelaza: širina putnog prelaza, trougao preglednosti, ugao ukrštanja pruge i puta, vrsta kolovoza,
- vrsta osiguranja: polubranici, branici, svetlosna signalizacija, drumska signalizacija.

Ukupno 17 nezavisnih promjenljivih je razmatrano u ovim modelima, kao što je prikazano u tabeli 3.1. Kao što je uobičajeno, kategorisana nezavisna promjenjiva sa j nivoa je uključena u model kao set od j dihotomnih (0 ili 1) promjenljivih. Na primer, kako promjenjiva sistem osiguranja na putnom prelazu ima 4 nivoa, $j = 4$ nivoa, model će uključiti 3 dihotomne promjenjive (npr. drumska signalizacija, svetlosna signalizacija i branici) kao nezavisne promjenjive u modelu. U ovom slučaju, nivo koji je isključen postaje referentni nivo (npr. polubranici) i koeficijenti koji su uključeni se interpretiraju u odnosu na referentni nivo.

Iz baze o nesrećama korišćeni su podaci o frekvenciji i posledicama svake nesreće na svakom putnom prelazu u periodu od 2007. do 2011. godine na onim putnim prelazima gde su se nesreće dogodile, u posmatranom petogodšnjem periodu vremena.

Frekvencija nesreća je broj nesreća koje su se desile u posmatranom periodu vremena. Posmatrana frekvencija nesreća je definisana kao zavisna promjenjiva Y za model predviđanja frekvencije nesreća i u ovom uzorku uzima vrednosti od 0 do 5, $y = 0, 1, 2, 3, 4$ i 5. Koristeći identifikacioni broj putnog prelaza u bazi nesreća, izračunata je frekvencija nesreća na svakom putnom prelazu u posmatranom vremenskom periodu. Frekvencija posmatranih nivoa zavisne promjenjive prikazana je u tabeli 3.2. Dakle, posmatrana frekvencija nesreća je broj nesreća koje su se dogodile na 745 posmatranih putnih prelaza u periodu od 2007. do 2011. Od 2007 do 2011. na 745 posmatranih prelaza, nijedna nesreća se nije desila na 514 (69%) putnih prelaza, a 312 nesreća se desilo na preostalim 231 (31%) putnih prelaza.

Tabela 3.1 Pregled i karakteristike nezavisnih promjenljivih za modele

Promen- ljive	Skraćeni naziv	Opis promenljive	Nivoi promen- ljivih	Tip promen- ljive	Opis kodiranja ili jedinica mere
x_1	KATPRM	Kategorija pruge	2	Kategorisana	Magistralna = 1; Ostale pruge = 0
x_2	EXPOSURE (izloženost putnog prelaza saobraćaju)	Proizvod dnevnog broja vozova i gustine drumskih vozila dnevno	Skalarna vrednost	Numerička	Geometrijska sredina od $PGDS \times broj\ vozova$
x_3	MBRZ	Maksimalna brzina voza	Skalarna vrednost	Numerička	Km/h
x_4	BRKOLB	Broj koloseka	2	Kategorisana	Jednokolosečne = 1; Dvokolosečne i višekolosečne = 0
x_5	VRKOLA	Vrsta materijala na kolovozu	2	Kategorisana	Asfalt, armirano- betonske ploče i gumeni paneli = 1; kamena kocka, drveni pragovi i lomljeni kamen = 0
x_6-x_{10}	KPM	Kategorija puta magistralni	5	Kategorisana	Indikator 0 nije magistralni put; 1 jeste magistralni put
	KPR	Kategorija puta		Kategorisana	Indikator 0 nije regionalni put; 1 jeste regionalni put
	KPSL	Kategorija puta seoski i lokalni		Kategorisana	Indikator 0 nije seoski i lokalni put; 1 jeste seoski i lokalni put
	KPPNP	Kategorija puta poljoprivredni i ne kategorisani		Kategorisana	Indikator 0 nije; poljoprivredni i ne kategorisani; 1 jeste poljoprivredni i ne kategorisani put
	KPU	Kategorija puta ulica		Kategorisana	Indikator 0 nije ulica; 1 jeste ulica
x_{11}	SIRPPB	Širina prelaza	2	Kategorisana	Širina prelaza $\leq 6m =$ 1; 0 ako je $> 6m$

Prome-nljive	Skraćeni naziv	Opis promenljive	Nivoi promen-ljivih	Tip prome-nljive	Opis kodiranja ili jedinica mere
x_{12}	TRPRP	Trougao preglednosti	2	Kategorisana	Indikator 0 trougao preglednosti ne postoji; 1 trougao preglednosti postoji
x_{13}	UGUKR	Ugao ukrštanja	2	Kategorisana	Ugao ukrštanja od 60 do 90° = 1; Ugao ukrštanja manji od 60° = 0
$x_{14}-x_{17}$	VOSIG	Vrsta osiguranja drumska signalizacija	4	Kategorisana	Indikator 0 ne postoji drumska signalizacija; 1 postoji dr. sign.
	VOSV	Vrsta osiguranja svetlosna signalizacija		Kategorisana	Indikator 0 ne postoji svetlosna signalizacija; 1 postoji svetlosna signalizacija
	VOBR	Vrsta osiguranja branici		Kategorisana	Indikator 0 ne postoje branici; 1 postoje branici
	VROSP	Vrsta osiguranja polubranici		Kategorisana	Indikator 0 ne postoje polubranici; 1 postoje polubranici

Formirana je nova baza podataka za potrebe ovog rada, opet koristeći identifikacioni broj putnog prelaza, koji uključuje frekvenciju nesreća po putnom prelazu u posmatranom periodu, kao zavisnu promenljivu, i karakteristike svakog putnog prelaza prema tabeli 3.1, kao nezavisne promenljive. Ova kombinovana baza je služila kao osnov za istraživanje modela predviđanja frekvencije nesreća.

Zbog činjenice da su neke promenljive prirodno određene, kao što je ozbiljnost posledica u nesreći između voza i drumskog vozila na putnom prelazu, razne vrste modela se mogu odrediti iz ovih vrsta podataka. Podaci za ovo istraživanje uključuju informacije o posledicama nesreća koji su kategorizovani u jednu od tri grupe, a to su: 1) nema povređenih, 2) teže povređeni i 3) smrtni ishod, prema bazi podataka o nesrećama na putnim prelazima Železnica Srbije [22].

Ozbiljnost posledica nesreće je prosečan nivo uticaja po nesreći. Prosečan nivo uticaja po nesreći uključuje broj usmrćenih i povređenih lica u svakoj nesreći.

Zavisna promenljiva, ozbiljnost posledica, slučajna je promenljiva koja predstavlja ukupan broj usmrćenih lica koje su se desile na određenom putnom prelazu tokom

posmatranog perioda vremena. U ovom radu ozbiljnost posledica je karakterizovana kao ekvivalent smrtnosti. Uzeto je da je jedan smrtni slučaj kao tri povređena slučaja da bi se izračunao ekvivalent povreda. Ovakva računica je uzeta prema [25].

Zatim je primenjen ekvivalent povreda $[(3 \times \text{broj usmrćenih}) + \text{broj povređenih}]$ u formulu za ozbiljnost posledica,

$$\text{Ozbiljnost posledica} = \frac{[(3 \times \text{broj usmrćenih}) + \text{broj povređenih}]}{\text{frekvencija nesreća}} \quad (3.1)$$

Zavisna promenljiva je definisana u tri nivoa, pa je prema tome $Y = y = 0, 1 \text{ i } 2$. 0 znači da nema posledica, 1 manje posledice i 2 podrazumeva teže posledice.

Zatim je formirana još jedna baza podataka za potrebe ovog rada, opet koristeći identifikacioni broj putnog prelaza, koji uključuje posledice nesreća po putnom prelazu u posmatranom periodu, kao zavisnu promenljivu, i karakteristike svakog putnog prelaza prema tabeli 3.1, kao nezavisne promenljive. Ova kombinovana baza je služila kao osnov za istraživanje modela predviđanja posledica nesreća.

Rizik se može razložiti kao proizvod verovatnoća ili frekvencije i posledica ili ozbiljnosti. Kako je rizik proizvod ove dve veličine, procena nivoa ozbiljnosti je jednako važna kao i procena frekvencije za određeni period [14].

U ovom radu empirijski rizik je definisan prema broju mrtvih i povređenih lica. Empirijski rizik je zapravo ukupan broj stradalih za određeni period, bez obzira koliko se nesreća desilo. Za svaki putni prelaz empirijski rizik je definisan na sledeći način:

$$\text{Empirijski rizik} = [(3 \times \text{broj usmrćenih}) + \text{broj povređenih}] \quad (3.2)$$

Vrednosti zavisne promenljive Y su u opsegu od 0 do 14, a njihova frekvencija je prikazana u tabeli 3.2. Zatim je formirana još jedna baza podataka za potrebe ovog rada, opet koristeći identifikacioni broj putnog prelaza, koji uključuje empirijski rizik nesreća po putnom prelazu u posmatranom periodu, kao zavisnu promenljivu i karakteristike svakog putnog prelaza prema tabeli 3.1 kao nezavisne promenljive. Ova kombinovana baza je služila kao osnov za istraživanje modela predviđanja empirijskog rizika.

Table 3.2 Posmatrana frekvencija nesreća, ozbiljnost posledica nesreća i empirijski rizik od zavisne promenljive ($Y = y$)

Nivoi frekvencije nesreća ($Y = y$)	Posmatrana frekvencija nesreća	Nivoi ozbiljnosti posledica ($Y = y$)	Posmatrana ozbiljnost posledica	Nivoi empirijskog rizika ($Y = y$)	Posmatrani empirijski rizik
$y = 0$	514	$y = 0$	633	$y = 0$	633
$y = 1$	180	$y = 1$	72	$y = 1$	45
$y = 2$	35	$y = 2$	40	$y = 2$	18
$y = 3$	6			$y = 3$	31
$y = 4$	6			$y = 4$	3
$y \geq 5$	4			$5 \leq y \leq 14$	15

3.3 Analiza sa jednom promenljivom

Da bi se identifikovale promenljive koje mogu da imaju različite nivoe uticaja na frekvenciju nesreća, posledice nesreća i empirijski rizik, pre svega je urađena analiza sa svakom pojedinačnom zavisnom promenljivom. Ovom analizom se mogu grubo odbaciti neke promenljive koje nemaju uticaja na zavisne promenljive.

Svaka promenljiva kod koje je test sa jednom promenljivom, log-likelihood ratio test $p < 0.25$, pokazuje da ima uticaja na frekvenciju nesreća, posledice nesreća, kao i empirijski rizik. Ovde se koristi nivo 0.25 kao kriterijum za ocenu promenljivih na osnovu [14]. Ovako visok nivo se uzima zbog toga što se može desiti da neka promenljiva sama nema značajan uticaj, ali u sadejstvu sa nekom drugom promenljivom taj uticaj se povećava.

Svaka nezavisna promenljiva koja je uzeta u razmatranje prema tabeli 3.1 je testirana za tri modela, frekvencije nesreća, posledice nesreća i empirijskog rizika. Rezultati su prikazani u tabeli 3.3. Opis promenljivih je dat u tabeli 3.2.

Tabela 3.3 p-vrednosti za nezavisne promenljive

Naziv nezavisne promenljive	Frekvencija nesreća	Posledice nesreća		Empirijski rizik	
		y = 1	y = 2	count	zero
KATPRM	$p = 0.11$	$p = 0.85$	$p = 0.0022$	$p = 0.02$	$p = 0.99$
BRVOZ	$p = 2.6 \times 10^{-4}$	$p = 0.0069$	$p = 0.00015$	$p = 0.96$	$p = 0.10$
PGDS	$p = 2.1 \times 10^{-3}$	$p = 0.39$	$p = 0.39$	$p = 0.06$	$p = 0.18$
EXPOSURE	$p = 1.9 \times 10^{-8}$	$p = 0.0033$	$p = 0.0099$	$p = 0.00024$	$p = 0.29$
MBRZ	$p = 2.9 \times 10^{-8}$	$p = 0.0011$	$p = 0.0027$	$p = 0.96$	$p = 0.10$
BRKOLB	$p = 0.67$	$p = 0.44$	$p = 0.30$	$p = 0.18$	$p = 0.47$
VRKOLA	$p = 0.31$	$p = 0.60$	$p = 0.84$	$p = 0.23$	$p = 0.47$
KPM	$p = 0.85$	$p = 0.51$	$p = 0.61$	$p = 0.56$	$p = 0.38$
KPR	$p = 0.71$	$p = 0.60$	$p = 0.53$	$p = 0.0043$	$p = 0.0095$
KPSL	$p = 0.25$	$p = 0.46$	$p = 0.02$	$p = 0.89$	$p = 0.44$
KPPNP	$p = 0.0067$	$p = 0.96$	$p = 0.47$	$p = 1.2 \times 10^{-7}$	$p = 0.93$
KPU	$p = 0.11$	$p = 0.97$	$p = 0.13$	$p = 0.0055$	$p = 0.0042$
SIRPPB	$p = 0.20$	$p = 0.14$	$p = 0.50$	$p = 0.023$	$p = 0.12$
TRPRP	$p = 0.33$	$p = 0.75$	$p = 0.61$	$p = 0.21$	$p = 0.45$
UGUKR	$p = 0.24$	$p = 0.35$	$p = 0.33$	$p = 0.11$	$p = 0.42$
VOSIG	$p = 6.9 \times 10^{-7}$	$p = 0.001$	$p = 0.51$	$p = 0.02$	$p = 0.99$
VOSV	$p = 0.74$	$p = 0.22$	$p = 0.20$	$p = 0.39$	$p = 0.99$
VOBR	$p = 1.0 \times 10^{-11}$	$p = 0.0016$	$p = 0.018$	$p = 2.7 \times 10^{-11}$	$p = 0.86$
VROSP	$p = 0.67$	$p = 0.37$	$p = 0.13$	$p = 0.20$	$p = 0.30$

Kao što je prethodno rečeno, pruge su klasifikovane u dva tipa, i to: (1) magistralne glavne (M-G) i magistralne pomoćne pruge (M-P) i (2) ostale pruge prvog (O-I) i ostale pruge drugog reda (O-II). Što je veća kategorija pruge, veća frekvencija nesreća može se opaziti na putnim prelazima, s obzirom na to da je veća frekvencija vozova generalno prisutna na ovim kategorijama pruga, $p = 0.11$, za frekvenciju nesreća. Pokazalo se, međutim, da ova promenljiva nema uticaja na posledice udesa i empirijski rizik. Što je više koloseka, veća je i frekvencija vozova, koja za rezultat daje veću verovatnoću za dešavanje nesreća i veći empirijski rizik, $p = 0.18$. Broj vozova dnevno, koji uključuje putničke i teretne vozove, najveći uticaj ima kod frekvencije nesreća $p = 2.6 \cdot 10^{-4}$ kao i kod posledica $p = 0.0069$. Maksimalna brzina vozova prema redu vožnje kod frekvencije $p = 2.9 \cdot 10^{-8}$, kod posledica $p = 0.0011$, a kod empirijskog rizika $p = 0.0043$.

Prema bazi podataka, putevi su klasifikovani u sedam različitih tipova. Ti tipovi su za potrebe ove analize grupisani u četiri sledeće klase: (1) magistralni put, (2) regionalni

put, (3) seoski i lokalni put, (4) poljoprivredni i nekategorisani put i (5) ulica. Slično kao i kod veće kategorije pruge, što je veća kategorija puta, mogu da se zapaze ozbiljnije posledice ukoliko se nesreća desi. Za regionalne puteve i ulice $p = 0.0043$ i $p = 0.0055$. Što je veća gustina drumskih vozila dnevno (PGDS), raste i frekvencija nesreća, $p = 2.1 \cdot 10^{-3}$ kao i empirijski rizik, $p = 0.06$.

Širina putnih prelaza grupisana u dve grupacije do 6m i preko 6m. Pokazalo se da ova promenljiva ima uticaja na sve tri zavisne promenljive $p = 0.20$ kod frekvencije, $p = 0.14$ kod posledica i $p = 0.023$ kod empirijskog rizika.

Područje koje se zove trougao preglednosti je područje koje treba da bude čisto bez vizuelnih prepreka i klasifikovano je u dve grupe: (1) trougao preglednosti postoji i (2) trougao preglednosti ne postoji. Međutim, za posmatrani uzorak se pokazalo da ova promenljiva nema direktnog uticaja na izlazne promenljive.

Na posmatranom uzorku ne može se izvršiti neka pouzdanija analiza uticaja ugla ukrštanja na nesreće jer je mali broj putnih prelaza koji imaju ugao ukrštanja $0^\circ \leq \alpha < 45^\circ$ (1%) i na njima nije bilo nesreća u posmatranom petogodišnjem periodu, od $45^\circ \leq \alpha < 80^\circ$ (12%), i 9% nasreća, a najveći broj prelaza ima $80^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (87%). Dakle, najveći broj nesreća se desio upravo na prelazima sa optimalnim uglom $80^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ (88%). Analiza je pokazala da ova promenljiva ima najveći uticaj kod empirijskog rizika $p = 0.11$. Prema materijalu, na kolovozu u bazi postoji šest tipova koje su za potrebe ove analize klasifikovane u dve grupe. Prva grupa su asfalt, armirano betonske ploče i gumeni paneli, a druga grupa kamena kocka, drveni pragovi i lomljeni kamen (tabela 3.1). Pokazalo se da ova promenljiva donekle ima uticaja kod empirijskog rizika $p = 0.23$.

Prema tipu osiguranja koji su instalirani na putnim prelazima postoje četiri različita tipa u bazi, a klasifikovani su u četiri klase. Prva klasa su putni prelazi opremljeni sa svetlosnom i zvučnom signalizacijom i polubranicima. Polubranikom se zatvara saobraćaj na desnoj kolovoznoj traci, odnosno na desnoj polovini kolovoza puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge. Oni učestvuju sa 29% u ukupnom uzorku. Druga klasa su putni prelazi opremljeni branicima, kojima se rukuje ručno ili automatski. Branikom se zatvara drumski saobraćaj na celoj širini kolovoznog puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge i oni učestvuju sa 19%. Treća klasa su putni prelazi kod kojih se obezbeđenje saobraćaja na putnim prelazima vrši

svetlosnim saobraćajnim znakovima kojima se najavljuje približavanje voza. Oni učestvuju sa 2%. Najprisutniji tip putnog prelaza su četvrta klasa koji imaju samo drumsku signalizaciju, a učestvuju sa 50%. Nisu opremljeni niti sa upozoravajućim sistemom niti sa rampom. Prve tri klase sistema osiguranja su aktivne dok je četvrti sistem pasivni sistem. Pokazalo se da različiti sistemi kontrole saobraćaja imaju različite uticaje na zavisne promenljive. Najveći uticaj svakako ima pasivni sistem osiguranja $p = 6.9 \cdot 10^{-7}$ kod frekvencije, $p = 0.001$ kod posledica i $p = 0.02$ kod empirijskog rizika.

Generalni zaključak iz ove analize je taj da zapravo svaka od samostalno analiziranih promenljivih ima uticaja bilo na frekvenciju nesreća, posledice nesreća ili na empirijski rizik za posmatrani kriterijum. Stoga će u daljoj analizi sve promenljive iz tabele 3.3 biti uzimane u razmatranje pri modeliranju.

4 MODELI PREDVIĐANJA NESREĆA NA PUTNIM PRELAZIMA

4.1 Model frekvencije nesreća

U svrhu pronalaženja najprikladnije forme modela urađen je pregled prethodnih modela za istraživanje frekvencije nesreća. Četiri modela su istražena u ovom radu za procenu frekvencije nesreća, a to su:

- 1) Puasonov regresioni model,
- 2) Negativni binomni regresioni model,
- 3) Puasonov regresioni model sa viškom nula (ZIP) i
- 4) Negativni binomni model sa viškom nula (ZINB).

U procese modeliranja je uključeno 17 nezavisnih promenljivih koje su prikazane u tabeli 2.1. Zavisna promenljiva je frekvencija nesreća na putnim prelazima u petogodišnjem periodu od 2007. do 2011. (tabela 2.3)

Puasonov model predviđanja frekvencije nesreća (Y_i) je prvi istražen. Ovaj model pretpostavlja da broj nesreća koje se dogode u toku nekog perioda vremena na posmatranom mestu i ima Puasonovu raspodelu sa matematičkim očekivanjem (λ_i), a matematičko očekivanje frekvencije nesreća je jednako odstupanju $E[Y_i|\lambda_i] = D[Y_i|\lambda_i]$. Logaritamska funkcija za matematičko očekivanje se može definisati kao $\lambda_i = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)$, gde je x_i vektor nezavisne promenljive, a β_i vektor regresionog parametra koji će biti procenjen iz podataka.

Za problem preterane disperzije se obično razmatra negativna binomna (NB) raspodela umesto Puasonove raspodele. U NB raspodeli kod koje je matematičko očekivanje $E[y_i|\lambda_i, \emptyset] = \lambda_i$, pretpostavlja se da je odstupanje kvadratna funkcija matematičkog očekivanja, $D[y_i|\lambda_i, \emptyset] = \lambda_i(1 + \lambda_i\emptyset)$, gde je \emptyset disperzioni parameter koji će biti procenjen. Parametar preterane disperzije može biti identifikovan razmatranjem prvo Puasonove, pa NB raspodele, a zatim testiranjem nekim od statističkih testova. Tako da testiranje NB raspodele predstavlja sledeći korak u analizi podataka.

Da bi se rešili problema viška nula, u podacima prema [18] se predlaže Puasonov model sa viškom nula (ZIP), gde se proračun generiše iz dva izvora. Jedan izvor predstavlja stanje koje reflektuje sadržaje nula dok drugo predstavlja normalan proces

računanja koji prati Puasonovu raspodelu. U radu [18] se predlaže ZIP regresioni model koji podrazumeva da su događaji, $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$, nezavisni i gde je p_i verovatnoća da se pojavi višak nula u analiziranim podacima. Ako je $Y_i = 0$, srednja vrednost i odstupanje zavisne promenljive Y ZIP modela su $E(y_i) = (1 - p_i)\lambda_i$ i $Var(y_i) = \lambda_i(1 - p_i)(1 + \lambda p_i)$. Ako je $p_i = 0$, nema višak nula i srednja vrednost ZIP modela je jednaka srednjoj vrednosti Puasonovog modela.

Dok ZIP model može da se nosi sa problemom viška nula, on ne razmatra mogućnost da je problem preterane disperzije zapravo prouzrokovan oboma, skrivenom nehomogenosti i viškom nula. Da bi se nosili sa ova dva moguća izvora preterane disperzije, mnogo fleksibilniji model može biti negativni binomni model sa viškom nula (ZINB), [16]. Matematičko očekivanje i odstupanje ZINB modela su dati kao $E[y_i|\lambda_i, \psi_i, \emptyset] = \lambda_i(1 - \psi_i)$ i $D[y_i|\lambda_i, \psi_i, \emptyset] = \lambda_i(1 - \psi_i) \cdot [1 + \lambda_i(\psi_i + 1/\emptyset)]$.

Zbog velikog procenta nula u podacima, razmotreno je i korišćenje ZINB modela. Naredni koraci predstavljaju svakako ocenu ZIP i ZINB modela.

Parametri u modelima su procenjeni korišćenjem metodom maksimalne verodostojnosti (MLE). Analize su sprovedene korišćenjem R kompjuterskog programa sa metodom korak po korak. Funkcija Akaike informacioni kriterijum (AIC) je korišćena za automatski proces selekcije korak po korak. Akaike informacioni kriterijum se računa kao $AIC = -2 \log L + 2k$, gde je k broj parametara koji se procenjuju u modelu. Regresioni model sa manjom vrednošću AIC je bolji.

Za statističku ocenu modela korišćena je Vuongova statistika koja se obeležava sa V i koristi se za poređenje modela različitog tipa prema [15] i [20]. Vuongova statistika se računa kao $V = \sqrt{n}(\bar{L})/S_L$, gde je $\bar{L} = (1/n) \sum_{i=1}^n L_i$, S_L standardno odstupanje od L_i , a n je veličina uzorka. Kako V statistika prati standardnu normalnu raspodelu $N(0, 1)$, može da se poredi sa z - vrednošću.

Smatra se da postoji značajna razlika u modelima ukoliko je p vrednost testa manja od 0.05. Ako je statistika V pozitivna, onda je bolji prvi model, a ako je negativna, bolji je drugi uz uslov da postoji značajna razlika.

Velika pozitivna vrednost $V = 5.84$, $p = 2.56 \cdot 10^{-9}$ potvrđuje prisustvo preterane disperzije u podacima zbog viška nula i podržava ZIP model. Provereno je takođe da li postoji neki drugi značajan uzročnik preterane disperzije koji može da dovede do toga da je ZINB model prikladniji. Međutim, Vuongov test je pokazao da je ZIP model

donekle bolji od ZINB modela, $V = 2.15, p = 0.016$. Dakle, podacima najviše odgovara ZIP model. U tabeli 4.1 data je ocena modela korišćenjem Vuongove statistike.

Tabela 4.1 Ocena modela Vuongovom statistikom

prvi model	drugi model	Vrednost statistike V	p vrednost testa	bolji model	odgovarajući model
Puasonov	NB	$V = 3.60$	$p = 1.70 \cdot 10^{-6}$	NB	ZIP
NB	ZIP	$V = 5.84$	$p = 2.56 \cdot 10^{-9}$	ZIP	
ZIP	ZINB	$V = 2.15$	$p = 0.016$	ZIP	

Rezultati ZIP modela frekvencije nesreća su predstavljani u tabeli 4.2. Uzeto je da je $|z - statistika| > 1.96$ značajna za interval pouzdanosti 95%.

Tabela 4.2 Procenjeni parametri za Ziro inflated Poisson (ZIP) model

Opis promenljivih	Promenljive	Koeficijenti	Standardna greška	z- vrednost	$P_r(> z)$
	Model count				
Konstanta	Constant	-1.668311	0.286504	-5.823	5.78e-09 ***
Drumska sign.	VOSIG	0.984231	0.165547	5.945	2.76e-09 ***
Branici	VOBR	-1.393927	0.318764	-4.373	1.23e-05 ***
Širina pp	SIRPPB	-0.529569	0.155016	-3.416	0.000635 ***
Izlož. prel. saobr.	EXPO	0.020473	0.004739	4.320	1.56e-05 ***
Maks.brz.voza	MBRZ	0.121956	0.028036	4.350	1.36e-05 ***
Broj koloseka	BRKOLB	-0.370467	0.180435	-2.053	0.040054 *
Vrsta kolovoza	VRKOLA	-0.228014	0.137161	-1.662	0.096438 .
Nekat. put	KPPNP	0.188406	0.146658	1.285	0.198911
Log(theta)		-1.32206	0.16742	-7.896	2.87e-15 ***
	Model zero				
Konstanta	Constant	-1.15969	1.62568	-0.713	0.475624
Drumska sign.	VOSIG	2.01205	1.29311	1.556	0.119713
Branici	VOBR	-0.57953	2.78558	-0.208	0.835192
Širina pp	SIRPPB	-22.42394	1203.799 80	-0.019	0.985138
Izlož. prel. saobr.	EXPO	-0.05782	0.05966	-0.969	0.332495
Maks. brz. voza	MBRZ	0.07755	0.14216	0.546	0.585379
Broj koloseka	BRKOLB	0.46173	1.06930	0.432	0.665884
Vrsta kolovoza	VRKOLA	-3.86016	1.23258	-3.132	0.001738 **
Nekat. put	KPPNP	3.77062	1.13544	3.321	0.000897 ***
Log-likelihood: -509.4 on 18 Df					
AIC: 1054.79					

Nadalje je dat osvrt na rezultate konačnog ZIP modela frekvencije nesreća na putnim prelazima. Osam promenljivih od 17 koliko ih je bilo uključeno u proces modeliranja je prihvaćeno u modelu kod kojih zavisna promenljiva uzima vrednost prirodnih brojeva (count model), kao i u modelu koji uključuje nule (zero model).

Vrsta osiguranja

Promenljive koje ukazuju na najveći nivo osiguranja koji je primenjen na putnom prelazu su visoko značajne. Od četiri dihotomne promenljive model je isključio promenljivu vrsta osiguranja polubranici (VOPB), koja je postala referentna promenljiva za promenljive koje se odnose na sisteme osiguranja. Prema tome, koeficijenti ostalih vrsta osiguranja koji su uključeni se interpretiraju u odnosu na referentni nivo i mere porast verovatnoće nesreća u odnosu na referentni slučaj, polubranike (VOPB). Pokazalo se da je ocenjeni koeficijent nezavisne promenljive za drumsku signalizaciju (VOSIG) pozitivan. Ovo znači da je broj nesreća na prelazima sa pasivnim sistemom osiguranja raste u odnosu na prelaze sa polubranicima. U konačnom modelu promenljiva vrsta osiguranja svetlosna signalizacija (VOSV) nema uticaja, te je model nije prihvatio, a verovatno je razlog tome mali broj prelaza osiguranih ovim sistemom. Promenljiva vrsta osiguranja branici (VOBR) ima negativan koeficijent. To znači da su branici u poređenju sa polubranicima sigurnije tehničko rešenje. Međutim, praksa je na Železnicama Srbije da se ovaj sistem zamenjuje sa automatskim polubranicima.

Karakteristike saobraćaja

Ocenjeni koeficijent nezavisne promenljive izloženost putnog prelaza saobraćaju je takođe pozitivan. Broj vozova i broj drumskih vozila su obično prve promenljive koje se posmatraju prilikom razvoja modela za predviđanje nesreća. Intuitivno se može reći da putni prelazi sa većom izloženošću saobraćaju mogu kao rezultat dati veću verovatnoću nesreća. Što je veći drumski saobraćaj na putu, više vozila je izloženo konfliktnoj situaciji sa nailazećim vozovima, te je i verovatnoća da se desi nesreća veća.

Ocenjeni koeficijent nezavisne promenljive brzine voza je pozitivan, drugim rečima, što je brzina vozova veća, veća je i frekvencija nesreća. Inače veća brzina vozova, prema modelima za predviđanje nesreća, povezana je sa većim brojem nesreća. Objašnjenje za ovakvu ocenu je što vozač koji je odlučio da ne poštuje saobraćajnu

signalizaciju ili da zaobilazi polubranike nije u mogućnosti da dobro proceni brzinu voza. Kada vozovi saobraćaju manjom brzinom, moguće je uočiti opstrukciju i izbeći nesreću, dok kod vozova koji saobraćaju većom brzinom to nije slučaj.

Karakteristike putnog prelaza

Širina putnog prelaza kao i broj koloseka su faktori koji su se pokazali da imaju uticaja na frekvenciju nesreća.

Interesantno je da karakteristike putnog prelaza kao što su geometrija puta i pruge (ugao ukrštanja pruge i puta i trougao preglednosti), kao i vrsta kolovoza nemaju značajnog uticaja na frekvenciju nesreća na posmatranim putnim prelazima. Parametri putnog prelaza, kategorija pruge i kategorija puta takođe nemaju uticaja.

Ovde se svakako može izvući zaključak vezan za preporuke mera kako bi se prelazi učinili sigurnijim. Širina putnog prelaza koja je u zavisnosti sa rangom puta, kao i broj koloseka su faktori na koje donosioci odluka ne mogu da utiču osim zatvaranja prelaza ili njihove denivelacije. Model je takođe pokazao da poboljšanje geometrije prelaza, kao mera koju inženjeri mogu da koriste kako bi učinili prelaze bezbednijim, ne bi imalo značajnijeg uticaja na broj nesreća. Svakako bi trebalo razmotriti poboljšanja u podizanju nivoa osiguranja na putnim prelazima.

Očekivani broj nesreća na svakom putnom prelazu za period od pet godina $E(N_{ijm})$, a prema formuli (2.16) se računa za odnosni model frekvencije nesreća prema sledećem:

$$E(N_{im}) = \{1 - [\exp(-1.1597 + 2.0123 \cdot VOSIG - 0.5795 \cdot VOBR - 22.4239 \cdot SIRPP - 0.0578 \cdot EXPO + 0.0775 \cdot MBRZ + 0.4617 \cdot BRKOLB - 3.86016 \cdot VRKOLA + 3.7706 \cdot KPPNP) \cdot [\exp(-1.6683 + 0.9842 \cdot VOSIG - 1.3939 \cdot VOBR - 0.5296 \cdot SIRPP + 0.02205 \cdot EXPO + 0.1219 \cdot MBRZ - 0.3705 \cdot BRKOLB - 0.2280 \cdot VRKOLA + 0.1884 \cdot KPPNP)]]\}$$

gde su:

$E(N_{im})$ – očekivani broj nesreća, na putnom prelazu i za posmatrani model m

$VOSIG$ – vrsta osiguranja drumska signalizacija,

$VOBR$ – vrsta osiguranja branici,

$SIRPP$ – širina putnog prelaza,

$EXPO$ – proizvod dnevnog broja drumskih vozila i vozova,

MBRZ – maksimalna brzina voza prema redu vožnje,

BRKOLB – broj koloseka,

VRKOLA – vrsta kolovoza,

KPPNP – kategorija puta poljoprivredni i nekategorisani put.

U tabeli 4.3 data je saglasnost ZIP modela sa podacima tj. posmatrana i očekivana frekvencija nesreća prema dobijenom modelu.

Tabela 4.3 Saglasnost ZIP modela sa podacima:
posmatrana i očekivana frekvencija nesreća

Broj nesreća ($Y = y$)	Posmatrana frekvencija nesreća	Predviđena frekvencija nesreća
$y = 0$	514	531
$y = 1$	180	146
$y = 2$	35	49.1
$y = 3$	6	14.5
$y = 4$	6	3.9
$y \geq 5$	4	1.6
Ukupno	745	746

4.2 Model posledica nesreća na putnim prelazima

U ovom delu je predstavljen multinomni logistički model da bi se istražila veza između zavisne promenljive $Y = y$, koja je predstavljena u tri nivoa, $y = 0, 1, 2$, i nezavisnih promenljivih. U ovom modelu su posmatrane iste zavisne promenljive kao i u modelu frekvencije nesreća, da bi se istražio njihov uticaj na posledice nesreća (datih u tabeli 3.1). Zavisna promenljiva u ovom modelu je posledica nesreća, broj mrtvih i povređenih lica u periodu od 2007. do 2011. (tabela 3.2). Kombinovana je baza podataka o putnim prelazima i baza podataka o nesrećama, kao što je to objašnjeno ranije.

Za svaki putni prelaz definisana je ozbiljnost posledica kao ekvivalent povrede podeljeno sa frekvencijom nesreća na tom putnom prelazu. To zapravo predstavlja prosečan ekvivalent povrede po nesreći za dati vremenski period posmatranja. Ekvivalent povrede je objašnjen u prvom delu. Frekvencija zavisne promenljive u periodu od pet godina je prikazana u tabeli 3.2.

Neka je $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_{17})$ vektor sa 17 nezavisnih promenljivih primenjenih na putne prelaze. Ovde je x_1 binarna promenljiva koja predstavlja kategoriju pruge i 1 je za magistralne, a 0 za ostale pruge. x_2 predstavlja izloženost prelaza saobraćaju. x_3 je maksimalna brzina voza. x_4 je binarna promenljiva za broj koloseka gde je 1 za jedan kolosek i 0 za dva i više koloseka. x_5 predstavlja vrstu kolovoza na prelazu, gde je 1 za asfalt, armirano-betonske ploče i gumene panele, a 0 za kamenu kocku, drvene pragove i lomljeni kamen. Promenljive $x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$ se koriste da bi predstavile kategoriju puta, gde je $(1,0,0,0,0)$ za magistralni put; $(0,1,0,0,0)$ za regionalni put; $(0,0,1,0,0)$ za seoski i lokalni put; $(0,0,0,1,0)$ za poljoprivredni i nekategorisani put i $(0,0,0,0,1)$ za ulicu. x_{11} je binarna promenljiva za širinu putnog prelaza, koja je 1 za prelaze širine $\leq 6m$, a 0 za prelaze $> 6m$. x_{12} je binarna promenljiva za trougao preglednosti, koja je 1 ukoliko trougao preglednosti postoji i 0 ukoliko ne postoji. x_{13} je binarna promenljiva za ugao ukrštanja, koja je 1 za ugao od 60 do 90 stepeni i 0 za ugao do 60 stepeni. Promenljive $x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}$ se koriste za sisteme osiguranja na prelazima koja je $(1,0,0,0)$ za vertikalnu drumsku signalizaciju; $(0,1,0,0)$ za svetlosnu signalizaciju; $(0,0,1,0)$ za branike i $(0,0,0,1)$ za polubranike.

Za potrebe ovog modela su kombinovane baze podataka o putnim prelazima i baza podataka o nesrećama, kao što je to ranije objašnjeno.

Proces modelovanja posledica na putnim prelazima sproveden je korišćenjem multinomnog logističkog modela. Multinomni logistički modeli su postali popularni za analizu ovakvog tipa podataka uglavnom zato što oni mogu da računaju brojevu (count) prirodu zavisne promenljive.

Neka je $\pi_j(\mathbf{x}) = P(Y = j; \mathbf{x})$ verovatnoća da je $Y = j, j = 0, 1, 2$. Multinomni logistički model se definiše na sledeći način:

$$\text{logit}[\pi_j(\mathbf{x})] = \log \frac{\pi_j(\mathbf{x})}{\pi_0(\mathbf{x})} = \alpha_j + \mathbf{x}\beta_j, \quad j = 1, 2. \quad (4.1)$$

Ovde je α_j slobodni parametar, a $\beta_j = (\beta_{j1}, \beta_{j2}, \dots, \beta_{j17})^T$ je sedamnaestodimenzioni vektor regresionih parametara za j -tu vrednost zavisne promenljive. Iz (4.1) uzevši da je $\alpha_0 = 0$ i $\beta_0 = 0$ dobija se:

$$\pi_j(\mathbf{x}) = \frac{\exp(\alpha_j + \mathbf{x}\beta_j)}{\sum_{k=0}^2 \exp(\alpha_k + \mathbf{x}\beta_k)}, \quad j = 0, 1, 2 \quad (4.2)$$

Analize su sprovedene korišćenjem R kompjuterskog programa sa metodom korak po korak. Akaike informacijski kriterijum (AIC) je korišćen za automatski proces selekcije korak po korak. Parametri u multinomnom logističkom modelu ocenjeni su metodom maksimalne verodostojnosti (MLE). Neka su $(\hat{\alpha}_j, \hat{\beta}_j)$ parametri koji su procenjeni metodom MLE od (α_j, β_j) , $j = 0, 1, 2$, sa $(\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0) = (0, \mathbf{0})$ zato što je (α_0, β_0) uzeto kao $(0, \mathbf{0})$, gde je $\hat{\beta}_j = (\hat{\beta}_{j1}, \hat{\beta}_{j2}, \dots, \hat{\beta}_{j17})^T$.

Rezultati procesa modeliranja za model posledica na putnim prelazima su dati u tabeli 4.4.

Tabela 4.4 Procenjeni parametri u multinomnom logističkom modelu

Promenljive	Težina posledice ($y = 1$)		Količnik relativnih rizika (RRR) za interval poverenja 95%	Težina posledice ($y = 2$)		Količnik relativnih rizika (RRR) za interval poverenja 95%
	Koeficijenti/SE		RRR (95% CI)	Koeficijenti/SE		RRR (95% CI)
Konstanta	-5.76	0.694***	-	-5.55	0.826***	-
VOSIG	1.33	0.385***	3.78(1.78, 8.04)	0.65	0.428	1.92(0.83, 4.44)
VOBR	-1.28	0.667	0.28(0.08, 1.03)	-1.93	1.051	0.15(0.02, 1.14)
SIRPPB	1.26	0.297***	3.53(1.97, 6.31)	1.2	0.378**	3.33(1.58, 6.98)
MBRZ	0.22	0.068**	1.24(1.09, 1.42)	0.12	0.083	1.12(0.95, 1.32)
EXPO	0.08	0.015***	1.08(1.05, 1.11)	0.05	0.017**	1.05(1.02, 1.09)
BRKOLB	-0.87	0.427*	0.42(0.18, 0.97)	-0.36	0.463	0.7(0.28, 1.73)
KATPRM	-0.39	0.311	0.67(0.37, 1.24)	0.74	0.43	2.09(0.9, 4.87)
Residual Deviance: 668.53						
AIC = 700.53						

SE - standardno odstupanje

Stepen značajnosti: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Fitovanjem multinomnog logističkog modela z -testom pokazalo se da postoji povezanost između ozbiljnosti posledica nesreća i drumske signalizacije, branika, širine putnog prelaza, maksimalne brzine voza, izloženosti prelaza saobraćaju, broja koloseka i kategorije pruge magistralna pruga ($p = 0.00055; 0.055; 2.1 \cdot 10^{-5}; 0.0014; 4.3 \cdot 10^{-7}; 0.041; 0.21$ za kategoriju pruge), kod težine posledica $y = 1$. Kod težine posledica $y = 2$, za iste promenljive $p = 0.13; 0.066; 1.5 \cdot 10^{-3}; 0.17; 2.7 \cdot 10^{-3}; 0.44; 0.086$ za kategoriju pruge.

Efekte gore pomenutih nezavisnih promenljivih na težinu posledica nesreća na putnim prelazima ćemo interpretirati preko količnika relativnog rizika (relative risk ratio – RRR), za sedam nezavisnih promenljivih koje je model prihvatio. U tabeli 4.4 dati su

rezultati (količnik relativnih rizika) RRR procene za $y = 1$ i $y = 2$, kao i intervali poverenja za ovu procenu za 95% CI. Referentna grupa je $y = 0$.

Količnik relativnog rizika predstavlja odnos verovatnoća uspeha u okviru dve grupe. U ovom slučaju, tj. kada je zavisna promenljiva predstavljena u tri nivoa, RRR je:

$$RRR = (P(Y = 1 | X = 1)) / (P(Y = 1 | X = 0)) = (\pi(1)) / (\pi(0)) \text{ i}$$

$$RRR = (P(Y = 1 | X = 2)) / (P(Y = 1 | X = 0)) = (\pi(2)) / (\pi(0)).$$

Ocenjeni koeficijent nezavisne promenljive osiguranja putnog prelaza drumskom signalizacijom je takođe pozitivan.

RRR je $\hat{\beta}_{1;14} = \exp(1.33) = 3.78$, 95% CI (1.78, 8.04) kod drumske signalizacije. Ukoliko se drumska signalizacija zameni sa polubranicima, odnos verovatnoća da se nesreća neće desiti, $y = 0$, nego da će se desiti posledica, $y = 1$, povećava se između (1.78, 8.04) puta. Međutim, RRR je $\hat{\beta}_{2;14} = \exp(0.65) = 1.92$, 95% CI (0.83, 4.44), što je statistički značajna promena za $y = 0$ nego u odnosu na $y = 2$. Ova ocena bi značila da podizanje nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike ima veći uticaj na sprečavanje lakših nego težih posledica. Promenljiva branici ima negativan koeficijent. To znači da su branici u poređenju sa polubranicima sigurnije tehničko rešenje.

Uticaj širine putnog prelaza bi mogao da bude značajan iz razloga povećane frekvencije drumskog saobraćaja, jer što je rang puta veći, veća je i širina puta. RRR je $\hat{\beta}_{1;11} = \exp(1.26) = 3.53$, 95% CI (1.97, 6.31) što je statistički značajna promena za $y = 0$ u odnosu na $y = 1$. Dok je za $y = 2$, RRR je $\hat{\beta}_{2;11} = \exp(1.20) = 3.33$, 95% CI (1.58, 6.98). Može se zaključiti da ova promenljiva ima skoro podjednak uticaj na povrede i smrtnost.

Kod brzine voza koeficijent procene je pozitivan, a to znači što je brzina vozova veća, veće je i ozbiljnost posledica.

RRR je $\exp(\hat{\beta}_{1;4} = \exp(0.22) = 1.24$, 95% CI (1.09, 1.42), što je statistički značajna promena za $y = 1$ u odnosu na $y = 0$, ako se brzina voza poveća za 1 km/h. RRR je $\exp(\hat{\beta}_{2;4} = \exp(0.12) = 1.12$, 95% CI (0.95, 1.32), što je statistički značajna promena za $y = 2$ u odnosu na $y = 0$, ako se brzina voza poveća za 1 km/h.

Ocenjeni koeficijent uz nezavisnu promenljivu izloženosti prelaza saobraćaju je takođe pozitivan. Drugim rečima, što je veća izloženost putnog prelaza saobraćaju, posledice nesreća su veće. Može se primetiti da je *RRR* za $\hat{\beta}_{1,2} = \exp(0.08) = 1.08$, 95% CI (1.05, 1.11), što je statistički značajna promena za $y = 1$ u odnosu na $y = 0$, ako se broj vozova i broj drumskih vozila poveća za jednu jedinicu. Takođe je *RRR* od $\hat{\beta}_{2,2} = \exp(0.05) = 1.05$, 95% CI (1.02, 1.09), što je statistički značajna promena za $y = 2$ u odnosu na $y = 0$, ako se broj vozova i drumskih vozila poveća za jednu jedinicu.

Ocenjeni koeficijent uz nezavisnu promenljivu broj koloseka na putnom prelazu je negativan. *RRR* za $\hat{\beta}_{1,4} = \exp(-0.87) = 0.42$, 95% CI (0.18, 0.97), što je statistički značajna promena za $y = 1$ u odnosu na $y = 0$. Takođe je *RRR* od $\hat{\beta}_{2,4} = \exp(-0.36) = 0.7$, 95% CI (0.28, 1.73), što je statistički značajna promena za $y = 2$ u odnosu na $y = 0$. Ovo znači da se povećanjem broja koloseka (smanjenjem vrednosti promenljive x_4 sa 1 na 0) povećava se i ozbiljnost posledica $y = 1$ i $y = 2$.

Može se primetiti da je *RRR* za $\hat{\beta}_{1,1} = \exp(-0.39) = 0.67$, 95% CI (0.37, 1.24), što je statistički značajna promena za $y = 1$ u odnosu na $y = 0$ kod magistralnih pruga. Takođe je *RRR* od $\hat{\beta}_{2,1} = \exp(0.74) = 2.03$, 95% CI (0.90, 4.87), što je statistički značajna promena za $y = 2$ u odnosu na $y = 0$. Ovo znači da se kod magistralnih pruga smanjuje se ozbiljnost $y = 1$, a povećava se ozbiljnost $y = 2$.

Kada se radi o promenljivama koje određuju karakteristike saobraćaja, tri promenljive su se pokazale značajne u prouzrokovanju ozbiljnosti posledica nesreća na putnim prelazima. Istraženo je da veći broj vozova i drumskih vozila utiče na posledice nesreća. Ovo je direktno saglasno, pošto veća frekvencija drumskog i železničkog saobraćaja dovode do veće mogućnosti za konflikt na mestu ukrštanja ta dva vida saobraćaja.

Takođe, što je veća maksimalna brzina vozova prema redu vožnje, povećava se verovatnoća da se desi veći broj povređenih učesnika u saobraćaju. Međutim, pokazalo se da povećanje brzine vozova nema direktnog uticaja na smrtnost.

U modelu se pokazalo da prisustvo drumske signalizacije utiče na povećanje posledica nesreća. Ostale vrste osiguranja, polubranici i branici, redukuju težinu posledica nesreća na posmatranim putnim prelazima.

Interesantno je primetiti da karakteristike putnog prelaza kao što su geometrija puta i pruge (ugao ukrštanja pruge i puta i trougao preglednosti), kao i vrsta kolovoza, model nije prihvatio kao promenljive od značajnog uticaja na posledice neseća na posmatranim putnim prelazima.

Očekivana verovatnoća posledice nesreća na svakom putnom prelazu za period od pet godina π_{1im} i π_{2im} se računa prema (2.26) za predloženi model posledica nesreća preko RRR-a:

$$RRR1 = \exp(-5.76 + 1.33 \cdot VOSIG - 1.28 \cdot VOBR + 1.26 \cdot SIRPP + 0.22 \cdot MBRZ + 0.08 \cdot EXPO - 0.87 \cdot BRKOLB - 0.39 \cdot KATPRM)$$

gde su:

$RRR1$ – odnos vrovatnoća $y = 1$ i $y = 0$,

$VOSIG$ – vrsta osiguranja drumska signalizacija,

$VOBR$ – vrsta osiguranja branici,

$SIRPP$ – širina putnog prelaza,

$EXPO$ – proizvod dnevnog broja drumskih vozila i vozova,

$MBRZ$ – maksimalna brzina voza prema redu vožnje,

$BRKOLB$ – broj koloseka,

$KATPRM$ – kategorija pruge magistralna pruga,

$$RRR2 = \exp(-5.55 + 0.65 \cdot VOSIG - 1.93 \cdot VOBR + 1.2 \cdot SIRPP + 0.12 \cdot MBRZ + 0.05 \cdot EXPO - 0.36 \cdot BRKOLB + 0.74 \cdot KATPRM)$$

$RRR2$ – odnos verovatnoća $Y = 2$ i $Y = 0$

Preko ovih količnika rizika ili količnika verovatnoća računaju se same verovatnoće:

π_{1im} – verovatnoća posledice nesreća na svakom putnom prelazu i za period od pet godina za $y = 1$ i usvojeni model m , prema 4.3.

π_{2im} – verovatnoća posledice nesreća na svakom putnom prelazu i za period od pet godina za $y = 2$ i usvojeni model m , prema 4.4.

$$\pi_{1im} = \frac{RRR_1}{1 + RRR_1 + RRR_2} \quad (4.3)$$

i

$$\pi_{2im} = \frac{RRR_2}{1 + RRR_1 + RRR_2} \quad (4.4)$$

Srednja težina posledice po nesreći je:

$$E = \pi_{1im} + 2 \times \pi_{2im} \quad (4.5)$$

4.2.1 Primena modela posledica nesreća

Multinomni logistički model je korišćen da bi se prilagodili podaci o težini posledica putnim prelazima u Srbiji. Ovde će biti reči o primeni i interpretaciji multinomnog logističkog modela sa podacima o težini posledica na putnim prelazima u Srbiji. Ti rezultati mogu da budu od koristi za redukciju težine posledica u budućnosti.

Ovaj deo opisuje analizu osetljivosti na osnovu predviđene verovatnoće posledica da bi se identifikovali oni rizični faktori koji imaju značajan uticaj na posledice nesreća na putnim prelazima u Srbiji.

Predviđena verovatnoća ozbiljnosti posledica, za datu grupu nezavisnih promenljivih, može da se izračuna kao funkcija ocena dobijenih nepoznatih parametara dobijenih metodom *MLE* ($\hat{\alpha}_j, \hat{\beta}_j$), $j = 1, 2$ (Tabela 4.4) i $(\hat{\alpha}_0, \hat{\beta}_0) = (0, \mathbf{0})$ u formulu (4.3) prema sledećem:

$$\hat{\pi}_j(\mathbf{x}) = \hat{P}(Y = j; \mathbf{x}) = \frac{\exp(\hat{\alpha}_j + \mathbf{x}\hat{\beta}_j)}{\sum_{k=0}^2 \exp(\hat{\alpha}_k + \mathbf{x}\hat{\beta}_k)}, \quad j = 0, 1, 2. \quad (4.6)$$

Nadalje će se analizirati predviđena verovatnoća posledica nesreća promenom dnevnog broja vozova, promenom gustine drumskog saobraćaja, kao i maksimalne brzine vozova kroz analizu osetljivosti.

4.2.2 Analiza osetljivosti

Predviđena verovatnoća težine posledica nesreća promenom dnevnog broja vozova je opisana nadalje.

Korišćenjem formule (4.6), izračunati su efekti promene nezavisnih promenljivih koje su nam od interesa na verovatnoću posledica nesreće, pod uslovom da se druge promenljive zadrže kao srednje vrednosti uzorka ili na određenim nivoima.

Na primer, može se postići predviđena verovatnoća različitih ozbiljnosti posledica, za različiti broj vozova dnevno, za dva različita sistema osiguranja. Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a maksimalna brzina voza je fiksirana na 71.5 km/h, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.

Slike 4.1, 4.2 i 4.3 pokazuju predviđene verovatnoće od $Y = j, j = 0,1,2$ posledica pri povećanju dnevnog broja vozova u opsegu od 10 do 80 vozova u podacima za težinu posledica, za dva sistema osiguranja, drumsku signalizaciju i polubranike.

Na slici 4.1 može se primetiti da se verovatnoća $Y = 0$ (tj. težina posledica za 0) sa povećanjem broja vozova dnevno smanjuje. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike su značajni.

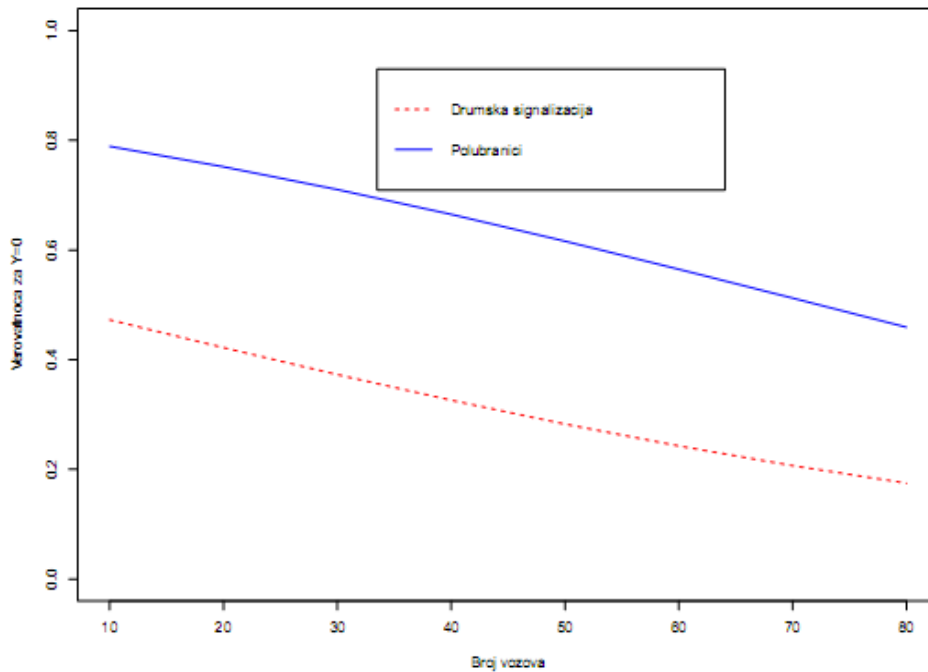
Nadalje, verovatnoća od $Y = 1$ (tj. težina posledica za 1) ima tendenciju blagog porasta sa porastom broja vozova dnevno. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike su i dalje značajni (slika 4.2).

Međutim, verovatnoća $Y = 2$ (tj. težina posledica za 2) raste brže sa porastom broja vozova dnevno. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike nisu više značajni u meri kao u prethodna dva slučaja (slika 4.3).

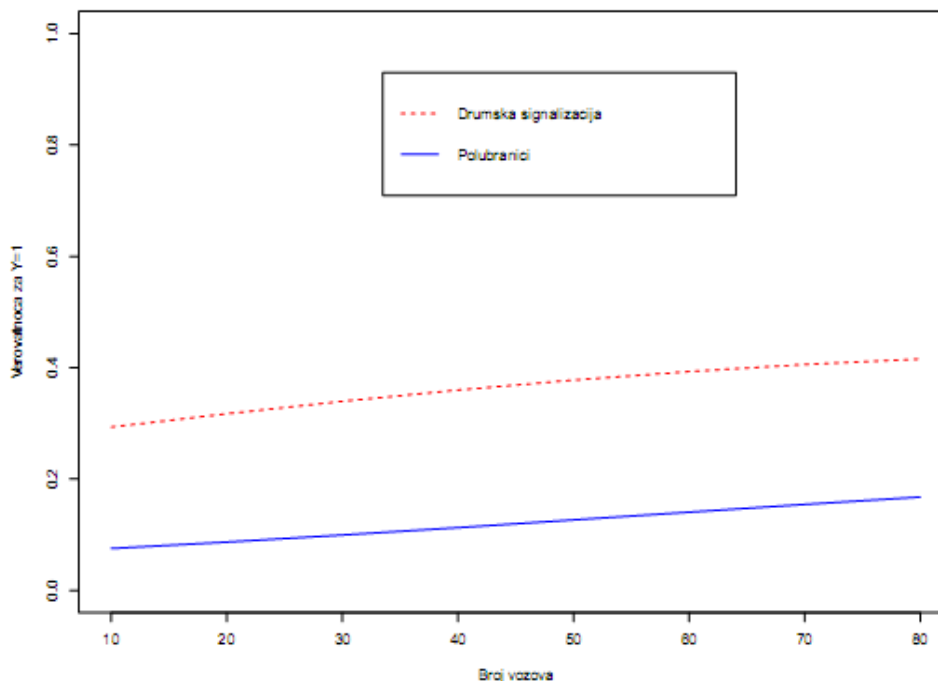
Sa ovih grafika može se videti da ozbiljnost posledica raste sa povećanjem broja vozova, kao i da događaji sa posledicama imaju veću verovatnoću dešavanja kod prelaza sa drumskom signalizacijom.

Efekti nivoa osiguranja na ozbiljnost posledica $y = 1$ su značajni. To sugeriše da ukoliko se podigne nivo osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na prugama gde je veća frekvencija železničkog saobraćaja, ili se očekuje da će biti u budućnosti, desiće se značajna redukcija u posledicama koje podrazumevaju i povređene i usmrćene učesnike u saobraćaju.

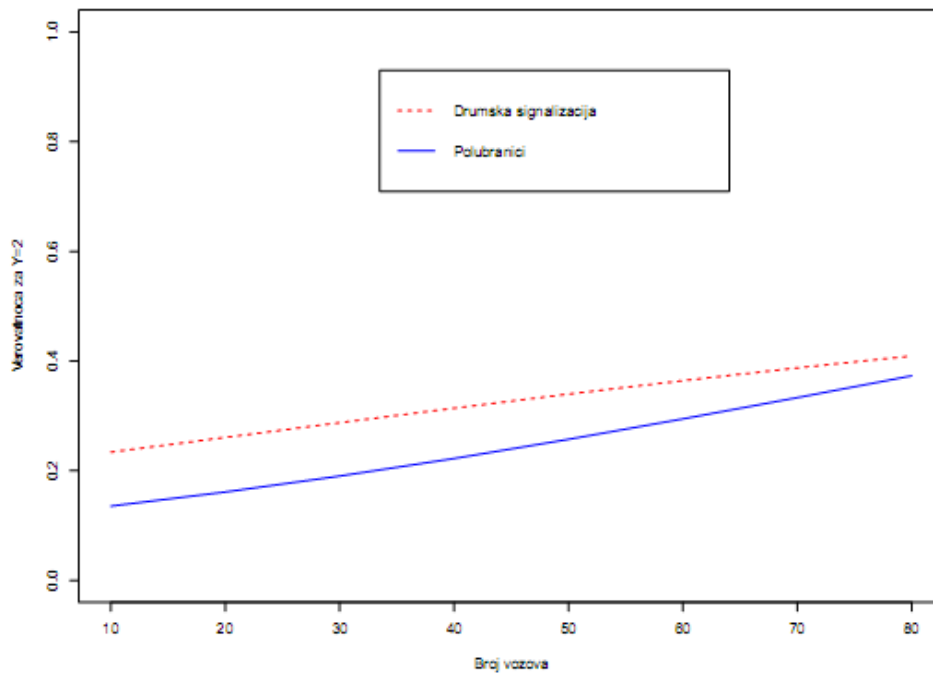
Povećanje broj vozova, u posmatranom uzorku, ima uticaja na teže posledice, međutim, efekti nivoa osiguranja na ozbiljnost teških posledica, $y = 2$, nemaju značajnijeg uticaja.



Slika 4.1 Predviđena verovatnoća da nema posledica $y = 0$ u zavisnosti od povećanja broja vozova dnevno (u opsegu od 10 do 80 vozova). Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a maksimalna brzina voza je fiksirana na 71.5 km/h, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.



Slika 4.2 Verovatnoća da su posledice $y = 1$ u zavisnosti od broja vozova dnevno (u opsegu od 10 do 80 vozova). Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a maksimalna brzina voza je fiksirana na 71.5 km/h, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.



Slika 4.3 Verovatnoća da su posledice $y = 2$ u zavisnosti od broja vozova dnevno (u opsegu od 10 do 80 vozova). Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a maksimalna brzina voza je fiksirana na 71.5 km/h, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.

Predviđena verovatnoća težine posledica nesreća promenom maksimalne dozvoljene brzine vozova prema redu vožnje je opisana nadalje.

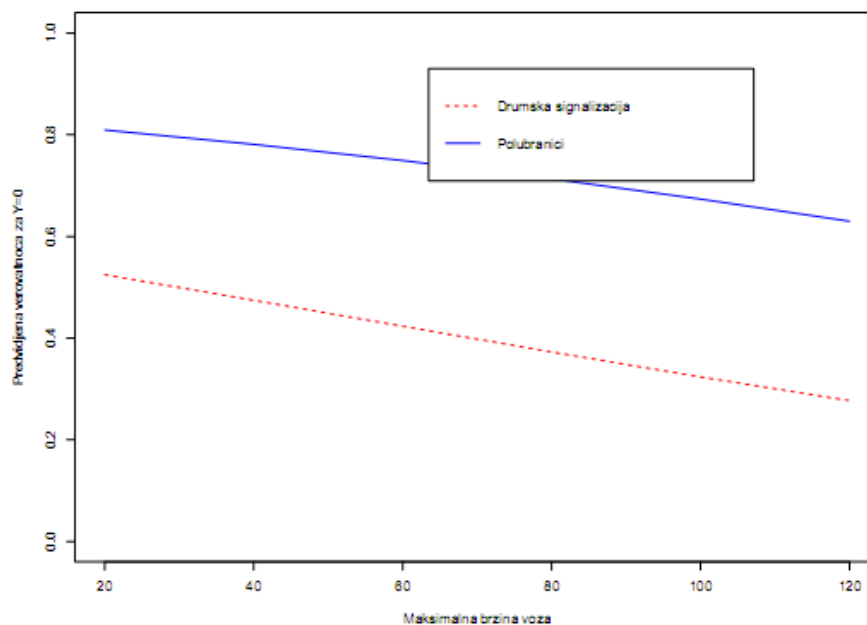
Slike 4.4, 4.5 i 4.6 pokazuju predviđene verovatnoće od $Y = j, j = 0,1,2$ posledica za povećanje maksimalne brzine vozova u opsegu od 20 do 120 km/h u podacima za težinu posledica, za dva sistema osiguranja drumsku signalizaciju i polubranike. Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a broj vozova je fiksiran na 26 vozova, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.

Na slici 4.4 vidimo da se verovatnoća $Y = 0$ (tj. težina posledica za 0) sa povećanjem maksimalne brzine vozova smanjuje. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike su značajni.

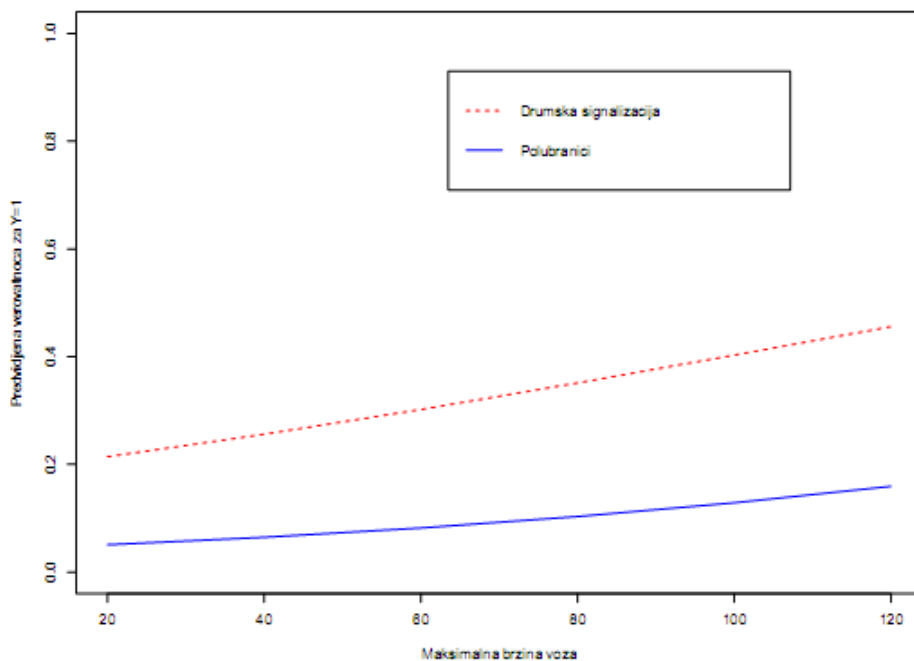
Nadalje, verovatnoća od $Y = 1$ (tj. težina posledica za 1) ima tendenciju blagog porasta sa porastom maksimalne brzine vozova. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike su i dalje značajni (slici 4.5).

Međutim, verovatnoća $Y = 2$ (tj. težina posledica za 2) nema tendenciju porasta sa porastom maksimalne brzine vozova. Efekti promene nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike nemaju značaja, (slici 4.6).

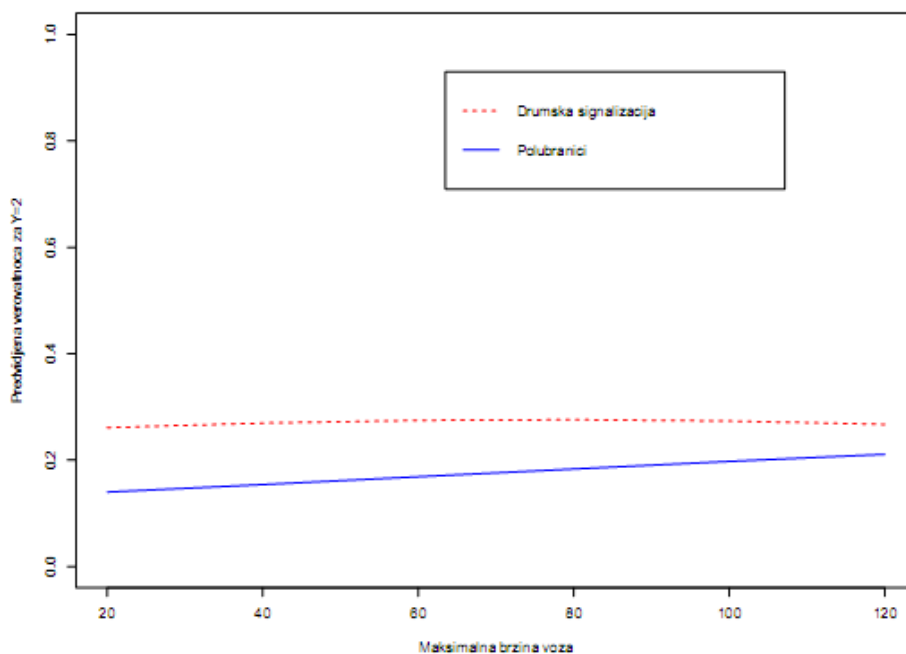
Efekti nivoa osiguranja na ozbiljnost posledica $Y = 1$ su značajni. To sugerise da ukoliko se podigne nivo osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na prugama gde su veće brzine vozova, ili se očekuje da će biti u budućnosti, došlo bi do redukcije u posledicama koje podrazumevaju usmrćene i povređene učesnike u saobraćaju, ali ne značajne.



Slika 4.4 Verovatnoća da su posledice $y = 0$ u zavisnosti od povećanja maksimalne brzine vozova (u opsegu od 20 do 120 km/h) u podacima za težinu posledica, za dva sistema osiguranja drumsku signalizaciju i polubranike. Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a broj vozova je fiksiran na 26 vozova, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.



Slika 4.5 Verovatnoća da su posledice $y = 1$ u zavisnosti od povećanja maksimalne brzine vozova (u opsegu od 20 do 120 km/h) u podacima za težinu posledica, za dva sistema osiguranja drumsku signalizaciju i polubranike. Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a broj vozova je fiksiran na 26 vozova, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.



Slika 4.6 Verovatnoća da su posledice $y = 2$ u zavisnosti od povećanja maksimalne brzine vozova (u opsegu od 20 do 120 km/h) u podacima za težinu posledica, za dva sistema osiguranja drumsku signalizaciju i polubranike. Broj drumskih vozila je fiksiran na 1 540 drumskih vozila, a broj vozova je fiksiran na 26 vozova, što predstavlja srednje vrednosti u uzorku. Tip puta je magistralni, širina putnog prelaza je 1 i ugao ukrštanja je 1.

Ukoliko se pogledaju originalni podaci, u proteklom petogodišnjem periodu (od 2007. do 2011) desilo se 40 nesreća sa ozbiljnošću posledica $y = 2$. Sedamdeset dve nesreće su se dogodile sa ozbiljnošću posledica $y = 1$ i 119 nesreća sa ozbiljnošću posledica $y = 0$.

Putni prelazi gde je najveći nivo osiguranja polubranici imaju 40% učešća u nesrećama sa najvećim nivoom ozbiljnosti posledica $y = 2$, 24% učešća u nesrećama sa nivoom ozbiljnosti posledica $y = 1$ i 34% učešća u nesrećama sa nivoom ozbiljnosti posledica $y = 0$.

ANOVA test (analiza odstupanja) je pokazao da nema statistički značajne razlike između ozbiljnosti posledica $y = 2$ i $y = 1$ kod putnih prelaza osiguranih polubranicima ($F = 6.088, p = 0.132$). Kada je reč o razlici između ozbiljnosti posledica $y = 2$ i $y = 0$, takođe nema statistički značajne razlike ($F = 1.556, p = 0.338$), kod ove vrste osiguranja. Ukoliko se poredi ozbiljnost posledica $y = 1$ i $y = 0$, statistički značajna razlika takođe ne postoji, ($F = 6.558, p = 0.125$). Iz originalnih podataka bi se dalo zaključiti da korišćenje polubranika podjednako utiče na sprečavanje nesreća sa različitim nivoom ozbiljnosti posledica.

U ovoj analizi svetlosna signalizacija nije uzeta u razmatranje jer je mali broj putnih prelaza osiguran ovim sistemom. Branici takođe nisu posmatrani jer su nesreće na putnim prelazima osiguranim ovim sistemom veoma retke.

Interesantno je da karakteristike putnog prelaza kao što su geometrija puta i pruge kao što su ugao ukrštanja pruge i puta i trougao preglednosti nemaju značajnog uticaja na posledice nesreća na posmatranim putnim prelazima.

Prema originalnim podacima, u 32.5% slučajeva gde se desila ozbiljnost posledica $y = 2$ postojala je neka forma ograničene preglednosti pruge ili nailazećeg voza. U 30.5% slučajeva gde se desila ozbiljnost posledica $y = 1$ postojala je neka forma ograničene preglednosti, a u 24.3% kod $y = 0$. Važnost ANOVA testa ukazuje da nema statistički značajne razlike između ozbiljnosti posledica $y = 2$ i $y = 1$ kod putnih prelaza sa ograničenom preglednošću ($F = 5.366, p = 0.146$). Kada je reč o razlici između ozbiljnosti posledica $y = 2$ i $y = 0$ takođe nema statistički značajne razlike ($F = 2.107, p = 0.284$), kod ograničene preglednosti. Ukoliko se poredi ozbiljnost posledica $y = 1$ i $y = 0$, statistički značajna razlika takođe ne postoji,

($F = 9.026, p = 0.095$). Iz originalnih podataka bi se dalo zaključiti da ograničena preglednost podjednako ima uticaja na različite nivoe ozbiljnosti posledica.

4.3 Statistički metod razvoja modela empirijskog rizika

Pregled prethodnih modela je pomogao da se pronađe najprikladnija forma modela empirijskog rizika. Četiri modela su istražena u ovom radu za procenu empirijskog rizika, a to su:

- 1) Puasonov regresioni model,
- 2) Negativni binomni regresioni model,
- 3) Puasonov regresioni model sa viškom nula (ZIP) i
- 4) Negativni binomni model sa viškom nula (ZINB).

Kao i prethodno kod modela frekvencije nesreća, Puasonov i NB modeli su prvi modelirani. Za statističku ocenu Puasonovog i NB modela korišćena je Vuongova statistika koja se koristi za poređenje modela različitog tipa, [15] i [20].

Vuongovim testom za upoređivanje modela različitog tipa Puasonovog i NB modela dobijeno je da je NB model bolji, $V = 4.6, p = 1.70 \cdot 10^{-6}$, što znači da u podacima postoji preterana disperzija podataka zavisne promenljive. Zbog velikog procenta nula u uzorku, razmotreno je korišćenje ZIP i ZINB modela. Zbog problema prekomerne disperzije NB raspodela se koristi u odnosu na Puasonovu raspodelu. U NB raspodeli je odstupanje kvadratna funkcija matematičkog očekivanja. Matematičko očekivanje i odstupanje NB raspodele su $E[Ey_i|\lambda_i, \emptyset] = \lambda_i$, i $Var[y_i|\lambda_i, \emptyset] = \lambda_i(1 + \frac{\lambda_i}{\emptyset})$. U tabeli 4.5 data je ocena modela Vuongovom statistikom.

Upoređivanjem Vuongovim testom NB modela i NB modela sa viškom nula (ZINB) modela, dobijeno je da je ZINB model bolji, što znači da je uzrok disperzije preveliki broj nula $V = 4.30, p = 8.34 \cdot 10^{-6}$, (tabela 4.5).

Tabela 4.5 Ocena modela Vuongovom statistikom

Prvi model	Drugi model	Vrednost statistike V	p vrednost testa	Bolji model	Izabrani model
Puasonov	NB	$V = 4.60$	$p = 1.70 \cdot 10^{-6}$	NB	ZINB
NB	ZINB	$V = 4.30$	$p = 8.34 \cdot 10^{-6}$	ZINB	
ZIP	ZINB	$V = 1.98$	$p = 0.029$	ZINB	

Upoređivanjem Vuongovim testom Puasonovog modela sa viškom nula (ZIP) i NB modela sa viškom nula (ZINB) dobijeno je da postoji značajna razlika, $V = 1.98, p = 0.029$, što znači da preterana disperzija nije samo rezultat velikog broja nula, već ona postoji i inače, pa je model koji najviše odgovara našim podacima ZINB (tabela 4.5).

Procenjeni parametri ZIP modela empirijskog rizika su dati u tabeli 4.6. Faktor koji ima najveći uticaj na predviđanje smrtnosti je maksimalna brzina voza ($p = 0.000246$). Takođe, faktori osiguranje prelaza drumskom signalizacijom ($p = 0.048910$), izloženost prelaza saobraćaju ($p = 0.353520$), širina putnog prelaza ($p = 0.098971$) i vrsta kolovoza ($p = 0.06110$) su se pored maksimalne brzine voza pokazali kao značajni u očekivanoj smrtnosti na putnim prelazima.

Tabela 4.6 Procenjeni parametri za ZINB model empirijskog rizika

Opis promenljivih	Promenljive	Parametri	Standardna greška	z – vrednost	$P_r(> z)$
	Model count				
Konstanta	Constant	-1.92575	0.66719	-2.886	0.003898 **
Drumska sign.	VOSIG	0.61786	0.31374	1.969	0.048910 *
Branici	VOBR	-2.12060	0.51974	-4.080	4.50e-05 ***
Širina pp	SIRPPB	-0.53477	0.32413	-1.650	0.098971 .
Maks. brz. voza	MBRZ	0.24049	0.06560	3.666	0.000246 ***
Izlož. prel. saobr.	EXPO	0.01082	0.01166	0.928	0.353520
Vrsta kolovoza	VRKOLA	-0.66470	0.27510	-2.416	0.015681 *
	Log(theta)	-1.32206	0.16742	-7.896	2.87e-15 ***
	Model ziro				
Konstanta	Constant	9.6129	3.8628	2.489	0.01283 *
Drumska sign.	VOSIG	-5.0953	2.0134	-2.531	0.01139 *
Branici	VOBR	-5.1807	3.1179	-1.662	0.01139 *
Širina pp	SIRPPB	-7.5990	1.7887	-4.248	2.15e-05 ***
Maks. brz. voza	MBRZ	0.8290	0.4891	1.695	0.09010 .
Izlož. prel. saobr.	EXPO	-0.9993	0.3208	-3.115	0.00184 **
Vrsta kolovoza	VRKOLA	2.8677	1.5313	-1.873	0.06110 .
Theta = 0.2666					
Log-likelihood: -447.5 on 15 Df					

Stepen značajnosti: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Očekivani empirijski rizik na svakom putnom prelazu za period od pet godina $E(N_{im})$ se računa prema formuli (2.26):

$$E(N_{im}) = \{1 - [\exp(9.6129 - 5.093 \cdot VOSIG - 5.1807 \cdot VOBR + 0.8290 \cdot MBRZ - 0.9993 \cdot EXPO + 2.8677 \cdot VRKOLA) \cdot [\exp(-1.9258 + 0.61786 \cdot VOSIG - 2.1206 \cdot VOBR - 0.5348 \cdot SIRPPB + 0.24049 \cdot MBRZ + 0.0108 \cdot EXPO - 0.6647 \cdot VRKOLA)]\}$$

gde su:

$E(N_{im})$ je očekivani broj stradalih na putnom prelazu i za dati model m ,

$VOSIG$ – vrsta osiguranja drumska signalizacija,

$VOBR$ – vrsta osiguranja branici,

$MBRZ$ – maksimalna brzina voza prema redu vožnje,

$SIRPP$ – širina putnog prelaza,

$EXPO$ – proizvod dnevnog broja drumskih vozila i vozova,

$BRKOLB$ – broj koloseka,

$VRKOLA$ – vrsta kolovoza.

U tabeli 4.7 data je saglasnost ZINB modela sa posmatranim podacima frekvencija nesreća na putnim prelazima.

Tabela 4.7 Saglasnost modela sa posmatranim podacima:
posmatrani i očekivani empirijski rizik

Broj nesreća po prelazu ($Y = y$)	Broj putnih prelaza	
	Posmatrani empirijski rizik	Očekivani empirijski rizik
$y = 0$	633	631.0
$y = 1$	45	54.9
$y = 2$	18	22.6
$y = 3$	31	12.1
$y = 4$	3	7.3
$y = 5$	15	17.1
Ukupno:	745	745

4.4 Metodologija za ocenu putnih prelaza visokog rizika

Jedan od prvih zadataka u razvoju programa za unapređenje bezbednosti za delove saobraćajne infrastrukture (npr. drumske raskrsnice, putni prelazi) je identifikacija liste istih koje evidentno imaju visok rizik za nesreće i osnovu za dalji inženjerski nadzor. Ova mesta se obično nazivaju hazardna mesta i predstavljaju kandidate za podizanje nivoa bezbednosti, kao što je instalacija novih sistema za osiguranje ili popravljjanje geometrije [15]. Proces se naziva još i identifikacija crnih tačaka ili „blackspot identification” [20] i [12]. U skorije vreme, koristi se termin identifikacija mesta koja obećavaju ili i „identification of sites with promise” [6]. Identifikacija mesta visokog rizika je polazna tačka procesa kojim se ona biraju za podizanje nivoa bezbednosti. [6].

Danas je razvijeno više modela za ocenu mesta visokog rizika i svi oni imaju neke svoje specifičnosti tj. razlikuju se prema modelima, kao i prema izboru kriterijuma za njihovo rangiranje.

Mesta visokog rizika mogu biti identifikovana rangiranjem istih prema njihovim istorijskim podacima o nesrećama. Međutim, ovaj pristup može biti veoma osetljiv na vremenske varijacije zbog slučajnosti i retkosti dešavanja nesreća. Na primer, mesta koja imaju iskustva sa velikim brojem nesreća u jednom periodu vremena ne beleže nesreće u narednom periodu. Pored toga, frekvencija nesreća na određenom mestu može da teži ka opštoj srednjoj vrednosti nesreća. Ovaj fenomen je poznat kao odstupanje od srednje vrednosti (regression to the mean) [15].

Dakle, mesta visokog rizika je veoma teško proceniti samo na osnovu istorijskih podataka o nesrećama. Umesto korišćenja ovakvog pristupa, mnogo povoljniji prihvaćeni metod za identifikaciju mesta sa visokim rizikom je pristup baziran na modelu. Ovaj metod se sastoji u rangiranju mesta visokog rizika prema dobijenim modelima regresije, korišćenjem odgovarajućih kriterijuma za rangiranje.

U radu [12] razvijena je metodologija, na bazi rizika, za identifikaciju putnih prelaza sa visokim rizikom u Kanadi. Razvijena su dva modela, model frekvencije nesreća i model posledica nesreća, oba na bazi NB regresije. Liste putnih prelaza sa visokim rizikom su napravljene na bazi oba modela tj. jedna lista za frekvenciju nesreća, a druga za posledice nesreća. Kriterijum za rangiranje je prag od 0.10% od ukupnog broja prelaza, za oba modela.

Prema [12], broj putnih prelaza visokog rizika zavisi od izabranog praga, tako da se postavlja pitanje koliki prag izabrati. Optimalan prag može se odrediti na osnovu cost-benefit analize različitih mera koje se mogu uzeti u razmatranje. U radu [11] su razvijena tri alternativna modela NB, HNB i Puasonov lognormal model frekvencije nesreća.

U radu [13] predložen je Bajesov multinomni model da bi procenili nivoe posledica za svaku osobu koja je uključena u nesreću. U odnosu na tradicionalne modele frekvencije i posledica nesreća, rizik baziran na Bajesovom pristupu objedinjuje frekvenciju nesreća i njihove očekivane posledice i na taj način može da doprinese objektivnijem i efikasnijem merenju totalnog rizika za identifikaciju mesta visokog rizika.

Totalni rizik je cilj kome težimo, a definiše se kao produkt frekvencije nesreća i njihovih posledica [5] i [13].

U ovom radu su razvijena dva kriterijuma za procenu srednjeg totalnog rizika. Prvi kriterijum je srednji totalni rizik na putnom prelazu i , koji se računa kao proizvod srednjih rizika na putnom prelazu i za model frekvencije nesreća i model posledica nesreća, prema formuli:

$$mTR_i = mFreq_i * mSev_i \quad (4.7)$$

gde su:

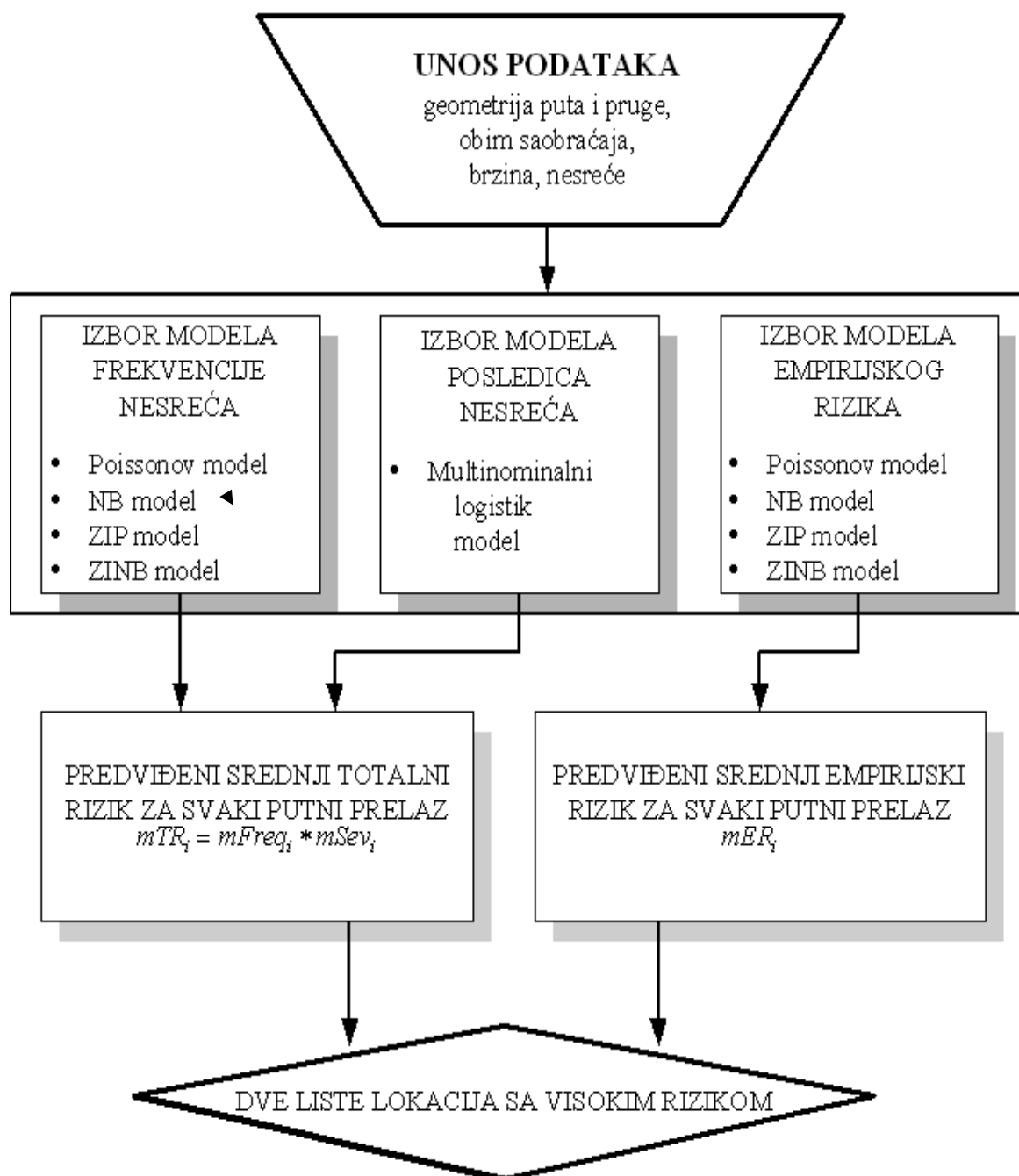
mTR_i – srednji totalni rizik na prelazu i ,

$mFreq_i$ – srednji broj nesreća dobijen iz modela za frekvencije nesreća na prelazu i ,

$mSev_i$ – ozbiljnost posledica na prelazu i .

Drugi kriterijum je procena rizika koji je zasnovan na empirijskom riziku. Ocena rizika će biti srednji empirijski rizik mER_i za svaki putni prelaz i . Ova dva pristupa smo koristili za ocenu putnih prelaza visokog rizika za putne prelaze na mreži Železnica Srbije.

Na slici 4.6 je prikazana procedura za identifikaciju prelaza visokog rizika koja je sprovedena u ovom radu.



Slika 4.6 Procedura za identifikaciju putnih prelaza visokog rizika

Napravljene su dve liste putnih prelaza visokog rizika, na osnovu dva kriterijuma. Jednu na osnovu kriterijuma srednjeg totalnog rizika (preko modela frekvencija i posledica) i drugu na osnovu kriterijuma srednjeg empirijskog rizika.

Razlike između procena nesreća, koje su dobijene iz različitih modela, biće sračunate na bazi dva merila, a to su procenat odstupanja i Spirmanov (Spearman) koeficijent korelacije.

Procenat odstupanja se može primeniti radi poređenja dva kriterijuma rangiranja za broj putnih prelaza koji su različiti na dvema listama. Za potrebe ove analize napravljene su dve različite liste sa po 100 putnih prelaza koristeći dva različita kriterijuma. Procenat odstupanja je računat za različite pragove (ili broj putnih prelaza). Na osnovu putnih prelaza koji su zajednički za obe liste napravljena je nova lista i granica je podvučena na prvih 20 putnih prelaza, što za posmatrani uzorak od 745 putnih prelaza predstavlja prag od 2.7%.

Procenat odstupanja je rezultat poređenja dva kriterijuma rangiranja, a računa se prema [15]:

$$\% \textit{ deviation} = 100 \times \left(1 - \frac{b}{m}\right) \quad (4.8)$$

gde je,

b – broj putnih prelaza visokog rizika koje su zajedničke za obe liste koje se porede, a
 m – je ukupan broj putnih prelaza visokog rizika selektovan sa vrha liste koja je sortirana prema datom kriterijumu.

Na slici 4.7 je prikazan procenat odstupanja i vidi se da što je manji prag taj je procenat veći, a blago se smanjuje sa povećanjem broja prelaza koji se uzimaju kao putni prelazi visokog rizika, a kreće se između 40% i 60%, dostižući minimalnu vrednost kad je $m = 60$. Jasno je da se razlike između ova dva kriterijuma smanjuju kako se m povećava.

Spirmanov koeficijent korelacije je neparametarska tehnika koja se obično primenjuje da bi se uvideo stepen linearne podudarnosti između dve nezavisne promenjive, [11].

Ovde je izračunat Spirmanov koeficijent korelacije da bi se izmerila korelacija između ova dva modela za ocenu rizika. Zapravo, koeficijent se koristi da izmeri stepen podudarnosti između dve liste putnih prelaza visokog rizika koje su dobijene na osnovu dva kriterijuma rangiranja i računa se prema sledećem [11]:

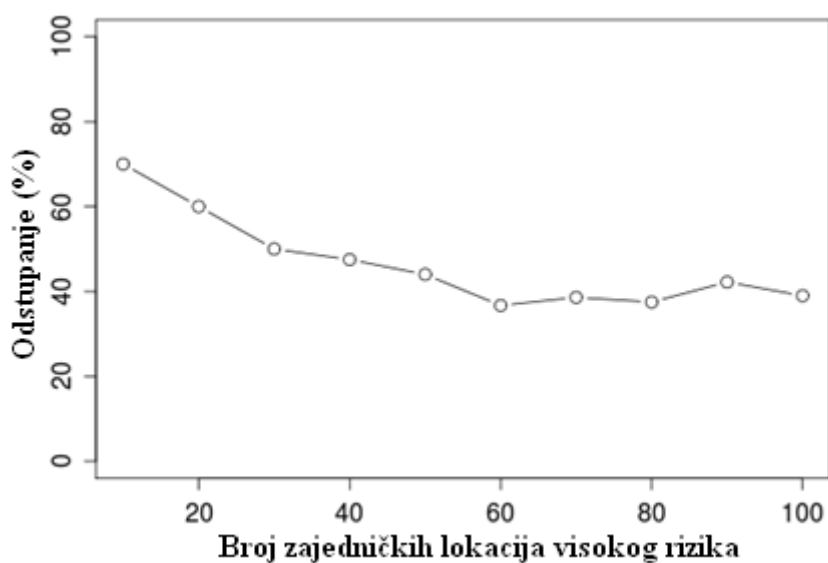
$$r = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2}{m \cdot (m^2 - 1)} \quad (4.9)$$

gde su:

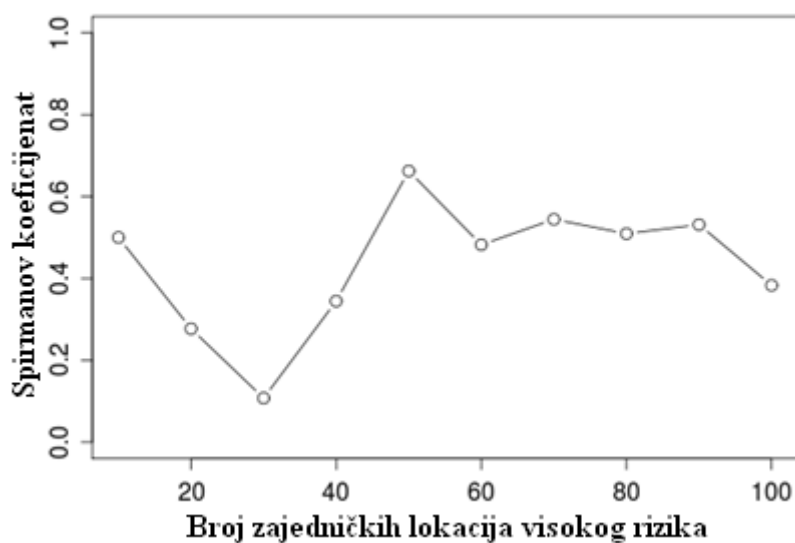
d_i – razlika u rangovima za dva modela za isti putni prelaz i ,

m – broj putnih prelaza koji su izabrani kao putni prelazi visokog rizika.

Vrednost r može da varira između $+1$ i -1 . Vrednost koja je bliža $+1$ sugeriše da su dva kriterijuma za rangiranje u pozitivnoj linearnoj korelaciji. Rezultati su na slici 4.8, može se videti sa je reč o umerenoj korelaciji $r = 0.50$. Mogući razlozi koji utiču na to da je ovaj koeficijent relativno mali su: osnovni uzorak je relativno mali i broj putnih prelaza visokog rizika je mali.



Slika 4.7 Procenat odstupanja između dve liste



Slika 4.8 Stepen podudarnosti između dve liste putnih prelaza visokog rizika

U tabeli 4.8 je prikazana lista od 20 prelaza koji su identifikovani kao putni prelazi visokog rizika koje su zajedničke za oba kriterijuma procenjivanja. Dat je podatak koliko najrizičnijih putnih prelaza spada u obe liste sa njihovim kilometarskim položajem i sistemom osiguranja. Za svaki prelaz dat je srednji totalni rizik kao i srednji empirijski rizik.

Lista predviđenih putnih prelaza uključuje putne prelaze sa drumskom signalizacijom (60%). Međutim, zabrinjavajući su upravo osigurani prelazi sa polubranicima koji su se našli na ovoj listi (40%).

Lista putnih prelaza visokog rizika u tabeli 4.8 ukazuje na to da se najveći broj prelaza (90%) nalazi na magistralnim prugama u urbanom području. Jedno od mogućih objašnjenja za ovakav rezultat je da su prelazi u urbanim područjima obično povezani sa većim obimom saobraćaja, što može da dovede do porasta očekivanog broja nesreća. Sa druge strane, srednja vrednost brzine voza za ovih 20 prelaza je 100 km/h, značajno veća od prosečne brzine od 70 km/h za posmatrani uzorak. Ovo potvrđuje rezultate iz modela, da povećanje brzine voza na putnom prelazu ima uticaja na povećanje broja povređenih i usmrćenih lica.

Tabela 4.8 Predviđeni putni prelazi visokog rizika na bazi dva modela rizika

20 prvih putnih prelaza visokog rizika	Broj pp	Km položaj	Nadležna stanica	Sistem zaštite	Srednji totalni rizik	Srednji empirijski rizik
10	87	20+993	Batajnica	PB	4.115820	2.8791869
10	28	7+070	Rakovica	DS	2.219827	2.4951900
10	94	34+694	Stara Pazova	PB	1.122700	2.5017384
20	22	253+700	Doljevac	DS	1.053470	2.1083068
20	121	74+241	Pirot	DS	1.031781	1.9904654
20	276	252+523	Niš	DS	0.945263	2.0569281
20	298	82+030	Sr. Mitrovica	PB	0.667504	4.2376806
30	27	335+818	Suva Morava	DS	0.901450	1.6701206
30	90	116+080	Šid	PB	0.831312	1.5725931
30	164	57+306	Odžaci	DS	0.651133	1.8572796
30	521	76+983	Ruma	DS	0.636696	2.6701142
30	92	74+019	Voganj	PB	0.580779	2.1799711
30	300	99+549	Sr. Mitrovica	PB	0.580779	2.1799711
30	36	94+920	Velika Plana	DS	0.557503	2.1096311
40	244	119+207	Vrbas	DS	0.854060	1.3539451
40	72	31+037	Kr. Trnovče	DS	0.733261	1.3098814
40	257	78+247	Palanka	PB	0.615450	1.2942575
40	96	97+785	Sr. Mitrovica	DS	0.561585	1.2980558
40	24	79+362	Palanka	PB	0.517875	1.2541577
40	79	26+019	Loz. Saraoci	DS	0.691485	1.2940182

Napomena: PB = polubranici; DS = drumska signalizacija; rizik je dat za period od pet godina

Potrebno je naglasiti da na mnogim od predviđenih prelaza visokog rizika nije došlo do podizanja nivoa osiguranja tokom perioda analize, što sugeriše da putni prelazi sa mogućim visokim rizikom nisu razmatrani od strane nadležnih za moguću intervenciju u cilju podizanja nivoa bezbednosti. Izuzetak su dva putna prelaza koji se nalaze na ovoj listi na prvom i trećem mestu (Batajnica i Stara Pazova). Na ove prelaze koji su osigurani polubranicima je u 2010. i 2012. godini postavljen video-nadzor. To su, za sada, jedina dva putna prelaza sa video-nadzorom do 2012. godine na našoj mreži.

Tabela 4.9 Putni prelazi visokog rizika na bazi frekvencije nesreća i posledica nesreća na bazi istorijskih podataka (2007–2011)

20 prvih putnih prelaza visokog rizika	Broj pp	Km položaj	Nadležna stanica	Sistem zaštite	Broj pp	Km položaj	Nadležna stanica	Sistem zaštite
	na osnovu istorijskih podataka o frekvencija nesreća				na osnovu istorijskih podataka o posledicama nesreća			
1	83	62+009	Ruma	PB	1	63+936	Divci	SS
2	121	74+241	Pirot	DS	5	46+822	Lazarevac	SS
3	164	57+306	Odzaci	DS	7	75+705	Valjevo	PB
4	188	2+175	Šabac	DS	10	34+694	S. Pazova	PB
5	87	20+993	Batajnica	PB	12	117+479	Vrbas	PB
6	101	17+545	P. Varoš	DS	13	166+756	Naumovićevo	PB
7	105	30+832	Kragujevac	DS	17	99+048	Zmajevu	PB
8	172	44+136	Debeljača	DS	21	288+608	Leskovac	PB
9	179	49+511	Loznica	DS	24	79+362	Palanka	PB
10	22	253+700	Doljevac	DS	26	255+441	Belotince	PB
11	55	62+912	Kovačevac	PB	30	26+920	Klenje	DS
12	102	25+442	P. Varoš	DS	32	93+035	V. Plana	DS
13	140	88+250	Požarevac	DS	33	358+520	Vranje	DS
14	148	167+159	Negotin	DS	36	94+923	V. Plana	DS
15	195	3+281	Smederevo	DS	39	62+912	Mladenovac	PB
16	2	24+269	Vel. Borak	PB	45	215+364	Aleksinac	PB
17	4	71+789	Valjevo	SS	50	292+198	Leskovac	DS
18	17	99+048	Zmajevu	PB	56	293+192	Leskovac	DS
19	25	152+705	Paraćin	DS	67	217+519	Aleksinac	PB
20	32	93+035	V. Plana	DS	75	28+795	Kr. Trnovče	DS

Napomena: PB = polubranici; DS = drumska signalizacija; SS= svetlosna signalizacija

U tabeli 4.9 je data lista prvih 20 putnih prelaza na bazi istorijskih podataka 2007–2011. prema bazi [22], i to za frekvenciju i posledice nesreća. Zatim je izvršeno poređenje ovih dveju lista predviđenih i istorijskih putnih prelaza. Četiri prelaza su zajednička za obe liste, predviđeni i istorijski putni prelazi visokog rizika za frekvenciju

nesreća. Dva prelaza su zajednička sa listom istorijskih putnih prelaza posledica nesreća. Iznenadujuće je, međutim, to što je u listi istorijskih podataka najveći broj prelaza osiguranih nekim aktivnim sistemom 55% polubranici i 10% svetlosna signalizacija.

Zaključak je da izbor modela za ocenu očekivane frekvencije nesreća, kao i kriterijuma za rangiranje može da proizvede značajno različite liste putnih prelaza visokog rizika.

U ovom radu je predstavljena metodologija za identifikaciju putnih prelaza visokog rizika u Srbiji. Osnovni zaključci koji su proizašli iz ovog istraživanja su sledeći:

- U ovom radu su razvijena tri modela rizika i dva kriterijuma za rangiranje u kontekstu identifikacije putnih prelaza visokog rizika u cilju podizanja nivoa bezbednosti. Baza podataka o nesrećama na putnim prelazima u Srbiji je korišćena za razvoj različitih modela i kriterijuma za rangiranje.
- ZIP model frekvencije nesreća je pokazao bolje rezultate u odnosu na Puasonov i NB model ($p = 2.56 \cdot 10^{-9}$). U poređenju sa ZINB modelom, ZIP model je takođe prikladniji ($p = 0.016$). Vrsta osiguranja drumska signalizacija ($p = 2.76 \cdot 10^{-9}$), izloženost putnog prelaza saobraćaju ($p = 1.56 \cdot 10^{-5}$) i maksimalna brzina voza ($p = 1.36 \cdot 10^{-5}$) su se pokazali kao najznačajniji faktori koji objašnjavaju očekivanu frekvenciju nesreća na putnim prelazima
- Poređenjem Puasonovog i NB modela procene empirijskog rizika dobijeno je da je NB model bolji ($p = 1.70 \cdot 10^{-6}$), dok je u odnosu na ZIP model dobijeno da je ZINB model bolji ($p = 8.34 \cdot 10^{-6}$). Faktor koji ima najveći uticaj na predviđanje smrtnosti je maksimalna brzina voza ($p = 0.000246$). Takođe, faktori osiguranje prelaza dramskom signalizacijom ($p = 0.048910$), izloženost prelaza saobraćaju ($p = 0.353520$), širina putnog prelaza ($p = 0.098971$) i vrsta kolovoza ($p = 0.06110$) su se pored maksimalne brzine voza pokazali kao značajni u očekivanoj smrtnosti na putnim prelazima.

- Za svaki putni prelaz definisana je ozbiljnost posedica kao ekvivalent povrede podeljen sa frekvencijom nesreća. Multinomni logistički model sa selekcijom korak po korak je korišćen da bi se napravio model koji najbolje objašnjava posledice nesreća. Pokazalo se da osiguranje prelaza samo drumskom signalizacijom (pasivni prelazi) statistički značajno objašnjava težinu posledica nesreća na putnim prelazima ($p = 0.00055$). Takođe, brzina voza ($p = 0.0014$), širine putnog prelaza ($p = 2.1 \cdot 10^{-5}$), izloženost prelaza saobraćaju ($p = 4.3 \cdot 10^{-7}$), broj koloseka ($p = 0.041$) i kategorije pruge magistralna pruga ($p = 0.21$) imaju uticaja na očekivane posledice na putnim prelazima.
- Lista putnih prelaza visokog rizika je identifikovana na bazi dva kriterijuma. Prvi kriterijum je srednji totalni rizik (preko modela frekvencija i modela posledica) na putnom prelazu, a drugi kriterijum je srednji empirijski rizik. Spirmanov koeficijent je pokazao da je reč o umerenoj korelaciji slaganja u izboru putnih prelaza koja se zasniva na osnovu ova dva kriterijuma, $r = 0.50$.
- Objedinjena lista od 20 putnih prelaza koja je zajednička za oba kriterijuma, kada je primenjen prag od 15% je pokazala da je učešće pasivnih prelaza (60%), dok su aktivni prisutni sa (40%). Takođe, 90% prelaza se nalazi na magistralnim prugama u urbanom području. Brzina vozova na ovim prelazima je oko 100 km/h, što je veće od prosečne, koja iznosi 70 km/h.

5 PROCENA EFEKTIVNOSTI IZABRANIH TEHNIČKIH MERA KROZ OCENU FAKTORA REDUKCIJE NESREĆA

Stručnjaci u saobraćaju ponekad moraju da donesu teške odluke u vezi sa investicijama u bezbednost u saobraćaju. Konkretno, od inženjera se može očekivati da bira između niza tehnologija i/ili mera da bi sanirao uočene probleme u bezbednosti kada:

- 1) raspolaže sa malo informacija o efektima mera na bezbednost,
- 2) informacije su poznate, ali potiču iz različitih regiona, država, odnosno zemalja iz kojih direktna generalizacija možda ne bi bila prikladna,
- 3) kada su tehnologije i/ili mere relativno neproverene i
- 4) kada nema dovoljno novčanih sredstava koje bi omogućile puno i pažljivo testiranje svake od mogućih mera kroz studije pre i posle uvođenja mere.

Značaj dobro promišljene odluke bazirane na najboljim mogućim inženjerskim znanjima i informacijama je imperativ zbog potencijalnog uticaja na broj povređenih ljudi i smrtnih slučajeve, kao i materijalne štete koje mogu proizaći iz tih investicija, [26].

Faktor redukcije nesreća (FRN) se koristi za procenu očekivane redukcije u nesrećama koje bi se dogodile tokom datog perioda kao rezultat primene predložene mere, [20], [27], [28] i [29]:

$$FRN_i = 1 - \left(\frac{N_{Pi} - N_{Ni}}{N_{Pi}} \right) = \frac{N_{Ni}}{N_{Pi}}, \quad FRN_i \in [0, \infty) \quad (5.1)$$

gde je:

FRN_i – faktor redukcije nesreća za bezbednosnu meru i ,

N_{Pi} i N_{Ni} – predstavljaju broj procenjenih nesreća u nekom periodu na putnom prelazu pre odnosno bez mere i nakon tj. sa uvođenjem odgovarajuće bezbednosne mere i .

Prema (5.1), FRN ne uzima negativne vrednosti. Ukoliko je vrednost FRN -a veća od 1.0, očekivani broj nesreća raste nakon što je mera uvedena. Ukoliko je vrednost manja od 1.0, to znači redukciju u očekivanom broju nesreća nakon uvođenja mere. Na primer,

ako je FRN 0.8, to znači da se može očekivati podizanje nivoa bezbednosti, tj. očekuje se 20% redukcije u nesrećama. Ako je FRN 1.2, ta vrednost inicira očekivanu degradaciju u bezbednosti, odnosno 20% povećanja u očekivanim nesrećama [30].

Istraživački program Američkog nacionalnog udruženja za drumski saobraćaj (National Cooperative Highway Research Program – NCHRP, Report 162) je prvi identifikovao potrebu za razvojem nacionalnog sveobuhvatnog aparata FRN -a za svaku saveznu državu da bi se napravili projekti za poboljšanje bezbednosti. Kao rezultat, mnoge savezne države su razvile njihov sopstveni FRN ili su adaptirale FNR od drugih država [29].

U literaturi *faktor redukcije nesreća* (FRN) je poznat i pod sledećim nazivima: *crash reduction factor* (CRF) [29]; *collision modification factor* (CMF) prema [28], [30]; *accident modification factor* (AMF) prema [26]. Prema Laughland i dr. 1975, koncept faktora redukcije nesreća je takav da se prikaže poboljšanje u bezbednosti koje je povezano sa različitim merama predstavljajući očekivane promene u nesrećama kao rezultat njihove primene [28].

Kao generalni analitički pristup za inkorporiranje FRN -a može da se koristi osnovni model koji predviđa nesreće na prelazu na bazi nezavisnih promenljivih. Mogućnost preuzimanja FRN -a, tj. njegove adaptacije sa jedne saobraćajne mreže na drugu, izvodljiva je uz korišćenje određenih korekcija – kalibracionih faktora.

Kalibracioni faktor se primenjuje da bi se korigovale različitosti između regiona (gradova, država) tako da bi predviđanje bilo prihvatljivo za lokalne uslove. Zatim se FRN primenjuje da bi se procenila redukcija nakon instalacije odoređene mere. U jednostavnoj formi obrazac se može prikazati kao [27]:

$$(\rho_j)(FRN_i)N_{Pi} = N_{Ni} \quad (5.2)$$

gde je:

ρ_j – kalibracioni faktor za region j .

5.1 Pregled postojećih metoda za određivanje faktora redukcije nesreća na putnim prelazima

U ovom delu su prikazane postojeće metode koje se koriste za razvoj *faktora redukcije nesreća (FRN)* i ograničenja koja su povezana sa tim metodama.

5.1.1 Unakrsni statistički modeli

Unakrsni statistički modeli se generalno koriste u dve svrhe:

1. Razvoj modela za predviđanje očekivanog broja nesreća,
2. Procene u unapređenju bezbednosti kroz faktor redukcije nesreća.

Prvi korak je da se razvije odgovarajući regresioni model za procenu veze između parametara putnog prelaza i iskustva sa nesrećama. Drugi korak je razvoj *FRN*-a prema formuli (5.1) [31].

U ovom radu su razvijena tri cross-sectional statistička modela.

5.1.2 „Pre i posle” modeli

Modeli „pre i posle” se često koriste za procenu efekata mera u saobraćaju.

Sledeća tri tipa „pre i posle” modela postoje u literaturi:

1. Jednostavani „pre i posle” modeli,
2. „Pre i posle” modeli sa mogućnošću poređenja grupnom metodom,
3. „Pre i posle” modeli sa empirijskom Bajesovom (EB) metodom.

5.1.3 Bajesov metod sinteze podataka

Bajesov metod sinteze podataka dopušta kombinaciju efekata mera iz različitih nezavisnih izvora (modela i istraživanja) sa proračunima dobijenim iz zvanične statističke analize podataka o putnim prelazima. Sličan pristup je u skorije vreme predložen od strane [26] i [28]. Njihov pristup se razlikuje u tretiranju prethodne procene i funkcije verovatnoće podataka (data likelihood function).

Početna raspodela parametara (apriorna raspodela) je u formi [26] i [28]:

$$P_i(\theta|\mathbf{x}) \propto P_i(\theta)P_i(\mathbf{x}|\theta) \quad (5.3)$$

gde je:

θ – efekti mera (FRN) za određeni putni prelaz,

\mathbf{x} – proračuni iz modela predviđanja nesreća na putnim prelazima,

$P_i(\theta)$ – početna raspodela parametara od θ procenjena iz prethodnih studija,

$P_i(\mathbf{x}|\theta)$ – funkcija verodostojnosti parametra θ i

$P_i(\theta|\mathbf{x})$ – aposteriorna raspodela od θ za dato \mathbf{x} .

Formula (5.3) pretpostavlja da se efekti datih mera najbolje posmatraju kao slučajna promenljiva sa jedinstvenom raspodelom verovatnoće.

Ako procenimo efekte mera na podacima kao eksperimentalni rezultat x_1 sa verovatnoćom $P_1(\mathbf{x}_1|\theta)$, može se proceniti nova aposteriorna verovatnoća korišćenjem formule (5.3). Ponavljanjem eksperimenta u svrhu dobijanja novih eksperimentalnih rezultata x_2 sa verovatnoćom $P_2(\mathbf{x}_2|\theta)$, procenjuje se verovatnoća $P_i(\theta|\mathbf{x}_2\mathbf{x}_1) \propto P(\theta)P_2(\mathbf{x}_2|\theta)P_1(\mathbf{x}_1|\theta)$. Generalizovanjem ove procedure za n različitih eksperimenata, prema literaturi, dobijen je izraz za novu verovatnoću za n različitih eksperimenata [27]:

$$P(\theta|\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_{n-1}, \dots, \mathbf{x}_1) \propto P(\theta) \left[\prod_{i=1}^n P_i(\mathbf{x}_i|\theta) \right] \quad (5.4)$$

Tehnički izazov je dobiti novu raspodelu integrisanjem višestrukih raspodela korišćenjem formule (5.4). Kako Bajesova teorema pretpostavlja normalnu raspodelu u oba slučaja, dakle i kod početne verovatnoće [$\theta \sim N(\mu, \tau^2)$] i kod verovatnoće raspodele podataka [$l \sim N(x, \sigma^2)$], u literaturi [33] je pokazano da se mogu kombinovati efekti matematičkog očekivanja i odstupanja da bi se dobila nova normalna raspodela [$\theta|\mathbf{x} \sim N(\mu_0, \tau_1^2)$] tako da je:

$$\tau_1^2 = (\tau^{-2} + \sigma^{-2})^{-1} \quad (5.5)$$

$$\mu_0 = (\tau^{-2}\mu + \sigma^{-2}\mathbf{x})\tau_1^2 \quad (5.6)$$

Pa imamo:

$$\omega = \frac{\tau^{-2}}{\tau^{-2} + \sigma^{-2}} \in (0,1) \quad (5.7)$$

gde:

ω – predstavlja redukciju koja se objašnjava početnom raspodelom.

Formulu (5.7) možemo napisati prema [33] i [27] u sledećem obliku:

$$\mu = \omega \cdot \mu + (1 - \omega) \cdot x \quad (5.8)$$

Formula (5.8) predstavlja procenu srednje vrednosti.

5.2 Pregled postojećih tehnologija i mera za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima

U ovom delu dat je pregled različitih mera za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima, koje su navedene u literaturama [3] i [34].

Generalno, razlikuju se tri različita tipa mera koje inženjeri mogu koristiti da bi doprineli bezbednosti na putnim prelazima:

- 1) zatvaranje ili denivelacija putnih prelaza,
- 2) poboljšanje geometrije i
- 3) unapređenje uređaja za kontrolu saobraćaja.

Ovi tipovi mera će biti razmatrani i sa aspekta njihovog uticaja na ponašanje učesnika u drumskom saobraćaju.

5.2.1 Zatvaranje i denivelacija putnih prelaza

Zatvaranje i denivelacija putnih prelaza su najefektivnije mere za eliminaciju nesreća između drumskih vozila i voza. Od 1991. godine Federal railroad administration U.S. (FRA) je utvrdila, u cilju podizanja nivoa bezbednosti, redukciju od 25% na 293 000 prelaza do 2001. godine. Do 1996 godine je došlo do umanjenja za 27 000 prelaza ili kumulativno 9.3% [34].

Zatvaranje putnih prelaza kao i njihova denivelacija imaju istu delotvornost kao mere zbog toga što obe mere dovode do prevencije nesreća između voza i drumskog vozila eliminisanjem izloženosti putnog prelaza saobraćaju. Faktor redukcije nesreća kod obe mere je $FRN = 0.00$ ili 100% prema FRA [3].

Denivelacija svakako zahteva veću cenu koštanja za razliku od drugih mera, zbog potencijalne delokacije prelaza. Na zapadu se kreće oko \$1 000 000. Posebne preporuke za denivelaciju prelaza su date od strane FHWA Technical Working Group [3]. Skoriji publikovani izveštaj *Grade Separations – When Do We Separate* daje korak po korak proceduru za razvoj donošenja odluke o denivelaciji [3]. Takođe, skorije publikacije uključuju metodologiju koja daje sliku bezbednosnih i ekonomskih faktora koji su primenjeni u Izraelu [35].

Sa druge strane, zatvaranje prelaza može da bude mera sa najmanjom cenom koštanja jer ne zahteva instalacije ili fizičke promene. Na zapadu se cena zatvaranja putnog prelaza kreće oko \$10 000. Zatvaranje prelaza može usmeriti saobraćaj na druge prelope i može povećati izloženost saobraćaju kao i potencijalne nesreće koje su sa tim povezane na korespondirajućim prelazima. Znači, iako zatvaranje prelaza može da eliminiše potencijalne nesreće na posmatranom prelazu, ne može se oceniti da li će celokupne nesreće na posmatranoj mreži zaista biti redukovane. Osim toga, prema Raselu, 1981, zatvaranje prelaza može da izazove otpor u lokalnoj zajednici jer zahteva da lokalni vozači koriste drugu rutu umesto postojeće konvencionalne [32].

5.2.2 Poboljšanje geometrije

Raznovrsna poboljšanja u geometriji mogu da budu uvedena kao mera na putnim prelazima. One uključuju ublažavanje horizontalnog i vertikalnog poravnanja pristupnog puta, menjanje ugla ukrštanja pruge i puta, kao i poboljšanje vrste kolovoza. Poboljšanje daljine preglednosti modifikovanjem geometrije prelaza je takođe dobro poznat u redukciji potencijalnih udesa na putnim prelazima. Praktično nije moguće da se da efektivnost svake od ovih strategija zbog nedostatka podataka.

Uvidom u literaturu nađen je podatak u vezi sa FRN -om kod poboljšanja geometrije u istraživanjima koja su vršena u tri savezne države u Americi. Te države su Aljaska $FRN = 0.10$, Arizona $FRN = 0.80$ i Indijana $FRN = 0.60$.

Prema [36], neravna površina kolovoza može biti faktor koji dovodi do odvlačenja pažnje vozača od njihove primarne brige o uočavanju nailazećeg voza. Međutim, nije poznata procena koliko je vrsta kolovoza odgovorna za nesreće na putnim prelazima. Stoga su potrebna detaljna istraživanja da bi se našla korelacija između vrste kolovoza i nesreća na putnim prelazima.

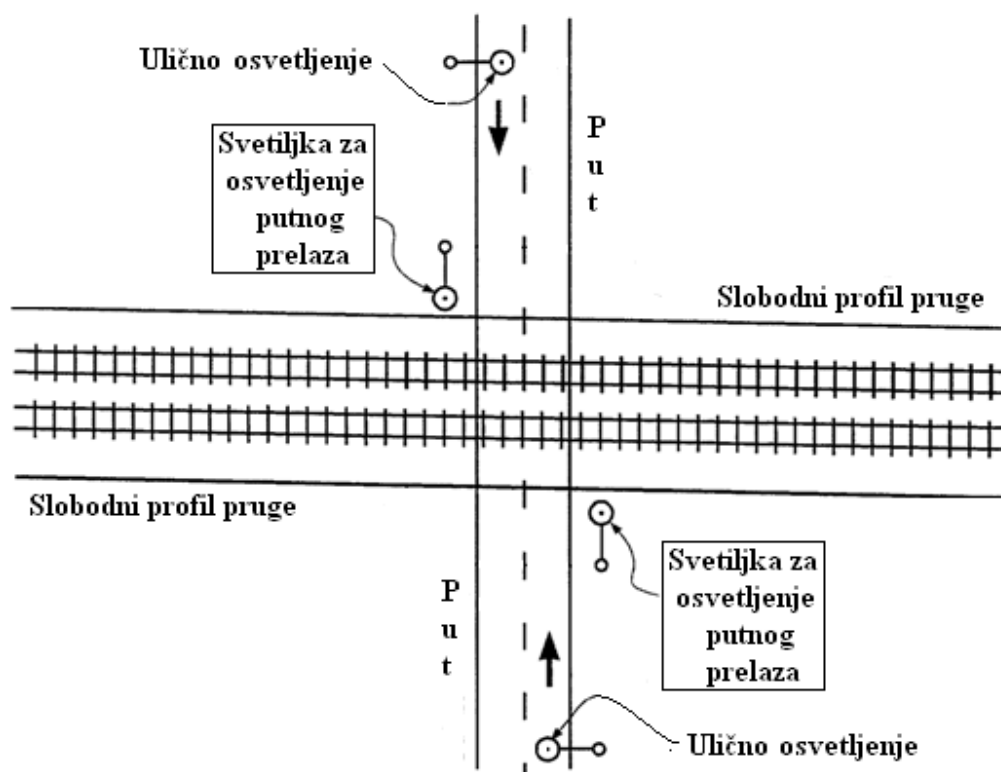
5.2.3 Unapređenje uređaja za kontrolu saobraćaja

Osnovna svrha uređaja za kontrolu saobraćaja je da se obezbedi odovarajuće upozorenje vozačima korišćenjem odgovarajućih vizuelnih i audio-uređaja i da pomognu vozačima u preduzimanju ispravnih aktivnosti da bi se izbegli udesi na putnim prelazima. Uređaji za kontrolu saobraćaja se dele na pasivne i aktivne. Osnovna konvencionalna upozoravajuća sredstva u Srbiji su Andrejin krst i znak „stop” (pasivni) i polubranici sa svetlosnom signalizacijom (aktivni).

5.2.4 Pasivne mere za kontrolu saobraćaja

U literaturi su poznate razne pasivne mere za kontrolu saobraćaja. Neke od njih su obeležavanje kolovoza ispred putnog prelaza, unapređeni upozoravajući signali, ležeći policajci na prilazu putnom prelazu u cilju redukcije brzine drumskog vozila i druge mere.

U ovom radu uzeće se osvetljenje putnog prelaza kao primer jedne od efikasnih mera za redukciju nesreća u noćnom periodu, slika 5.1. Prema [37], 57 ruralnih prelaza je posmatrano u studiji (Voker i Roberts, 1965) u državi Ajova nakon instalacije uličnog osvetljenja. Analizirani su podaci o nesrećama u periodu od tri godine, pre i posle instalacije osvetljenja. Ukupno 90 nesreća se desilo noću na 47 prelaza u trogodišnjem periodu pre instalacije osvetljenja. Nakon instalacije, zabeleženo je 46 nesreća, što predstavlja redukciju od 52 % u nesrećama, $FRN = 0.48$ [37].



Slika 5.1 Osvetljenje putnog prelaza

Mater 1991. je procenio na osnovu podataka o nesrećama u periodu od 7 godina na 35 pasivnih prelaza u državi Oregon koji su osvetljeni, kao jeftina mera za poboljšanje bezbednosti saobraćaja noću. Izbor kriterijuma za instalaciju osvetljenja su: (1) redovan saobraćaj noćnih vozova od 4 h do 7 h, i (2) mala izloženost saobraćaju prelaza da bi bio kvalifikovan za uvođenje automatskih sistema zaštite. Na osnovu podataka se pokazalo da se pre osvetljenja 18 nesreća dogodilo noću na 13 prelaza. Nakon osvetljenja, samo 3 nesreće su se dogodile na dva prelaza noću. FRN za noćni period je $FRN = 0.167$ [38].

U studiji pre i posle, tj. nakon uvođenja osvetljenja na 52 pasivna putna prelaza ocenjeno je da je prisutna redukcija od 85%, $FRN = 0.15$ u broju nesreća nakon osvetljenja prelaza [38].

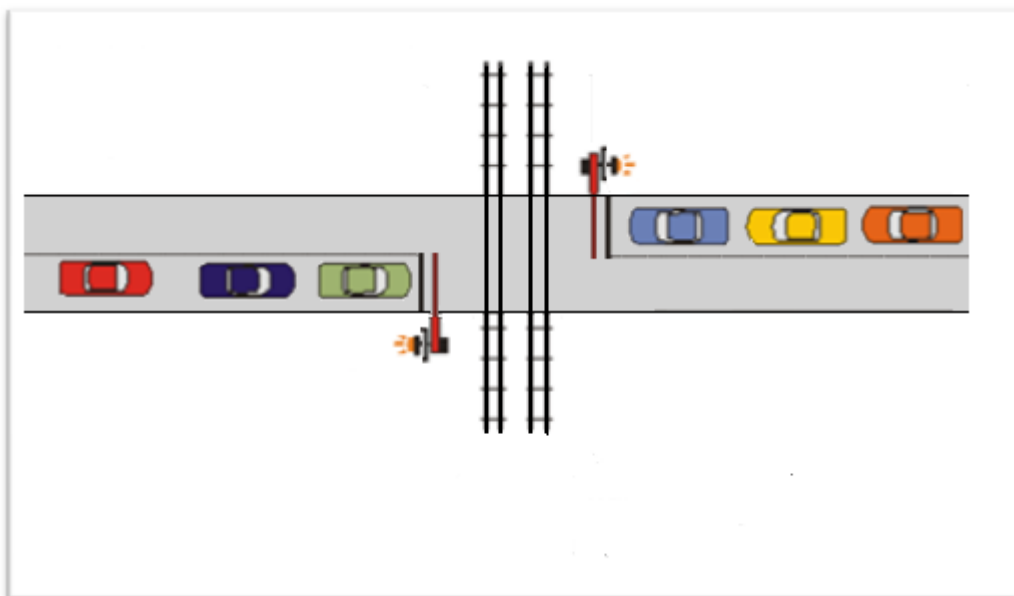
Prema [39], primenom osvetljenja na prelazima, redukcija udesa noću je 30%, tako da se može izvesti zaključak da je $FRN = 0.70$ za udesa noću (ne za sve udesa).

5.2.5 Aktivni uređaji za kontrolu saobraćaja

Aktivni uređaji za kontrolu saobraćaja predstavljaju sve uređaje koji se aktiviraju kada voz nailazi, a to su svetlosna signalizacija, branici i polubranici. Aktivni uređaji za kontrolu saobraćaja su takođe dopunjeni sa signalima koji se koriste kod pasivne kontrole saobraćaja.

Svetlosna signalizacija je osnovno aktivno upozoravajuće sredstvo koje upozorava vozača o nailasku voza. Mnogi istraživači su procenili efekte instalacije svetlosne signalizacije u odnosu na pasivne sisteme zaštite. Ta vrednost je različita u različitim studijama. Ova nekonzistentnost može biti posledica različitih podataka ili metodologija koje su korišćene. Faktor redukcije nesreća (*FRN*) kod podizanja nivoa osiguranja sa pasivne signalizacije na svetlosnu signalizaciju je [US DOT, 1980 *FRN* = 0.30; Kalifornija, 1974, *FRN* = 0.36] [3]. Prema [41], ugradnja svetlosne signalizacije na pasivne prelaze redukuje nesreće za 44%, *FRN* = 0.56.

Automatski polubranici predstavljaju dopunski nivo kontrole i koriste se zajedno sa svetlosnom signalizacijom. Polubranici i svetlosna signalizacija se aktiviraju zajedno. Faktor redukcije nesreća kod podizanja nivoa osiguranja sa pasivne signalizacije na automatske polubranike je US DOT, 1980, *FRN* = 0.17 ili 83% [3]. Prema Haueru i Persaudu, 1987, *FRN* = 0.31 ili 69%, korišćenjem modela pre i posle [6]. Prema [41], ugradnja svetlosne signalizacije sa polubranicima na pasivne prelaze redukuje nesreće za 64%. Na slici 5.2 je prikazan tipičan putni prelaz na mreži pruga Železnica Srbije sa aktivnim osiguranjem.



Slika 5.2 Tipičan putni prelaz u Srbiji sa aktivnom signalizacijom

Faktor redukcije nesreća kod podizanja nivoa osiguranja sa svetlosne signalizacije na automatske polubranike je [US DOT, 1980 je 69%, $FRN = 0.31$; Kalifornija, 1974, $FRN = 0.34$] [3]. Prema [42], pokazalo se da je redukcija u prelasku ispred nailazećeg voza nakon instalacije polubranika na putni prelaz koji je bio osiguran svetlosnom signalizacijom sa 67% na 38%, $FRN = 0.56$.

Kao savremenije rešenje u Sjedinjenim Američkim Državama se koristi sistem sa četiri polubranika, koji blokiraju prelaz iz oba smera i sprečavaju vozače od zaobilaženja polubranika u horizontalnom položaju, slika 5.3. Ovaj sistem podrazumeva instalaciju još jednog para polubranika na konvencionalne prelaze sa dva polubranika. Kao rezultat je prisutna blokada svih kolovoznih traka od saobraćaja, sa obe strane prelaza, što otežava vozačima da zaobilaze polubranike u nameri da se „trkaju” sa nailazećim vozom.

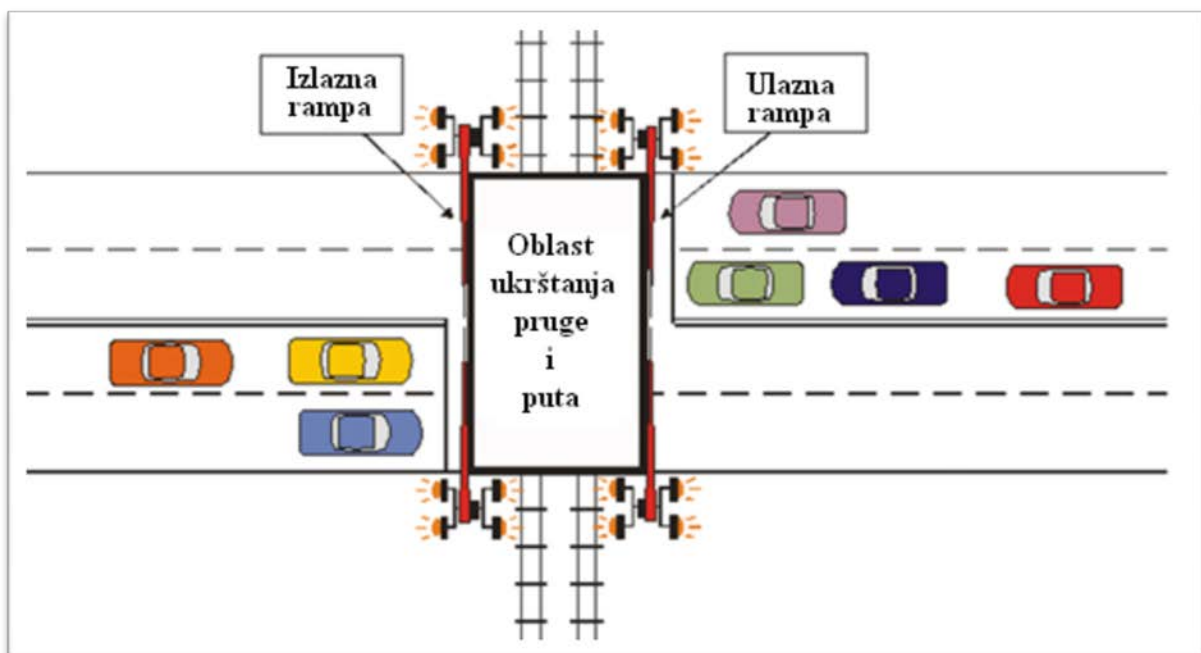
Pokazalo se da je podizanje nivoa osiguranja sa sistema sa dva polubranika na sistem sa četiri polubranika efektivno u redukciji rizičnog ponašanja na prelazima. Ova tehnika je uspešno dokazana u državama Kentaki i Severna Karolina. Podaci o ponašanju vozača pre i posle instalacije ovog sistema su snimani da bi se pokazala efektivnost sistema [43]. Ovaj sistem prema [43] poboljšava bezbednost redukcijom zaobilaženja polubranika za 86%, $FRN = 0.14$. Prema [44], $FRN = 0.60$ ili 40%, za sistem sa četiri polubranika. Prema Kerolu i Hajnsu, 2002 i FRA, 2002, sistem sa četiri polubranika

redukuje zaobilaznje polubranika za 86%, $FRN = 0.14$, a kada su postavljeni i separatori (videti u daljem tekstu) pored četiri polubranika, redukcija je 98% [44].

Hittington je 1989. sproveo studiju u Sjedinjenim Američkim Državama u trajanju od šest meseci pre i posle instalacije četiri polubranika na putnom prelazu koji je bio opremljen klasičnim sistemom od dva polubranika. Redukcija u zaobilaznju polubranika je 100% [26].

Cena koštanja ovog sistema kada se nivo osiguranja podiže sa polubranika je \$125 000 po prelazu. Da bi se ovaj sistem instalirao na pasivni prelaz, to košta \$250 000 po prelazu [45].

Potrebno je napomenuti da je ova procena različita u odnosu na uobičajenu. FRA je procenila vrednost na bazi očekivane promene u broju nepravilnosti u vezi sa obilaženjem polubranika za određeni putni prelaz pre i posle instalacije sistema sa četiri polubranika. Zaobilaznje polubranika je korišćeno kao surogat mera za broj nesreća. Kako je sistem sa četiri polubranika veoma kratko u upotrebi, a nesreće na putnim prelazima osiguranim ovim sistemom su retke, i korišćenje neregularnog ponašanja (zaobilaznje polubranika) da bi se predstavila efektivnost ovog sistema je neminovna. Međutim, u budućnosti, kada bude više podataka o nesrećama, svakako će biti potrebno istražiti odgovarajući FRN .



Slika 5.3 Šematski prikaz putnog prelaza sa četiri polubranika

Jedna od mera koje se koriste su duži polubranici. Klasični polubranici pokrivaju jednu polovinu kolovoza puta. Duža rampa, koja pokriva najmanje dve trećine puta, pokazala se kao efikasna mera u odvratanju vozača u zaobilaženju polubranika, [37]. Prema [37], ova mera (3/4 od pune dužine branika) redukuje zaobilaženje polubranika sa 67% na 84%. Procena njihove efikasnosti je 75%, a cena koštanja aproksimativno \$5 000 po putnom prelazu (FRA, Severna Karolina). $FRN = 0.05$ iz modela [4], a prema [26], $FRN = 0.69$.

5.2.6 Separatori

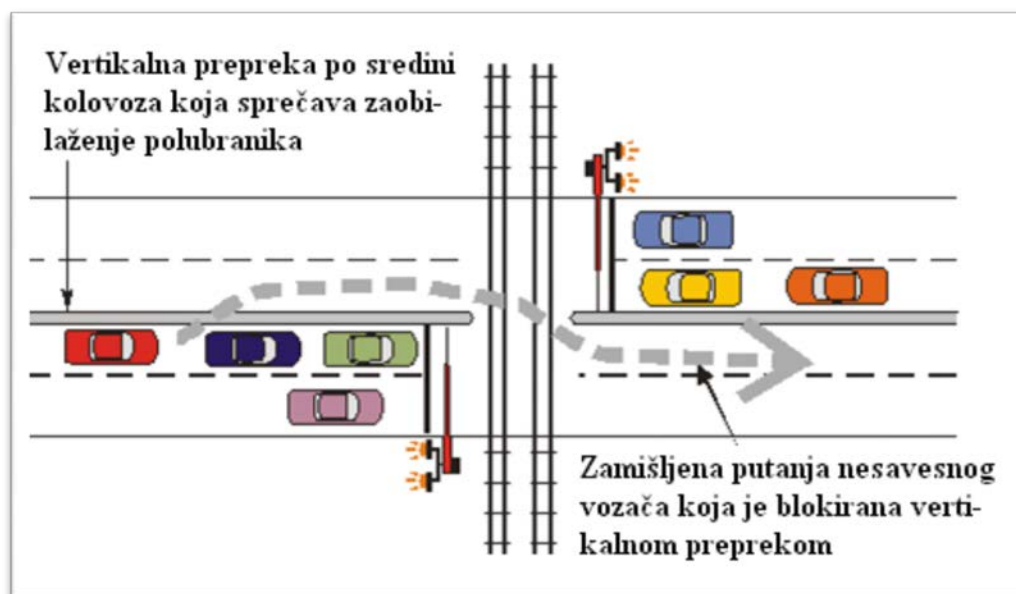
Separatori su fizičke prepreke koje se postavljaju po sredini kolovoza sa obe strane putnog prelaza, kao dopuna sistemu sa polubranicima, a u cilju sprečavanja zaobilaženja polubranika, slika 5.4 i šematski prikaz slika 5.5.



Slika 5.4 Separatori na putnom prelazu

Putni prelazi sa dva polubranika su rizični zbog toga što vozači mogu zaobići polubranike. Ovakav tip neregularnog ponašanja može se preventivno sprečiti ugradnjom prethodno spomenutog sistema sa četiri polubranika. Međutim, ugradnja ovog sistema može da izazove novu opasnost, a to je da vozilo može biti zarobljeno između spuštenih polubranika u trenutku nailaska voza. Kao alternativni sistem sistemu sa četiri polubranika može biti instalacija separatora po sredini kolovoza.

Prema studiji [46], pre i posle instalacije separatora redukcija u zaobilaženju polubranika sa 25 na 1 je značajna. Prema studiji [43], redukcija u zaobilaženju polubranika je 77%. Na ovaj način se postiže značajna redukcija u broju zaobilaženja polubranika u odnosu na klasičan sistem samo sa polubranicima. Prema [44], $FRN = 0.70$ ili 30%.



Slika 5.5 Šematski prikaz putnog prelaza sa dva polubranika i vertikalnim preprekama – separatorima

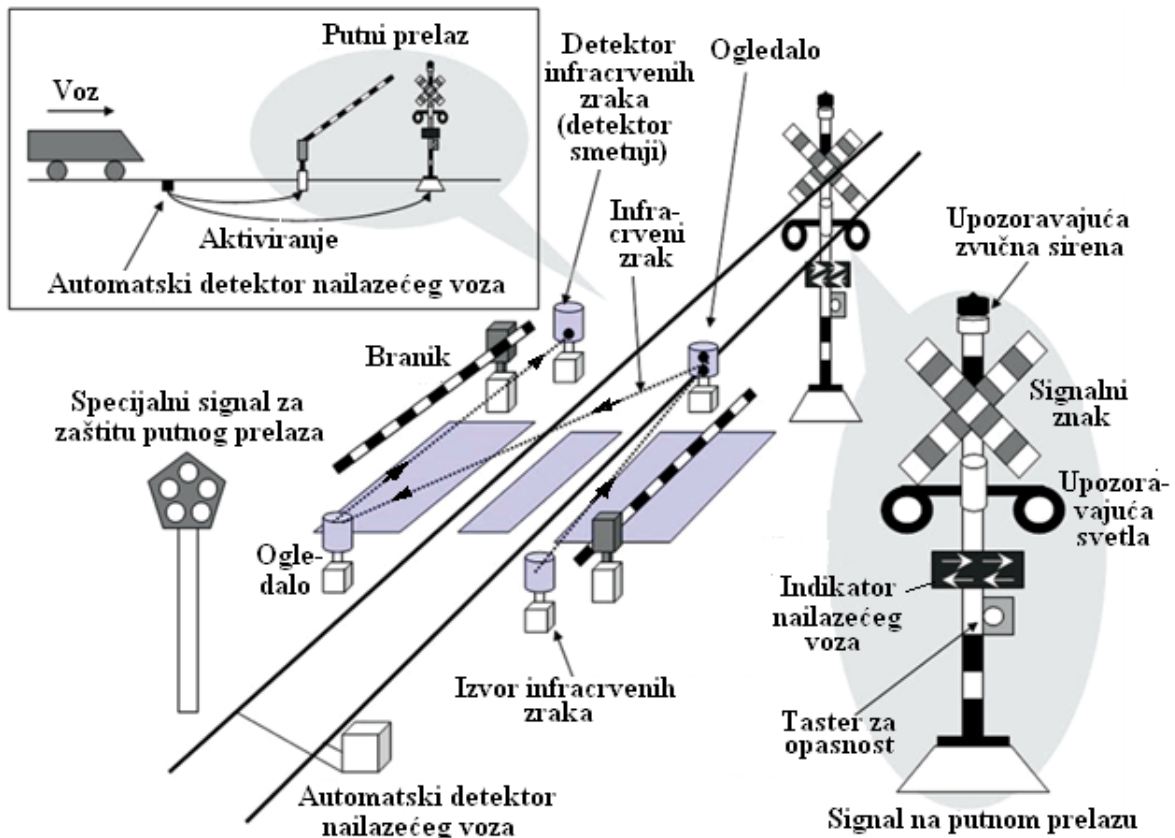
Ovaj sistem predstavlja investiciju male vrednosti, sa visokim procentom povraćaja u bezbednosti saobraćaja na prelazima. Cena ovog sistema u Americi je oko \$10 000 po prelazu [45]. Sistem separatora je znatno jeftiniji od sistema sa četiri polubranika.

5.2.7 Detekcija prepreka na putnim prelazima

U visoko razvijenim zemljama kao što su Japan, Koreja, Amerika uvode se dostignuća savremene nauke i tehnike u podizanju bezbednosti na putnim prelazima. Primer jednog od takvih unapređenih sistema je prikazan na slici 5.6. Osim osnovne automatske opreme, putni prelaz je opremljen i dodatnom opremom, kao što je detektor smetnji koji se sastoji od predajnika i prijemnika infracrvenih zraka, a koji je povezan sa specijalnim signalom za obaveštavanje mašinovođe. Kad se voz približava putnom prelazu, predstojeći automatski detektor voza uključuje zvučne i svetlosne signale na putnom prelazu. Istovremeno se spuštaju motke branika i uključuje se detektor smetnji.

Ukoliko je drumsko vozilo zarobljeno na zatvorenom putnom prelazu, detektor smetnji će ih detektovati putem infracrvenih zraka i obavestiti mašinovođu na opasnost putem specijalnog signala.

Kao deo dodatne opreme je i upozoravajući uređaj za smetnje koji se nalazi na drumskom signalu, a koji može da aktivira vozač zarobljenog drumskog vozila pritiskom na dugme.



Slika 5.6 Izgled sistema sa dva branika i detektorom smetnji,

Kohda i Fudžihara, 2005, [40]

Prema Železnicama Koreje, od 402 nesreće na putnim prelazima u Koreji u periodu od pet godina, na 25.4 % je bila prisutna detekcija prepreka na putnom prelazu. Faktor redukcije nesreća je 0.74 [26].

5.2.8 Zvučni upozoravajući sistemi

Sporedni zvučni upozoravajući sistem se sastoji od serije lokomotivskih sirena lociranih na putnom prelazu i usmerenih ka nailazećem drumskom vozilu. Ovaj sistem simulira sirenu voza na minimum 15 sekundi pre nailaska voza na putni prelaz [3].

Korišćenje zvučnih alarma kao što je sirena lokomotive ili spoljna sirena može biti efikasan način upozorenja vozača o nailasku voza i redukciji nesreća na putnim prelazima. Prema Rapozi 1999, $FRN = 0.31$ ili 69%.

5.2.9 Video-nadzor

Video-sistem je takođe efikasan sistem u redukciji nesreća. $FRN = 0.28$ ili 72% (FRA, 2001). Prema [37], redukcija kod ove mere je $FRN = 0.36$ ili 64%. Prema [47], redukcija u zaobilaženju polubranika je između 36% i 92%, dok je redukcija u nesrećama između 70% i 100%, tako da je umereni $FRN = 0.30$ [26].

Opseg koštanja ovog sistema kada se instalira na prelazu je od \$40 000 do \$70 000 po instalaciji na bazi ITS (inteligentni sistemi). Srednja cena od \$55 000 je korišćena u analizi [43].

U tabeli 5.1 je dat pregled prethodnih istraživanja mera koje mogu da doprinesu poboljšanju u bezbednosti na putnim prelazima. Dati su faktori redukcije nesreća za razne mere i izvore. Izračunata je srednja vrednost faktora redukcije nesreća na osnovu navedenog broja izvora.

Tabela 5.1 Suma prethodnih istraživanja faktora redukcije nesreća

Mere	Izvori	Faktor redukcije nesreća	Srednja vrednost faktora redukcije nesreća i broj izvora
Denivelacija ili zatvaranje	FRA ^a , 2001 Mironer i dr. 2000	$FRN = 0.00$ $FRN = 0.00$	$\sigma(FRN) = 0.00$ (za dva izvora)
Pasivni sistem	Osvetljenje putnog prelaza Wooldridge i dr., 2001 30% redukcija noćnih nesreća ### Mather, 1991##### Russell i Konz, 1980##### Missouri** Idaho ** Alaska **	$FRN = 0.70$ $FRN = 0.167$ $FRN = 0.30$ $FRN = 0.40$ $FRN = 0.40$ $FRN = 0.75$	$\sigma(FRN) = 0.453$ (za šest izvora)
Aktivni sistem	Sa drumske signalizacije na svetlosnu signalizaciju Morrisey (1981)## U.S. DOT, 1980##### Mortimer, 1988♦ šest izvora U.S.**	$FRN = 0.35$ $FRN = 0.30$ $FRN = 0.56$ $FRN = 0.38$ (ovo je prosečna vrednost za šest saveznih država U.S.)	$\sigma(FRN) = 0.397$ (za četiri izvora)
Aktivni sistem	Sa drumske signalizacije na polubranike Mortimer, 1988♦ Hauer i Persaud## 0.10 (Alaska)** 0.04 (Arizona)** 0.13 (Idaho)** 0.50 (Iowa)** 0.35 (Missouri)**	$FRN = 0.36$ $FRN = 0.31$ $FRN = 0.22$ (ovo je prosečna vrednost za pet saveznih država U.S.)	$\sigma(FNR) = 0.297$ (za tri izvora)
Aktivni sistem	Sa svetlosne signalizacije na polubranike U.S. DOT, 1980 ##### Aberg Meeker i dr, 1997 0.10 (Alaska)** 0.20 (Arizona)** 0.25 (Missouri)**	$FRN = 0.31$ $FRN = 0.10$ $FRN = 0.57$ $FRN = 0.18$ (ovo je prosečna vrednost za tri savezne države U.S.)	$\sigma(FNR) = 0.29$ (za četiri izvora)

Mere		Izvori	Faktor redukcije nesreća	Srednja vrednost faktora redukcije nesreća i broj izvora
Aktivni sistem	Sa polubranika na četiri polubranika	FRA, 2001 Carroll i Haines (2002a) Hellman i Carroll (2007) Mironer i dr. 2000 FRA, 2003 0.18 FRA, 2003 0.23 FRA, 2003 0.08	$FRN = 0.18$ $FRN = 0.18$ $FRN = 0.00$ $FRN = 0.60$ $FRN = 0.18$ $FRN = 0.23$ $FRN = 0.08$	$\sigma(FRN) = 0.207$ (za sedam izvora)
Aktivni sistem	Sa polubranika na polubranike sa separatorima	FRA, 2001 Carroll i Haines 2002a # Mironer i dr. 2000 (Severna Karolina)*	$FRN = 0.20$ $FRN = 0.20$ $FRN = 0.70$ $FRN = 0.23$	$\sigma(FRN) = 0.334$ (za četiri izvora)
Poboljšanje uslova na kolovozu		Alaska** Arizona** Indiana**	$FRN = 0.10$ $FRN = 0.80$ $FRN = 0.60$	$\sigma(FRN) = 0.5$ (za tri izvora)
Video-nadzor		FRA, 2001 Caird i dr., 2002 Carroll i dr., 2002 redukcija u zaobilaženju polubranika je između 36%–92%, dok je redukcija u nesrećama između 70%–100%; umereni $FRN = 0.30$ ### (Illinois)####, redukcija u zaobilaženju polubranika	$FRN = 0.28$ $FRN = 0.36$ $FRN = 0.30$ $FRN = 0.10$	$\sigma(FRN) = 0.26$ (za četiri izvora)

Napomene: FRA* (Federal railroad administration)

citirano [37]

citirano u [28]

citirano u [26]

izvor je [3].

Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians, 2001

* FRA, North Carolina "Sealed Corridor" Phase I, U.S. DOT Assessment Report, 2002, [38]

** Gan i dr., 2005, [29], ♦ citirano u Yeh i dr., 2008, [51]

U tabeli 5.2 dati su i neki od efekata za podizanje nivoa bezbednosti na putnim prelazima i njihove cene.

Tabela 5.2 Efekti i cena podizanja nivoa bezbednosti na putnim prelazima
(FRA, 2009 [44])

	Zatva- ranje	Produženi polubranici	Separatori	Ka- mera	Četiri polu- branika	Četiri polu- branika sa separato- rima	Deni- velacija
Efekti*	100%	75%	80%	72%	82%	92%	100%
Cena	\$15K**	\$5K	\$10K	\$55K	\$125K	\$135K	\$4M**

*Efekti redukcije nesreća u odnosu na standardni sistem polubranika, preuzeto od Federal railroad administration, FRA, NPRM on Railroad Horns, 2001;

**K – hiljada, M – milion

Većina ovih izvora se bazira na podacima iz Amerike, Kanade i Koreje. Za njihovu eventualnu primenu na naše uslove bi svakako trebalo primeniti neki od kalibracionih faktora. Primena ovih faktora je poznata u literaturi. Na primer, Harki 2005. je istraživao literaturu iz različitih regiona, uključujući Severnu Ameriku, Australiju i Evropu. Preporučio je da se koristi najmanje 20% iskustva iz Severne Amerike da bi se predstavili efekti određene mere. Osim toga, u upotrebi je i alternativni pristup kao što su ekspertski paneli [26]. Analitičari se suočavaju sa raznim problemima kada je reč o ovoj problematici. Osim pitanja generalizovanja prethodnih istraživanja na neku drugu populaciju, postavlja se i pitanje da li sve studije imaju jednaku težinu i kako ih oceniti u odnosu na različite metodologije sprovedenih istraživanja. U radu [28] je data metodologija za ovu ocenu.

U ovom radu jedan od ciljeva je bio da se na osnovu dobijenih modela izračuna faktor redukcije nesreća za dve vrste mera. Prve mere se odnose na mere koje su kod nas u primeni, a druga vrsta mera su one koje se koriste u svetu, a od kojih su neke predstavljene u prethodnom istraživanju. Za neke od mera koje su kod nas u primeni je moguće izračunati faktore redukcija nesreća na osnovu dobijenih modela. Međutim, za mere koje još nisu u primeni kod nas i nema ih u podacima nije moguće koristiti dobijene modele. Za procenu ovih mera korišćeni su rezultati istraživanja iz raznih studija, a koji su prikazani u tabeli 5.1. Za korekciju ovih faktora bi trebalo razviti posebnu metodologiju za primenu na naše uslove. To zahteva ozbiljan pristup koji prevazilazi potrebe ovog rada.

5.3 Procena efektivnosti izabranih tehničkih mera

U tabeli 5.3 su date mere koje će se posmatrati u ovom radu sa njihovim kratkim opisom.

Tabela 5.3 Mere koje će se razmatrati u ovom radu

<i>R. broj</i>	<i>Mera</i>	<i>Opis mere</i>
1.	Denivelacija	Modifikacija prelaza tako da vozači drumskog vozila mogu bezbedno preći prelaz.
2.	Osvetljenje	Osvetljenje je instalirano da osvetli prelaz noću.
3.	Video-nadzor	Video-kamera je instalirana na prelazu, a služi za detekciju prestupa u saobraćaju kako bi se sprovele odgovarajuće bezbednosne mere.
4.	Sa drumske signalizacije na svetlosnu signalizaciju	Obezbeđenje saobraćaja na putnim prelazima vrši se svetlosnim saobraćajnim znakovima kojima se najavljuje približavanje voza.
5.	Sa drumske signalizacije na polubranike	Polubranikom se zatvara saobraćaj na desnoj kolovoznoj traci, odnosno na desnoj polovini kolovoza puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge.
6.	Sa svetlosne signalizacije na polubranike	Polubranikom se zatvara saobraćaj na desnoj kolovoznoj traci, odnosno na desnoj polovini kolovoza puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge.
7.	Sa dva polubranika na četiri polubranika	Polubranikom se zatvara saobraćaj na desnoj i levoj kolovoznoj traci, odnosno na desnoj i levoj polovini kolovoza puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge.
8.	Branici	Branikom se zatvara drumski saobraćaj na celoj širini kolovoznog puta ispred putnog prelaza sa obe strane železničke pruge.
9.	Separatori	Separatori su fizičke prepreke koje se postavljaju po sredini kolovoza sa obe strane putnog prelaza, kao dopuna sistemu sa polubranicima, a u cilju sprečavanja zaobilaženja polubranika.
10.	Poboljšanje uslova na kolovozu	Poboljšanje kvaliteta kolovoza na prilazu i samom putnom prelazu.

U ovom delu je prikazano 10 numeričkih primera koji su urađeni kako bi se razvili različiti tipovi mera na izabranom prelazu. Zapravo, na ovaj način će biti prikazano kako se predloženi modeli frekvencije, težine posledica nesreća, kao i empirijskog rizika mogu koristiti za procenu efekata mera koje bi bile korišćene za određeni putni prelaz. U svrhu ilustracije tri različite mere su analitički razmatrane u ovom radu kroz dobijene modele:

- 1) Podizanje nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike,
- 2) Podizanje nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike i
- 3) Podizanje nivoa osiguranja sa polubranika na branike.

Preostalih sedam mera je razmatrano kroz prethodno sprovedena istraživanja, a to su:

- 1) Sa drumske signalizacije na svetlosnu signalizaciju,
- 2) Sa svetlosne signalizacije na polubranike,
- 3) Ugradnja četiri polubranika umesto postojećeg sistema sa dva polubranika,
- 4) Ugradnja separatora pored polubranika,
- 5) Uvođenje video-nadzora na putni prelaz,
- 6) Osvetljenje putnog prelaza i
- 7) Poboljšanje uslova na kolovozu.

5.4 Efekti bazirani na modelu predviđene frekvencije nesreća

5.4.1 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike

Ova mera se odnosi na podizanje nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike za dati putni prelaz. Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer je predstavljen u tabeli 5.4. Potrebno je naglasiti da su karakteristike putnog prelaza date u tabeli 5.3 u skladu sa promenljivama koje je prihvatio model predviđanja frekvencije nesreća, dat u tabeli 4.2.

Ovaj primer je proizašao i iz analize putnih prelaza visokog rizika (tabela 4.8). Većina putnih prelaza visokog rizika sa pasivnim osiguranjem (drumska signalizacija) se nalaze na magistralnim, jednokolosečnim prugama. Maksimalna brzina vozova na

posmatranom uzorku je 100 km/h, a kreće se od 80 do 100 km/h. Prelazi koji pripadaju ovom uzorku, a kod kojih je maksimalna brzina vozova manja od 80 km/h su isključeni iz razmatranja. Prelazi se nalaze na magistralnim, regionalnim, lokalnim putevima i ulicama. Ugao ukrštanja je 90 stepeni. Materijali na kolovozu su savremenijeg tipa. Širine prelaza se kreću do 6m.

Tabela 5.4 Primer karakteristika putnog prelaza za konkretan proračun

<i>Karakteristike prelaza</i>	<i>Opis podataka</i>	<i>Jedinica mere</i>
Dnevni broj vozova		30
Gustina drumskog saobraćaja u toku 24 časa (PGDS)		4 800
Izloženost prelaza saobraćaju	geometrijska sredina broja vozova i drumskih vozila	12
Maksimalna brzina voza	km/h	80
Broj koloseka	jedan kolosek	0
Vrsta materijala na kolovozu	asfalt, armirano-betonske ploče i gumeni paneli	1
Kategorija puta	nekategorisani put	0
Širina putnog prelaza	širina prelaza je $\leq 6\text{m}$	1
Vrsta osiguranja branici		0
Vrsta osiguranja	drumska signalizacija	1 (pre podizanja nivoa osiguranja)
	drumska signalizacija	0 (nakon podizanja nivoa osiguranja)

Zatim je urađena procena verovatnoće kod podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na bazi modela predviđanja nesreća koji je razvijen za podatke o prelazima u Srbiji, kao što je objašnjeno u delu 4 ovog rada.

Razvijeni su sledeći koraci:

Korak 1: Proračun očekivanog broj nesreća pre podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike korišćenjem Puasonovog modela sa viškom nula:

$$\lambda_i = \exp(-1.668 + 1 \cdot 0.984 - 0 \cdot -1.394 - 0 \cdot 530 + 12 \cdot 0.020 + 8 \cdot 0.122 - 0 \cdot 0.370 - 1 \cdot 0.228 + 0 \cdot 0.188) = 1.362$$

$$p_i = \exp(-1.159 + 1 \cdot 2.012 - 0 \cdot 0.579 - 0 \cdot 22.4 - 12 \cdot 0.0578 + 8 \cdot 0.0776 + 0 \cdot 0.462 - 1 \cdot 3.860 + 0 \cdot 3.771) = 0.0459$$

Prema formuli (3-13), $N_{ijk} = (1 - p_i)\lambda_i$,

$$N_{pijm} = (1 - 0.0459) \cdot 1.362 = 1.300$$

gde je:

λ_i – očekivana verovatnoća nesreća na putnom prelazu i koja se računa preko modela koji uzima vrednost prirodnih brojeva (count model), pre uvođenja mere,

p_i – očekivana verovatnoća nesreća na putnom prelazu i koja se računa preko modela koji uključuje nule (zero model), pre uvođenja mere,

N_{pijm} – broj procenjenih nesreća na putnom prelazu i pre uvođenja mere j , za proračunski model m . Ovde su ta mera polubranici.

Korak 2: Proračun očekivanog broj nesreća posle podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike korišćenjem Puasonovog modela sa viškom nula:

$$\lambda_i = \exp(-1.668 + 0 \cdot 0.984 - 0 \cdot -1.394 - 0 \cdot 530 + 12 \cdot 0.020 + 8 \cdot 0.122 - 0 \cdot 0.370 - 1 \cdot 0.228 + 0 \cdot 0.188) = 0.509$$

$$p_i = \exp(-1.159 + 0 \cdot 2.012 - 0 \cdot 0.579 - 0 \cdot 22.4 - 12 \cdot 0.0578 + 8 \cdot 0.0776 + 0 \cdot 0.462 - 1 \cdot 3.860 + 0 \cdot 3.771) = 0.0061$$

$$N_{nijm} = (1 - 0.0061) \cdot 0.509 = 0.486$$

gde je:

λ_i – očekivana verovatnoća nesreća na putnom prelazu i koja se računa preko count modela nakon uvođenja mere,

p_i – očekivana verovatnoća nesreća na putnom prelazu i koja se računa preko zero modela nakon uvođenja mere,

N_{nijm} – broj procenjenih nesreća na putnom prelazu i nakon uvođenja mere j za proračunski model m .

Korak 3: Proračun faktora redukcije nesreća (*FRN*-a) na bazi očekivanog broja nesreća pre i posle primene određene mere.

Prema formuli (5.1), nakon male modifikacije u cilju realizacije očekivanog, formula (5.1) može da se napiše kao [28] i [48] :

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} \quad (5.9)$$

gde je:

$E\{FRN_{ijm}\}$ – očekivana srednja vrednost *FRN*-a dobijena iz modela predviđanja frekvencije nesreća m za datu meru j na prelazu i . U ovom slučaju data mera j su polubranici.

$E\{N_{pijm}\}$ i $E\{N_{nijm}\}$ – očekivani broj nesreća izračunat na osnovu modela predviđanja frekvencije nesreća m , na putnom prelazu i , pre i nakon uvođenja mere j . Oni se dobijaju kao izlaz iz koraka 1 i koraka 2.

Primenom formule (5.9) dobijena je očekivana srednja vrednost vrednosti *FRN*-a na ovom primeru putnog prelaza, tako da je:

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{0.486}{1.360} = 0.374$$

Kao rezultat, prema modelu frekvencije nesreća, može se očekivati 63.6% [= (1 – 0.374) × 100] redukcije u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja

sa drumske signalizacije na polubranike na putnim prelazima čije su karakteristike date u tabeli 5.4.

Korak 4: Proračun disperzije od FRN .

Veoma je važno proceniti disperziju od FRN_{ijm} . Kako je isti model korišćen za procenu očekivanog broja nesreća pre i posle uvođenja mere (koraci 1 i 2), pretpostavka o nezavisnosti između ove dve procene nije više validna. Zbog toga je potrebno proceniti odstupanja između promenljivih koje su uključene u model.

Puasonov model sa viškom nula, kao i negativni binomni model sa viškom nula su isuviše kompleksni za proračun izvoda neophodnih za *delta metodu*, tako da je *bootstrap (bootstrap) metoda* pogodnija. *Bootstrap metoda* se preporučuje za proračun odstupanja između promenljivih koje su uključene u model, [49] i [50]:

$$D (FRN) = (FRN)^2 Var (\hat{\beta}_{ni} - \hat{\beta}_{pi}) \quad (5.10)$$

$$D \{E\{FRN_{ijm}\}\} = 0.004$$

Na ovaj način se izračunava srednja vrednost i odstupanje koji se dalje koriste kao drugi ulaz u ocenu podataka.

5.4.2 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike

Drugi primer primene se odnosi na ugrađivanje branika na putnim prelazima koji su opremljeni samo drumskom signalizacijom. Za ovaj primer koristi se putni prelaz u tabeli 5.5, sa istim atributima kao i u tabeli 5.4, sa izuzetkom statusa vrste osiguranja.

Tabela 5.5 Primer karakteristika prelaza za konkretan proračun

<i>Karakteristike putnog prelaza</i>	<i>Opis podataka</i>	<i>Jedinica mere</i>
Kategorija pruge	magistralna	1
Dnevni broj vozova		30
Gustina drumskog saobraćaja u toku 24 časa (PGDS)		4 800
Izloženost prelaza saobraćaju	geometrijska sredina broja vozova i drumskih vozila	12
Maksimalna brzina voza	km/h	80
Broj koloseka	jedan kolosek	0
Kategorija puta	nekategorisani put	0
Širina putnog prelaza	širina prelaza je $\leq 6\text{m}$	1
Vrsta osiguranja	drumska signalizacija	1 (pre podizanja nivoa osiguranja)
	branici	1 (nakon podizanja nivoa osiguranja)

Proračun se vrši prema koracima koji su opisani u prethodnom primeru. Pre svega se računa očekivani broj nesreća pre podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike N_{pijm} :

$$\lambda_i = \exp(-1.668 + 0 \cdot 0.984 - 0 \cdot -1.394 - 0 \cdot 530 + 12 \cdot 0.020 + 8 \cdot 0.122 - 0 \cdot 0.370 - 1 \cdot 0.228 + 0 \cdot 0.188) = 1.362$$

$$p_i = \exp(-1.159 + 1 \cdot 2.012 - 0 \cdot 0.579 - 0 \cdot 22.4 - 12 \cdot 0.0578 + 8 \cdot 0.0776 + 0 \cdot 0.462 - 1 \cdot 3.860 + 0 \cdot 3.771) = 0.0459$$

$$N_{pijm} = (1 - 0.0459) \cdot 1.362 = 1.300$$

Zatim se računa očekivani broj nesreća nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike N_{nijm} :

$$\lambda_i = \exp(-1.668 + 0 \cdot 0.984 - 1 \cdot -1.394 - 0 \cdot 530 + 12 \cdot 0.020 + 8 \cdot 0.122 - 0 \cdot 0.370 - 1 \cdot 0.228 + 0 \cdot 0.188) = 0.126$$

$$p_i = \exp(-1.159 + 1 \cdot 2.012 - 1 \cdot 0.579 - 0 \cdot 22.4 - 12 \cdot 0.0578 + 8 \cdot 0.0776 + 0 \cdot 0.462 - 1 \cdot 3.860 + 0 \cdot 3.771) = 0.0034$$

$$N_{nijm} = (1 - 0.0034) \cdot 0.126 = 0.126$$

Faktor redukcije nesreća za primenu ove mere na putnom prelazu određenih karakteristika (tabela 5.5) je:

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{0.126}{1.300} = 0.097$$

Kao rezultat, prema modelu frekvencije nesreća, može se očekivati 90% redukcije u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na branike na putnim prelazima čije su karakteristike date u tabeli 5.5.

Za ovaj primer odstupanje između promenljivih je:

$$D\{E\{FRN_{ijm}\}\} = Var\{0.097\} = 0.00092$$

5.4.3 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa polubranika na branike

Faktor redukcije nesreća za primenu ove mere koja se odnosi na zamenu polubranika sa branicima na putnom prelazu određenih karakteristika (tabela 5.5) je:

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{0.126}{0.486} = 0.26$$

Kao rezultat, prema modelu frekvencije nesreća, može se očekivati 74% redukcije u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa polubranika na branike na putnim prelazima čije su karakteristike date u tabeli 5.5. Odstupanje za ovo matematičko očekivanje (0.26) i znosi:

$$D\{x_{ijk}\} = Var\{0.26\} = 0.0066$$

5.5 Efekti bazirani na multinomnom logističkom modelu

Efekti primene određenih mera na težinu posledica nesreća na putnim prelazima računati su primenom dobijenog multinomnog logističkog modela, a preko količnika relativnog rizika.

5.5.1 Efekti od podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike

Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer je predstavljen u tabeli 5.6. Potrebno je naglasiti da su karakteristike putnog prelaza date u tabeli 5.6 u skladu sa promenljivama koje je prihvatio model predviđanja težine posledica nesreća, date u tabeli 4.4.

Tabela 5.6 Primer karakteristika putnog prelaza za konkretan proračun

<i>Karakteristike prelaza</i>	<i>Opis podataka</i>	<i>Jedinica mere</i>
Kategorija pruge	magistralna	1
Dnevni broj vozova		30
Gustina drumskog saobraćaja u toku 24 časa (PGDS)		4 800
Izloženost prelaza saobraćaju	geometrijska sredina broja vozova i drumskih vozila	12
Maksimalna brzina voza	km/h	80
Broj koloseka	jedan kolosek	0
Širina putnog prelaza	širina putnog prelaza je $\leq 6\text{m}$	1
Vrsta osiguranja branici		0
Vrsta osiguranja	drumska signalizacija	1 (pre podizanja nivoa osiguranja)
	drumska signalizacija	0 (nakon podizanja nivoa osiguranja)

Najpre se računa količnik verovatnoće pre i posle uvođenja mere RRR_1 za lakše posledice tj. $y = 1$:

$$RRR_1 = \exp(\beta_{1;0} + \beta_{1;1}VOSIG + \beta_{1;2}VOBR + \beta_{1;3}SIRPP + \beta_{1;4}MBRZ + \beta_{1;5}EXPO + \beta_{1;6}BRKOLB + \beta_{1;7}KATPRM)$$

$$RRR_1^p = \exp(\beta_{1;0} + \beta_{1;1}1 + \beta_{1;2}0 + \beta_{1;3}1 + \beta_{1;4}80 + \beta_{1;5}12000 + \beta_{1;6}0 + \beta_{1;7}1)$$

$$RRR_1^n = \exp(\beta_{1;0} + \beta_{1;1}0 + \beta_{1;2}0 + \beta_{1;3}1 + \beta_{1;4}80 + \beta_{1;5}12000 + \beta_{1;6}0 + \beta_{1;7}1)$$

Očekivani faktor redukcije nesreća za ovaj primer se računa prema sledećem:

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_1^p\}}{E\{RRR_1^n\}} = \frac{\exp(0)}{\exp(\beta_{1;1} \cdot 1)} = \exp(-\beta_{1;1}) = \exp(-1.33) = 0.264$$

gde je:

RRR_1^p – količnik verovatnoće za $y = 0$ i $y = 1$ pre uvođenja mere, a posmatrana mera su polubranici,

RRR_1^n – količnik verovatnoće za $y = 0$ i $y = 1$ nakon uvođenja mere tj. polubranika.

$E\{FRN_{ijm}\}$ – očekivana redukcija lakših posledica po nesreći, na putnom prelazu i za datu meru j dobijena iz modela predviđanja posledica nesreća m .

Kao rezultat, prema modelu posledica nesreća, može se očekivati 74% [= $(1 - 0.264) \times 100$] redukcije lakših posledica u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na putnim prelazima čije su karakteristike date u tabeli 5.6.

Zatim se vrši proračun količnika verovatnoće pre i posle uvođenja mere RRR_2 za teže posledice tj. $y = 2$:

$$RRR_2 = \exp(\beta_{2;0} + \beta_{2;1}VOSIG + \beta_{2;2}VOBR + \beta_{2;3}SIRPP + \beta_{2;4}MBRZ + \beta_{2;5}EXPO + \beta_{2;6}BRKOLB + \beta_{2;7}KATPRM)$$

$$RRR_2^p = \exp(\beta_{2;0} + \beta_{2;1}1 + \beta_{2;2}0 + \beta_{2;3}1 + \beta_{2;4}80 + \beta_{2;5}12000 + \beta_{2;6}0 + \beta_{2;7}1)$$

$$RRR_2^n = \exp(\beta_{2;0} + \beta_{2;1}0 + \beta_{2;2}0 + \beta_{2;3}1 + \beta_{2;4}80 + \beta_{2;5}12000 + \beta_{2;6}0 + \beta_{2;7}1)$$

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_2^p\}}{E\{RRR_2^n\}} = \frac{\exp(0)}{\exp(\beta_{2;1} \cdot 1)} = \exp(-\beta_{2;1}) = \exp(-0.65) = 0.52$$

gde je:

RRR_2^p – količnik verovatnoće za $y = 0$ i $y = 2$ pre uvođenja mere, a posmatrana mera su polubranici,

RRR_2^n – količnik verovatnoće za $y = 0$ i $y = 2$ nakon uvođenja mere tj. polubranika,

$E\{FRN_{ijm}\}$ – očekivana redukcija težih posledica po nesreći, na putnom prelazu i za datu meru j dobijena iz modela predviđanja posledica nesreća m .

Kao rezultat, prema modelu posledica nesreća, može se očekivati 48% redukcije težih posledica u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na putnim prelazima čije su karakteristike navedene u tabeli 5.6.

5.5.2 Efekti promene osiguranja sa drumske signalizacije na branike

Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer je predstavljen u tabeli 5.7.

Tabela 5.7 Primer karakteristika putnog prelaza za konkretan proračun

<i>Karakteristike prelaza</i>	<i>Opis podataka</i>	<i>Jedinica mere</i>
Kategorija pruge	magistralna	1
Dnevni broj vozova		30
Gustina drumskog saobraćaja u toku 24 časa (PGDS)		4 800
Izloženost prelaza saobraćaju (exposure)	geometrijska sredina broja vozova i drumskih vozila	12
Maksimalna brzina voza	km/h	80
Broj koloseka	jedan kolosek	0
Širina putnog prelaza	širina putnog prelaza je $\leq 6m$	1
Vrsta osiguranja	drumska signalizacija	1 (pre podizanja nivoa osiguranja)
	branici	1 (nakon podizanja nivoa osiguranja)

Očekivana redukcija lakših posledica po nesreći na putnom prelazu za ovu meru je:

$$RRR_1^p = \exp(\beta_{1;0} + \beta_{1;1}1 + \beta_{1;2}0 + \beta_{1;3}1 + \beta_{1;4}80 + \beta_{1;5}12000 + \beta_{1;6}0 + \beta_{1;7}1)$$

$$RRR_1^n = \exp(\beta_{1;0} + \beta_{1;1}0 + \beta_{1;2}1 + \beta_{1;3}1 + \beta_{1;4}80 + \beta_{1;5}12000 + \beta_{1;6}0 + \beta_{1;7}1)$$

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_1^p\}}{E\{RRR_1^n\}} = \frac{\exp(\beta_{1;2})}{\exp(\beta_{1;1})} = \frac{\exp(-1.28)}{\exp(1.33)} = 0.07$$

Analogno gornjem proračunu očekivana redukcija težih posledica po nesreći na putnom prelazu za ovu meru je:

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_2^p\}}{E\{RRR_2^n\}} = \frac{\exp(\beta_{2;2})}{\exp(\beta_{2;1})} = \frac{\exp(-1.28)}{\exp(1.33)} = 0.08$$

Kao rezultat, prema modelu posledica nesreća, može se očekivati 93% redukcije lakših, odnosno 94% redukcije u težim posledicama u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike na putnim prelazima čije su karakteristike navedene u tabeli 5.7.

5.5.3 Efekti promene osiguranja sa polubranika na branike

Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer mere je kao prema tabeli 5.7, sa izuzetkom statusa vrste osiguranja.

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_1^p\}}{E\{RRR_1^n\}} = \exp(-1.27) = 0.28$$

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{RRR_2^p\}}{E\{RRR_2^n\}} = \exp(-1.93) = 0.15$$

Kao rezultat, prema modelu posledica nesreća, može se očekivati 72% redukcije lakših, odnosno 85% redukcija težih posledica u nesrećama nakon podizanja nivoa osiguranja sa polubranika na branike na putnim prelazima čije su karakteristike navedene u tabeli 5.7.

5.6 Efekti bazirani na modelu empirijskog rizika

5.6.1 Promena osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike

Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer je predstavljen u tabeli 5.8. Potrebno je naglasiti da su karakteristike putnog prelaza date u tabeli 5.8 u skladu sa promenljivama koje je prihvatio model predviđanja empirijskog, date u tabeli 4.6.

Tabela 5.8 Primer karakteristika putnog prelaza za konkretan proračun

<i>Karakteristike prelaza</i>	<i>Opis podataka</i>	<i>Jedinica mere</i>
Dnevni broj vozova		30
Gustina drumskog saobraćaja u toku 24 časa (PGDS)		3 000
Izloženost prelaza saobraćaju	geometrijska sredina broja vozova i drumskih vozila	12
Vrsta materijala na kolovozu	asfalt, armirano-betonske ploče i gumeni paneli	0
Maksimalna brzina voza	km/h	80
Broj koloseka	jedan kolosek	0
Širina putnog prelaza	širina putnog prelaza je $\leq 6\text{m}$	1
Vrsta osiguranja branici		0
Vrsta osiguranja	drumska signalizacija	1 (pre podizanja nivoa osiguranja)
	drumska signalizacija	0 (nakon podizanja nivoa osiguranja)

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{1.23}{0.64} = 0.52$$

Kao rezultat, prema modelu empirijskog rizika, može se očekivati 48% redukcije u empirijskom riziku nakon podizanja nivoa osiguranja sa drumske signalizacije na polubranike 5.8.

5.6.2 Promena osiguranja sa drumske signalizacije na branike

Rezime karakteristika prelaza za ovaj primer mere je kao prema tabeli 5.8, sa izuzetkom statusa vrste osiguranja.

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{1.23}{0.08} = 0.065$$

5.6.3 Promena osiguranja sa polubranika na branike

Prema istoj analogiji kao i u prethodnom primeru, rezime karakteristika prelaza za ovaj primer mere je kao prema tabeli 5.8, sa izuzetkom statusa vrste osiguranja.

$$E\{FRN_{ijm}\} = \frac{E\{N_{nijm}\}}{E\{N_{pijm}\}} = \frac{0.08}{0.64} = 0.124$$

5.7 Efekti četiri polubranika

Neke bezbednosne mere, kao što su četiri polubranika ili separatori, još nisu primenjeni na putnim prelezima u Srbiji. Iz tog razloga nisu se mogli izvesti zaključci iz modela koji su podržani podacima. Stoga se može koristiti početna raspodela parametara (apriorna raspodela) da bi se procenili efekti mera. Osvetljenje putnih prelaza kao i primena video-nadzora su mere koje su primenjene na manjem broju putnih prelaza da bi modeli mogli dati neke rezultate.

Primeru radi, pretpostavimo da donosioci odluke u Železnicama Srbije žele da znaju koliko bi dobili na bezbednosti instaliranjem sistema sa četiri polubranika na putnom prelazu gde je prethodno instaliran klasični sistem sa dva polubranika. Prethodno je napomenuto da takvu informaciju nije moguće obezbediti iz razvijenih modela jer ne postoje podaci o takvom sistemu u bazi podataka. Prema tome, najbolje zaključke je moguće sprovesti iz prethodnih istraživanja sadržanih u tabeli 5.1. Prema tim istraživanjima za sedam studija koliko je istraženo u ovom radu, za ovu meru srednji faktor redukcije nesreća je $\sigma(FRN) = 0.207$. Kao rezultat, očekivana moguća redukcija

u nesrećama uvođenjem ove mere bi bila oko 79.3%. Slično, efekti nekoliko istraživanih mera u tabeli 5.1 mogu biti direktno korišćeni za predstavljanje konačne ocene bezbednosti vezano za tu meru uključujući instaliranje separatora, osvetljenje i video-nadzor.

Prema tim istraživanjima, za četiri studije koliko je istraženo u ovom radu za instaliranje separatora na putnim prelazima koji su osigurani polubranicima srednji faktor redukcije nesreća je $\sigma(FRN) = 0.334$. Kao rezultat, očekivana moguća redukcija u nesrećama uvođenjem ove mere bi bila oko 66.6 %.

Prema sprovedenim istraživanjima za šest izvora za osvetljenje putnog prelaza srednji faktor redukcije nesreća je $\sigma(FRN) = 0.453$. Kao rezultat, očekivana moguća redukcija u nesrećama uvođenjem ove mere bi bila oko 54.7 %.

6 PONAŠANJE VOZAČA NA PUTNOM PRELAZU SA PASIVNOM SIGNALIZACIJOM

6.1 Ponašanje vozača na putnim prelazima

Jedan od ciljeva ove disertacije je bio i istraživanje neposrednog ponašanja vozača drumskih vozila na izabranom putnom prelazu. Treba napomenuti da još nisu vršena detaljnija istraživanja u vezi sa ovom važnom problematikom na Železnicama Srbije. Međutim, u svetu se ovoj problematici pridaje značaj i postoji veliki broj studija na ovu temu. Zemlje koje prednjače u proučavanju ove problematike su visoko razvijene zemlje poput Amerike, Kanade, Australije i Koreje.

Kako ne postoji projekat Železnica Srbije na ovu temu, gde bi se istražilo ponašanje vozača drumskih vozila na većem uzorku sa različitim karakteristikama (fizičkim, lokacijskim, kao i različitim sistemima osiguranja), istraživanja sprovedena u ovom radu, zbog nedostatka materijalnih sredstava i istraživača nisu mogla obraditi veći uzorak koji bi sigurno dao pouzdanije rezultate o ponašanju vozača drumskih vozila na putnim prelazima.

Istraživanja u ovom radu su se svela na jedan putni prelaz u ruralnoj sredini koji je bio osiguran samo drumskom signalizacijom. Prema saznanjima autora, posmatrani putni prelaz je bio u programu Železnica Srbije za podizanje nivoa osiguranja, kao jedan od problematičnih prelaza na kojem su se dešavale brojne nesreće.

Ovaj prelazak sa jednog sistema osiguranja na drugi bio je pogodan da bi se sprovedo istraživanje u cilju sagledavanja ponašanja vozača u dva različita sistema, tj. nižeg i višeg stepena osiguranja kao bezbednosnih efekata koji su proizašli iz toga.

Ponašanje vozača drumskih vozila na putnim prelazima – „ponašanje vozača” se može široko definisati i obuhvata ne samo očigledne radnje već se takođe odnosi i na percepciju, proces odlučivanja, znanje i stavove. U [52] data je opširna analiza svih aspekata ponašanja vozača na putnim prelazima.

Određeni putni prelaz, sa pripadajućim uređajima za kontrolu saobraćaja, posmatra se kao deo železničko-drumskog sistema. Nadalje, vozač unosi u ovaj sistem svoju percepciju i navike, uključujući, u većini slučajeva, znatnu upoznatost sa određenim putnim prelazom.

Istraživanje u [52] uključuje sledeća područja:

- **Razumevanje:** uređaja za kontrolu saobraćaja, odgovornosti vozača, kao i mogućnosti dešavanja nesreće,
- **Percepciju:** dinamički faktori u perceptualnom procenjivanju kao što su brzina voza, udaljenost voza i sopstvena brzina,
- **Donošenje odluke:** u svim tačkama, uključujući prilaz putnom prelazu, kao i odluku o prelasku nastaviti ili stati,
- **Odgovornost:** prema uređajima za kontrolu saobraćaja, kao i zakonskoj regulativi na putnim prelazima,
- **Uticaji:** alkohol, droga i umor,
- **Karakteristike vozača:** godine, pol, prihvatanje rizika i poznavanje putnog prelaza.

U radu [52] je identifikovano 14 značajnih faktora koji potencijalno doprinose donošenju odluke na putnim prelazima sa aspekta vozača kao donosioca odluka, a koji su ukratko opisani nadalje.

1. Ograničenja u informacijama i dvosmislenosti

Informacije predstavljene vozaču mogu biti i ograničene i dvosmislene. Neki od primera ograničenih informacija uključuju: razliku između aktivne i pasivne signalizacije prilikom njihovih uočavanja, uočavanje brzine dolazećeg voza, kao i udaljenosti voza od putnog prelaza.

Primer nejasne situacije je da se vozač približava putnom prelazu svestan da ne vidi nikakvo trepćuće svetlo. Da li to znači da je putni prelaz pasivan, aktivan putni prelaz kome se voz ne približava, aktivan putni prelaz sa svetlosnom signalizacijom, ali svetla još nisu uočljiva, ili aktivan prelaz sa signalizacijom koja ne radi ispravno?

2. Kredibilitet informacija

Upozorenja gube svoju efikasnost ukoliko nisu verodostojna, a to se odnosi na uređaje za kontrolu saobraćaja. Kredibilitet može biti oslabljen usled okolnosti kao što su: neprimereno dugo upozoravajuće vreme, lažna signalizacija ili čak putni prelazi sa malim obimom železničkog saobraćaja gde se vozači više puta susreću sa (pasivnim) upozorenjem, ali bez nailaska voza.

3. Očekivanja u pogledu vozova

Vozači generalno imaju očekivanja u vezi sa saobraćajem vozova i mogu da se pojave specifična očekivanja u vezi sa određenim putnim prelazom. Studije koje su se bavile izučavanjem nesreća na putnim prelazima su pokazale da je znatan broj žrtava lokalno stanovništvo koje poznaje i često koristi putni prelaz. Relevantni tipovi očekivanja uključuju verovatnoću nailaska voza, kao i brzinu vozova.

4. Očekivanja u pogledu putnog prelaza

Vozači takođe imaju očekivanja u vezi sa samim putnim prelazom. Na primer, mnogi vozači veruju da je većina putnih prelaza osigurana aktivnom signalizacijom. Očekivanja takođe mogu biti povezana sa prirodom puta, na primer, ako se radi o putu većeg ranga sa dobrom preglednošću, vozači ne očekuju probleme sa preglednošću duž pruge.

5. „Troškovi” zbog pridržavanja saobraćajnih propisa

Prilikom donošenja odluke vozača o prelasku putnog prelaza, pretpostavka je da on procenjuje i dužinu sopstvenog kašnjenja zbog čekanja na putnom prelazu. Gledano kao izbor u situaciji, odluka može da ima aspekt „troška” i aspekt „koristi”. Aspekt troškova pridržavanja upozorenja na putnom prelazu uključuje kašnjenja vozača ili druge smetnje.

6. Vremenska ograničenja

Za obradu informacija, donošenje odluke i sprovođenje te odluke je potrebno vreme. Trajanje tog procesa može biti dugo u odnosu na vremenska ograničenja koja se nameću na mnogim putnim prelazima zbog faktora kao što su ograničena preglednost, brzina vozila, brzina voza i složenost odluka.

7. Konkurentski zahtevi

Vozači su primorani da dele pažnju na razne podzadatke u vožnji. Razmatranje verovatnoće nailaska voza ili vremena zatvaranja utiču na to da vozači treba da reše više zahteva. Drugi zahtevi mogu biti: mogući konflikti sa drugim drumskim vozilima na samom prelazu, geometrija puta, kao i stanje na kolovozu. Jedan od primera stanja na kolovozu je neravan kolovoz koji može da odvuče pažnju vozača od drugih faktora koji utiču na donošenje odluke.

8. Donošenje odluke kao remetilačka aktivnost

Sam čin potrebe da se donese odluka može biti remetilački faktor. Povećano „mentalno opterećenje” i prebacivanje pažnje može ugroziti donošenje ispravne odluke. Pored toga, mentalna aktivnost može da utiče na ponašanje koje nije svojstveno vozaču, na primer, vozač može da uspori u toku donošenja odluke, ali da to usporavanje ne uzme u obzir u donesenoj odluci.

9. Prepoznavanje sposobnosti

U donošenju bezbednih odluka vozači treba da prepoznaju svoje sposobnosti i ograničenja. Da mogu mirno da procene brzinu i udaljenost voza na način na koji ih je vozač svestan zbog različitih „iluzija” u vezi sa tim.

10. Konfliktne poruke

Signalni znaci i signalizacija na putnom prelazu samo su deo ukupne poruke koju vozač dobija formalno i neformalno. Pojave na putu, kao i aktivnosti u saobraćaju mogu da nose poruku sa dodatnim konfliktnim sadržajem.

11. Ostali bezbednosni razlozi

Aktivnost vozača može biti pod uticajem drugih bezbednosnih faktora kao što je rizik od udesa sa drugim vozilima, posebno sa vozilima koja se nalaze iza. Promenljivost u brzini postaje veća u blizini putnog prelaza i razmak između vozila je manji kada neka vozila usporavaju.

12. Napor

Bezbedno ponašanje je osetljivo na stepen napora koji je uključen čak i kada taj napor izgleda trivijalno u odnosu na posledice sudara. Jedan od primera je na putnom prelazu pod oštrim uglom gde vozač mora značajno da se okrene i pogleda u jednom pravcu.

13. Socijalni uticaji

Vožnja je aktivnost koja ne uzima mesta u socijalnom prostoru, a može biti pod uticajem socijalnih faktora. Na primer, vozači obično donose opreznije odluke kada postoje putnici u automobilu, osim kada je muški vozač u pratnji muških putnika, u kom slučaju odluke mogu biti rizičnije. Odluke vozača mogu takođe biti pod uticajem drugih vozača na razne načine.

14. Emocionalne reakcije

Vozačeve odluke mogu biti pod uticajem emocionalnog stanja. Na primer, frustracije od vožnje u saobraćaju mogu da dovedu do nestrpljenja i agresivne vožnje.

Pored navedenog, postoje i faktori koji imaju uticaja na donošenje odluka kao što su vidljivost, problemi sa perceptualnim procenjivanjem, stavovi prema zakonu i bezbednosti, uticaj alkohola i droga.

6.2 Ponašanje vozača na konkretnom izabranom pasivnom putnom prelazu

Poznato je da pasivna signalizacija ne nudi zaštitu vozačima [53]. Ovakvi sistemi pomažu vozačima pružajući informaciju o tome da nailaze na putni prelaz, pa prema tome, i mogućnosti da se putnom prelazu približava voz [54]. Na pasivnim putnim prelazima, vozač je u funkciji detektora signala, a voz je signal [55]. Kada je vozač prepoznao prisustvo prelaza, odgovornost je na vozaču da utvrdi da li se približava voz [53] i [56]. Neizvesnost u odlučivanju može dovesti do nedoslednog ponašanja i u odnosu na druge vozače, naročito kada odluka da se zaustavi na putnom prelazu nije moguća ili nije opravdana [53]. Vozač mora da utvrdi kako da postupi, na osnovu zajedničkog razmatranja svojih pristupnih parametara (brzina drumskog vozila) i onih od strane voza (npr. pravac nailaska, brzina i udaljenost voza) [57]. Čak i kada vozač traži voz, mogu da postoje poteškoće u proceni brzine i vremena koje je preostalo do nailaska voza. Kada je voz uočen, vozač mora da odluči da li je bezbedno da nastavi prelazak preko pruge i onda preduzima odgovarajuće mere [34].

Prilazni parametri vozača uključuju i ograničenja u daljini preglednosti. Kada je preglednost ograničena, bilo bi logično pretpostaviti da je takvo ograničenje povezano sa većim učešćem nesreća zbog toga što je veći rizik povezan sa opstrukcijom u lateralnoj vidljivosti [37], [58], [59].

Ova studija je sprovedena direktnim posmatranjem i istraživanjem ponašanja vozača u situaciji kada voz prilazi putnom prelazu osiguranom pasivnom signalizacijom. Ovaj rad istražuje sledeće: (1) u kolikoj meri vozači zanemaruju voz koji se približava i prelaze ispred njega; (2) ukoliko odluče da pređu ispred nailazećeg voza, koliku bezbednosnu marginu sebi ostavljaju; (3) koliko na bezbednosnu marginu utiču

udaljenost voza od putnog prelaza i varijacije u brzini voza; (4) procenu rizičnog prelaska kada vozilo pređe ispred nailazećeg voza.

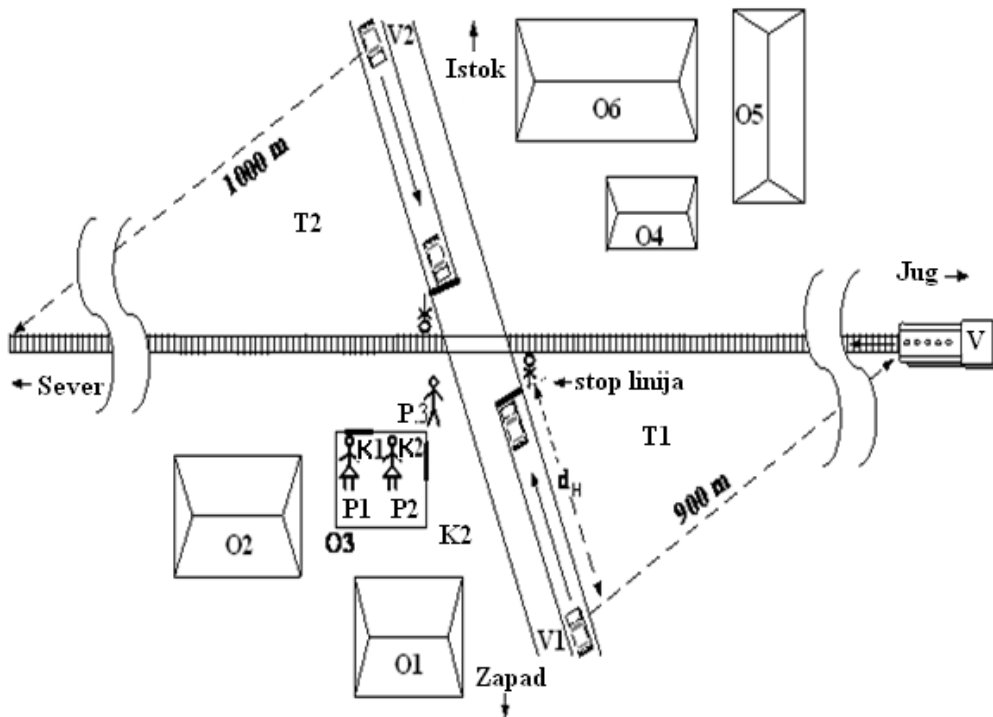
6.2.1 Metodologija

6.2.1.1 Opis posmatranog putnog prelaza

Posmatrani prelaz se nalazi na jugu Srbije u naseljenom mestu Čapljinac u blizini Niša. Naselje je ruralno, a put je lokalnog karaktera. Prosečna dnevna gustina drumskog saobraćaja je oko 500 drumskih vozila. Prilazna brzina drumskih vozila je ograničena na 30 km/h.

Pruga je magistralna, jednokolosečna, deo Koridora 10. Saobraćaj na pruzi je mešovit, putnički i teretni. Dnevni broj realizovanih vozova je oko 20. Preko putnog prelaza pruga je u horizontali (0‰). Dozvoljena brzina na pruzi je 100 km/h. Izmerena brzina vozova preko putnog prelaza je između 30 i 95 km/h. Pružna signalizacija na putnom prelazu je locirana na udaljenosti od 500 m, sa obe strane putnog prelaza.

Na slici 6.1 je prikazan posmatrani putni prelaz koji je osiguran samo drumskom signalizacijom (Andrejin krst i znak „stop”) na obe strane. Na istočnoj (I) i na zapadnoj strani (Z) signalizacija se nalazi na oko 5 m od pruge. Na istočnoj strani put i pruga su u istom nivou, dok je na zapadnoj strani put u blagom usponu u odnosu na prugu. Put i pruga se ukrštaju pod uglom od 60 stepeni. Udaljenost d_H je preglednost merena duž puta od znaka „stop” do vozača drumskog vozila koja omogućava vozilu da se bezbedno zaustavi bez ugrožavanja putnog prelaza.



Slika 6.1 Izgled posmatranog putnog prelaza

Vozač drumskog vozila (V1) koji nailazi iz smera jug-zapad (J-Z) ima, u dužini d_H , kompletnu preglednost pruge sa desne strane u dužini od 900 m prema jugu (J). Isti vozač nema preglednost druge strane pruge, prema severu (S), zbog objekata (O1, O2, i O3) dok ne dođe do „stop” linije. Suprotno tome, vozač drumskog vozila (V2) koji prilazi putnom prelazu iz smera sever-istok (S-I) sa svoje desne strane ima, sa udaljenosti d_H , kompletnu vidljivost duž pruge u dužini od 1 000 m prema severu (S). Isti vozač nema preglednost druge strane pruge smer jug (J), zbog objekata (O4, O5, i O6), dok ne dođe do „stop” linije.

U poslednjih deset godina se dogodilo nekoliko nesreća na posmatranom putnom prelazu, od kojih je nekoliko imalo fatalne posledice. Prema planovima Železnica Srbije, na ovom putnom prelazu se predviđa podizanje nivoa osiguranja sa drumske na svetlosnu signalizaciju sa polubranicima.

6.2.2.2 Subjeki studije

Subjeki ovog istraživanja su vozači drumskih vozila koji su naišli na putni prelaz pre nailaska voza. Istraživanje je vršeno u proleće u toku jedne nedelje, u različitim periodima dana u toku dnevnog dela dana. Period dana u kome je istraživanje vršeno

zavisilo je od frekvencije železničkog saobraćaja. Vremenski uslovi su bili odgovarajući, a vidljivost dobra.

6.2.2.3 Procedura posmatranja i prikupljanja podataka

U svrhu posmatranja i snimanja ponašanja vozača drumskih vozila na izabranom putnom prelazu, tri istraživača su bila simultano uključena (P1, P2 i P3), kako je prikazano na slici 6.1. Dva istraživača (P1 i P2) su bila locirana u malom železničkom objektu (O3) i oni su snimali drumski saobraćaj iz tog objekta, koristeći dve instalirane video-kamere (K1 i K2). Oni nisu bili uočljivi vozačima drumskih vozila, niti su mogli da utiču na njihovo ponašanje. Treći istraživač (P3) je bio lociran na putnom prelazu sa zadatkom da osmatra signalizaciju na pruzi, a koja signalizira nailazak voza (V).

Informacija o nailazećem vozu je dobijena vizuelnim osmatranjem signalizacije na pruzi od strane trećeg istraživača. Železnička stanica je udaljena oko 1.5 km od putnog prelaza severno. Ulazni signal za železničku stanicu je lociran na udaljenosti od 500 m od putnog prelaza, dok je pružni signal automatskog pružnog bloka na sličnoj udaljenosti sa južne strane. Ukoliko voz saobraća sa juga ka severu, pružni signal pokazuje signalni znak za dozvoljenu vožnju, a ukoliko saobraća sa severa ka jugu, ulazni signal u stanicu pokazuje signalni znak za dozvoljenu vožnju. Oko pet minuta prođe od momenta promene signala do momenta kada treći istraživač uoči nailazeći voz. To vreme je bilo dovoljno da preostala dva istraživača pripreme video-kamere za snimanje. Udaljenost pri kojoj treći istraživač uočava nailazeći voz je 1 000 m južno i 900 m severno.

Nakon uočavanja promene na signalu koji inicira skori nailazak voza, treći istraživač obaveštava preostala dva istraživača kako bi se pripremili za snimanje. Snimanje drumskog saobraćaja je trajalo sve do nailaska voza na putni prelaz. U trenutku uočavanja voza treći istraživač uključuje štopericu i meri vreme koje je potrebno da voz dođe do putnog prelaza. Zatim istraživač beleži sledeće podatke: (1) trenutak uočavanja voza, (2) trenutak nailaska voza na putni prelaz, (3) smer nailaska voza, i (4) vrstu voza.

Nakon sprovedenog direktnog istraživanja na terenu, video-snimci i sakupljeni podaci su analizirani. Na osnovu svih sakupljenih podataka napravljena je odgovarajuća baza podataka koja je služila za dalja istraživanja.

Za svaki nailazak voza analizirani su video-zapisi i sledeći podaci neophodni za ovo istraživanje su zabeleženi: (1) trenutak nailaska drumskog vozila na putni prelaz, (2) da li je vozač stao ispred nailazećeg voza ili je nastavio vožnju, (3) trenutak kada je drumsko vozilo prešlo putni prelaz, (4) ponašanje vozača pre prelaska, da li je stao, usporio, ili je prešao bez usporavanja i (5) trenutak nailaska voza na putni prelaz.

U narednom istraživanju svaki pojedinačan nailazak drumskog vozila na putni prelaz od trenutka kada je istraživač zabeležio nailazak voza naziva se „slučaj”. Nailazak drumskog vozila koje se zaustavilo ispred nailazećeg voza je definisano kao trenutak kada se drumsko vozilo zaustavilo na „stop” liniji. Za one vozače koji nisu stali, zabeležen je trenutak kada je vozilo ušlo u slobodni profil pruge na putnom prelazu. Za ovakvo vozilo trenutak prelaska predstavlja trenutak kada je drumsko vozilo napustilo slobodni profil pruge.

6.2.2 Rezultati i diskusija

6.2.2.1 Ponašanje vozača

U toku perioda posmatranja zabeležen je 61 slučaj nailaska vozila na posmatranom putnom prelazu.

Ukupno 35 vozača (57 %) je prešlo ispred nailazećeg voza nakon što ga je uočilo. Od ovih 35 vozača, 17 vozača (48 %) je usporilo pre prelaska, 10 vozača (29 %) se zaustavilo pre prelaska, dok 8 vozača (23 %) nije niti stalo niti usporilo pre prelaska. U jednom slučaju, vozač je već bio na pruzi na 8 sekundi pre nailaska voza i vratio se nazad. Istraživanja u teoriji detekcije signala su pokazala da je iz razloga male frekvencije vozova na putnim prelazim sa pasivnim sistemom zaštite, ponašanje vozača ima tendenciju ka nezaustavljanju ispred nailazećeg voza [55]. Putni prelazi sa pasivnim sistemom zaštite obično imaju manji obim drumskog i železničkog saobraćaja, a korisnici putnog prelaza su obično grupa lokalnih vozača koji mogu, a ne moraju biti reprezentativni u vozačkoj populaciji generalno [61].

Ponašanje vozača svakako varira i u funkciji od vrednosti raznih parametara, kao što su da li je vozač uočio pasivnu signalizaciju, kada je uočio nailazeći voz, sposobnost usporavanja vozila, kao i raznih drugih personalnih parametara.

U posmatranom uzorku većina vozača (48%) je usporila tokom prilaska putnom prelazu, verovatno da bi uočila nailazeći voz, što je u saglasnosti sa opservacionom studijom [54].

Vozači uglavnom usporavaju ispred prelaza, tako da mogu bezbedno da se zaustave ako se voz približava. Ova praksa se smatra kao bezbedna vožnja u skladu sa [3].

Vozači koji su stali pre prelaska su pokazali bezbednije ponašanje. Prema [3], znak „stop” ili drugi uređaji za kontrolu saobraćaja zahtevaju zaustavljanje na putnom prelazu tako da „... vozači će se zaustaviti na ‘stop’ liniji, i dok staju će slušati i gledati u oba smera duž pruge da bi uočili signale koji indiciraju nailazak voza, i neće produžiti dok to nije bezbedno” (p. 26).

Međutim, uzorak od 8 vozača (23%) koji nisu niti stali niti usporili na putnom prelazu podržava [62] u njihovom mišljenju o osrednjem broju „kritičnih incidenata”, što se smatra kao nebezbedno ponašanje. Kada vozači ignorišu signale i signalne znake na putnom prelazu u nameri da „pobede voz”, ovaj akt se može tumačiti kao preuzimanje rizika [63].

Kako je činjenica da je pola vozača prešlo putni prelaz ispred nailazećeg voza, postavlja se pitanje u vezi sa ponašanjem vozača kada imaju dobru ili lošu preglednost nailazećeg voza. U ovom slučaju postoje svi uslovi za takvo istraživanje pošto posmatrani putni prelaz ima ograničenu preglednost u dva (T1 i T2) od četiri trougla, kao što se vidi na slici 6.1.

Nadalje je analizirano ponašanje vozača koji imaju dobru i lošu preglednost nailazećeg voza. Došlo se do zaključka da je od 61 slučaja 27 (44%) vozača imalo apsolutno dobru preglednost nailazećeg voza. Od tih 27 vozača, 14 vozača (58%) je prešlo putni prelaz, dok je 12 (42%) stalo i sačekalo da voz prođe. Preostalih 34 vozača (56%) je imalo ograničenu preglednost nailazećeg voza, od kojih je 20 vozača (59%) prešlo putni prelaz, a 14 stalo (41%).

Bezbednosna margina je vremenski interval od kog je vozilo napustilo putni prelaz, pa do momenta nailaska voza na putni prelaz. Bezbednosna margina u uzorku se kreće od 10 do 86 s. Srednja bezbednosna margina prelazaka iznosi 32.7 s. Opasni interval, koji predstavlja vreme koje drumsko vozilo provede na putnom prelazu se kreće od 2 do 4 s.

Iskusni vozači koji nisu prešli ispred nailazećeg voza čekali su različito vreme. Među 26 vozača koji nisu prešli vreme čekanja je variralo od 2 do 63 s. Srednje vreme čekanja

drumskih vozila iznosi 19.7 s. Srednje vreme čekanja za vozače koji su imali dobru preglednost je 21 s, dok su vozači koji nisu imali dobru preglednost u proseku čekali 18.7 s.

Razlika u ponašanju vozača na posmatranom putnom prelazu pri nailasku voza je predstavljeno u tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Podaci o ponašanju vozača na posmatranom putnom prelazu

Ponašanje vozača	Podaci o posmatranim slučajevima	Slučajevi kada je preglednost dobra	Slučajevi kada je preglednost ograničena
Stali ispred nailazećeg voza	26 od 61 (43%)	12 od 26 (46%)	14 od 26 (54%)
Prešli ispred nailazećeg voza	35 od 61 (57%)	15 od 35 (43%)	20 od 35 (57%)
Stali pre prelaska	10 od 35 (29%)	3 od 10 (30%)	7 od 10 (70%)
Usporili pre prelaska	17 od 35 (48%)	9 od 17 (53%)	8 od 17 (47%)
Nisu stali niti usporili	8 od 35 (23%)	2 od 8 (25%)	6 od 8 (75%)
Verovatnoća prelaska	0.57	0.58	0.55
Srednje vreme čekanja	19.7 s	21 s	18.7 s
Srednja bezbednosna margina	32.7 s	41.5 s	26.8 s

Grupa vozača koja je prešla ispred nailazećeg voza bez usporavanja (8 vozila od 23%) je analizirano sa posebnom pažnjom. Pretpostavka je da ova grupa vozača ima apsolutno dobru vidljivost nailazećeg voza i da su na osnovu toga doneli odluku da ne redukuju brzinu i da pređu, verujući da je takav prelazak bezbedan. Analizirajući ove podatke pokazalo se da je naša pretpostavka netačna. Šest od osam vozača (75%) je imalo preglednost nailazećeg voza samo sa „stop” linije. Daljom analizom video-zapisa ove grupe vozača, došlo se do zaključka da brzina vozila u zaustavnoj zoni nije velika (manje od 30 km/h), ali je i dalje veoma rizična. Može da bude da je ova grupa vozača bila mišljenja da voz neće naići u tom trenutku, a iako naiđe da će imati dovoljno vremena da zakoče i stanu ili da ubrzaju i pređu putni prelaz. Ovi prelasci se mogu smatrati kao rizični prelasci. Ponašanje u posmatranom uzorku je pokazalo da su se vozači odlučili za rizične prelaske ne samo zbog ograničene vidljivosti već verovatno i zbog poznavanja putnog prelaza i nebezbednog ponašanja koje se ponovilo više puta na istom prelazu bez štetnih posledica. U [64] se takođe sugerije da uspešan prelazak ispred nailazećeg voza predstavlja podsticaj, utičući da se isto ponašanje ponovo desi i u budućnosti. Prema [3], vozačeva odgovornost prema potencijalnom riziku je u funkciji procene verovatnoće događaja koji sledi i vozačevog razumevanja ozbiljnosti posledica takvog događaja.

6.2.2.2 Verovatnoća prelaska

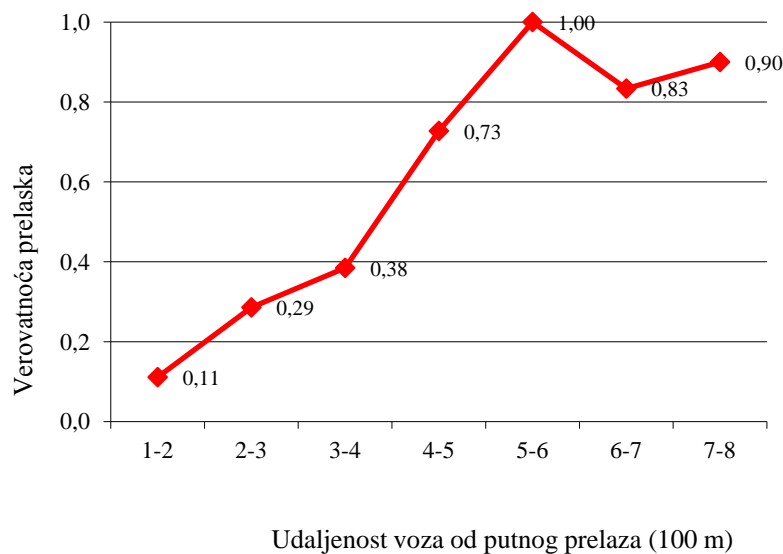
U svrhu određivanja verovatnoće prelaska vozila ispred nailazećeg voza, u ovom radu funkcija verovatnoće prelaska je istražena kroz sledeće: udaljenosti voza, vremena koje je preostalo do nailaska voza i brzine nailazećeg voza. Udaljenost voza i preostalo vreme do nailaska voza na putni prelaz su u značajnoj korelaciji ($R = 0.799, p = 0.00$). Vreme do nailaska voza i brzina voza su takođe u značajnoj korelaciji ($R = -0.468, p = 0.00$). To indicira da vozači procenjujući udaljenost voza od putnog prelaza imaju dobru procenu i vremena koje je preostalo do nailaska voza. Udaljenost voza i brzina voza imaju minimalnu korelaciju ($R = 0.057, p = 0.66$). Drugim rečima, vozači ne mogu dobro proceniti brzinu voza na bazi udaljenosti voza od putnog prelaza.

ANOVA test (test analize odstupanja) je korišćen da bi se utvrdila razlika između ove dve grupe vozača u odnosu na ova tri esencijalna parametra. Prema ANOVA multi-faktor testu, postoji značajna statistička razlika između dve grupe vozača, onih koji su čekali da voz prođe i onih koji su se odlučili na prelazak ispred nailazećeg voza.

Utvrđeno je da se ove razlike nalaze u prosečnim vrednostima procene vremena do nailaska voza ($sig = 0.000$), kao i udaljenosti nailazećeg voza od putnog prelaza ($sig = 0.000$). Ovakva značajna razlika nije utvrđena razmatrajući brzinu nailazećeg voza ($sig = 0.769$).

Značaj ANOVA testa kada vozači procenjuju udaljenost nailazećeg voza je ta da je ovaj test pokazao da postoji značajna razlika između vozača koji su stali i vozača koji su prešli ispred nailazećeg voza ($F = 12.81, p < 0.0001$).

Na slici 6.2 je prikazana verovatnoća prelaska vozača ispred nailazećeg voza koja je definisana u funkciji od udaljenosti voza od putnog prelaza u trenutku nailaska drumskog vozila.

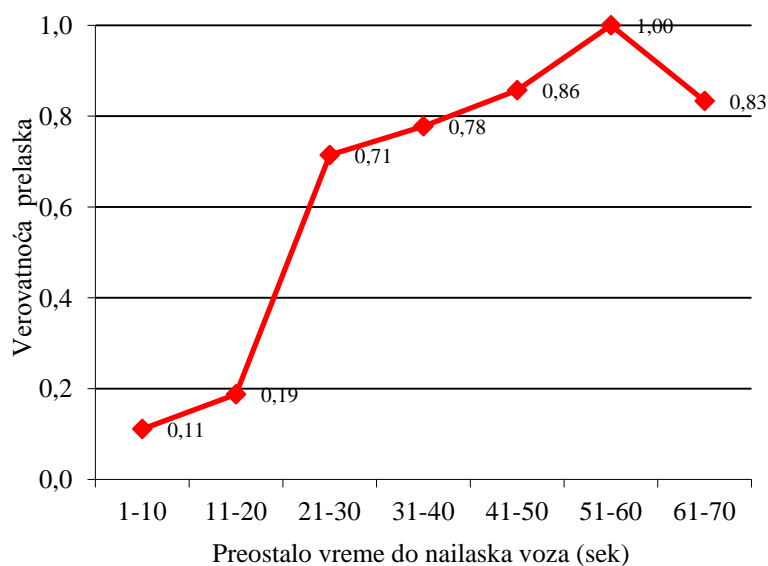


Slika 6.2. Verovatnoća prelaska u funkciji udaljenosti voza od putnog prelaza

Pretpostavka je da bi verovatnoća prelaska vozača drumskih vozila ispred nailazećeg voza u zavisnosti od udaljenosti nailazećeg voza trebalo da ima linearnu zavisnost, odnosno da bude linearno opadajuća funkcija od 1 do 0 ($y = 0.145x + 0.023, R = 0.917$). Kako ova funkcija pokazuje odstupanja od kompletne linearnosti, statističkim testom je utvrđeno da nema značajne razlike između očekivane i dobijene funkcije. Krična vrednost je $\chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$. Aktualna vrednost je $\chi^2 = 4.705 < \chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$, tako da bi se moglo reći da dobijena funkcija ne odstupa značajno od očekivane funkcije. Može se reći da je verovatnoća prelaska u funkciji od udaljenosti voza kako se i očekivalo. Drugim rečima, vozači, kao grupa, pre donose odluku da pređu ispred nailazećeg voza kada je voz na većoj udaljenosti od njih. Ovaj zaključak je podržan i literaturom. Prema [57] i [65], čini se da vozači imaju dobru procenu udaljenosti voza od njih.

Kada vozači procenjuju preostalo vreme do nailaska voza na putni prelaz, postoji značajna razlika između vozača koji su stali i onih koji su se odlučili da pređu ispred nailazećeg voza ($F = 15.36, p = 0.0002$).

Na slici 6.3 su prikazani efekti preostalog vremena do nailaska voza na putni prelaz na odluku vozača o prelasku.



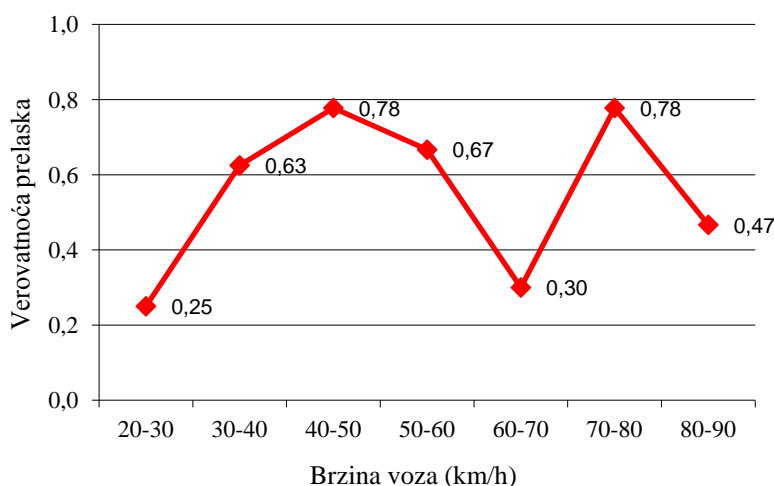
Slika 6.3 Verovatnoća prelaska u funkciji od vremena koje je preostalo do nailaska voza

Verovatnoća prelaska drumskih vozača preko putnog prelaza u funkciji od preostalog vremena ima linearnu zavisnost u odnosu na veličinu tog vremena ($y = 0.140x + 0.078$, $R = 0.874$). Ispostavilo se da nema statistički značajne razlike između poređanih karakteristika. Krirična vrednost je $\chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$. Aktualna vrednost je $\chi^2 = 10.694 < \chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$. U pogledu takvih rezultata, ova pretpostavka je prihvaćena i funkcionalna zavisnost na slici 6.3 pokazuje da su vozači skloniji da pređu kada je preostalo vreme do nailaska voza duže. Ovi rezultati odgovaraju rezultatima iz analiza sprovedenih u [57] i [65], koji sugerišu da vozači kao grupa imaju dobru procenu preostalog vremena pre prelaska.

Niko nije prešao putni prelaz na manje od 10 s pre nailaska voza. Najduže vreme čekanja vozača koji su odlučili da ne pređu je 63 s. Ovaj slučaj se desio kod nailaska sporog voza (30 km/h). Najmanja udaljenost voza od putnog prelaza kada su vozači odlučili da ne pređu je od 40 do 150 m.

Prema rezultatima ANOVA analize, kada vozači procenjuju brzinu vozova, nema razlike između vozača koji su stali i onih koji su prešli ispred voza

($F = 0.087, p = 0.769$). Verovatnoća prelaska u odnosu na brzinu voza u trenutku nailaska drumskog vozila na putni prelaz je prikazana na slici 6.4.



Slika 6.4. Verovatnoća prelaska u funkciji brzine voza

Kako je brzina voza obrnuto proporcionalna vremenu koje je preostalo za prelazak, pretpostavka je da takođe utiče na donošenje odluke o prelasku. Odnos između brzine voza i verovatnoće prelaska prikazan na slici 6.4 ne prikazuje očekivanu zavisnost između brzine i verovatnoće prelaska ($y = 0.017x + 0.483, R = 0.167$). Kritična vrednost je $\chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$. Aktuelna vrednost je $\chi^2 = 14.324 > \chi_{0,05}^{2(6)} = 12.592$, tako da ova pretpostavka nije prihvaćena. Istraživanje u [65] sugeriše da je vozačima teško da procene brzinu voza, posebno za vozove koji se nalaze na nekoj udaljenosti od putnog prelaza.

Pokazalo se da analiza verovatnoće prelaska u funkciji preglednosti nailazećeg voza može da pruži korisne dopunske podatke o ponašanju vozača. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je opšta verovatnoća prelaska u uzorku vozača koji su imali ograničenu preglednost nailazećeg voza 0.55. Za dobru preglednost ova vrednost iznosi 0.58. Ove vrednosti nisu značajno različite kao što se vidi u tabeli 6.1. Za očekivati bi bilo da se verovatnoća prelaska smanjuje kada su uslovi za procenu bezbednosne margine teži. Međutim, ovakvi rezultati nisu pokazali takva očekivanja.

6.2.2.3 Analize bezbednosne margine

Mnogo direktnija mera vozačevih procena brzine voza može da se sprovede posmatranjem bezbednosne margine vozača koji su prešli u funkciji od brzine voza. Pretpostavka je da će sigurni vozači sebi ostaviti minimalnu marginu pre odluke o prelasku i za očekivati je da ta margina bude konzistentna sa brzinom voza ukoliko je brzina voza pravilno procenjena [57].

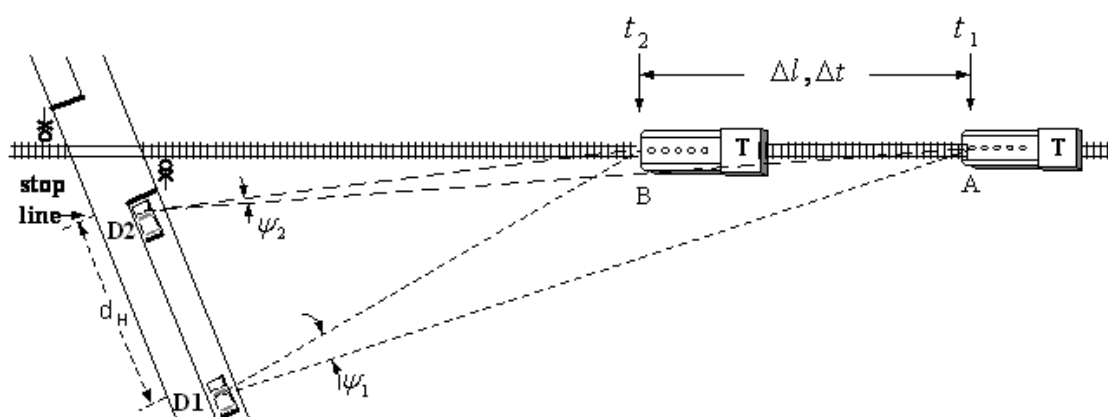
U ovom radu je analiziran odnos između bezbednosne margine i brzine nailazećeg voza. U posmatranom uzorku nailazećih vozova, izdvojila su se dva različita intervala brzina kojom se većina vozova kretala. Prema tome, vozovi su podeljeni u dve grupe: (a) vozovi čija je brzina manja od 70 km/h i (b) vozovi čije je brzina veća od 70 km/h. Srednja bezbednosna margina za vozove koji su saobraćali brzinom manjom od 70 km/h je 44.69 s, a srednja bezbednosna margina za vozove čija je brzina veća od 70 km/h je 24.68. *F*-test je pokazao da su ove dve grupe homogene ($sig = 0.052 > 0.05$) dok je *t*-test pokazao da je ($sig = 0.041 < 0.05$). To znači da se ove dve grupe vozača razlikuju u prosečnoj vrednosti bezbednosne margine za vozove brzine ispod 70 km/h i iznad 70 km/h.

Ovi rezultati su u korespondenciji sa rezultatima [65], gde je procena brzine voza teža, pogotovo kada se vozovi nalaze na većoj udaljenosti od putnog prelaza. Međutim, prema [64], vozači se odlučuju na bezbedniji prelazak kada je voz na većoj udaljenosti od njih, kada je promena u vizuelnom uglu sporija i kada su u mogućnosti da mnogo bolje procene brzinu voza.

Pokazalo se da je analiza verovatnoće prelaska, kao i konzistencija bezbednosne margine u funkciji preglednosti nailazećeg voza značajna za ovaj rad. Analiza bezbednosne margine ima srednju vrednost od 26.75 s za dobru preglednost i 41.50 s za lošu preglednost nailazećeg voza, (tabela 6.1). Značajnost po *F*-testu je pokazala da su ove dve grupe vozača homogene ($sig = 0.133 > 0.05$), dok je *t*-test je pokazao da je ($sig = 0.019 < 0.05$). To znači da su ove dve grupe vozača različite u srednjoj vrednosti bezbednosne margine za lošu i dobru preglednost nailazećeg voza.

Rezultati su pokazali da vozači koji imaju ograničenu preglednost nailazećeg voza ostavljaju sebi manju bezbednosnu marginu. Jedan od mogućih razloga za ovakav fenomen može da bude taj što vozači koji imaju ograničenu preglednost procenjuju brzinu voza sa zaustavne linije. Pretpostavka je da je mnogo teže vozačima sa zaustavne

linije ($D2$) da procene brzinu nailazećeg voza zbog malog vizuelnog ugla (Ψ_2) nego vozačima koji brzinu procenjuju sa određene udaljenosti od putnog prelaza ($D1$), kao što se vidi na slici 6.5. Prema [64], vozači sa određene udaljenosti od putnog prelaza procenjuju brzinu nailazećeg voza pre svega preko povećanja njegove veličine u svom vidnom polju. Brzu vizuelnu promenu u veličini dolazećeg voza, vozač drumskog vozila doživljava kao voz sa većom dolazećom brzinom i obrnuto, a na osnovu toga donosi odluku o mogućem prelazu na pasivnom putnom prelazu. Pored navedenog tvrđenja, pažljivijom analizom došlo se do još jednog zaključka. Sa slike 6.5, različitost vizuelnog ugla vozača iz položaja $D1$ i $D2$ uslovljava da vozač sa većim vizuelnim uglom $D1$ ima jasnije uočavanje vizuelnog pomeraja voza (Δl) iz jedne pozicije (A) u drugu poziciju (B), za dati vremenski interval (Δt) nego vozač sa $D2$, pa je tako u mogućnosti da bolje proceni brzinu nailazećeg voza (T), [71].



Slika 6.5 Promena u vizuelnom uglu Ψ vozača za nailazeći voz u zavisnosti od pozicije drumskog vozila: ($D1$) vozač na početku d_H , ($D2$) vozač na zaustavnoj liniji, [71]

Na osnovu ovog istraživanja mogu da se donesu i neki relevantni zaključci. Ljudski faktori su relativno novo polje istraživanja bezbednosti na železnici, pogotovu u zemljama u razvoju kakva je i Srbija. Većina uređaja za kontrolu saobraćaja koji se koriste na putnim prelazima koriste se tradicionalno, bez detaljnijeg istraživanja novih tehničkih dizajna.

Ovakvi putni prelazi u Srbiji nisu adekvatno opremljeni sa aktivnim sistemima zaštite, koji su standardizovani, koriste se i deo su nacionalnih strategija o putnim prelazima u razvijenim zemljama. U ovakvim okolnostima, bezbednost na putnim

prelazima u Srbiji uglavnom zavisi od fizičkih parametara putnih prelaza i ljudskog faktora.

Ovaj zaključak koji je donesen na uzorku posmatranom u ovom radu je takođe korespondentan sa [66], gde se kaže da bez obzira na to koliko je spretan i iskusan vozač, fizički faktori putnog prelaza i tehnički sistem koji je primenjen na putnom prelazu mogu da doprinesu sudaru između voza i drumskog vozila.

Studija verovatnoće prelaska je pokazala da linearna zavisnost udaljenosti voza od putnog prelaza dobro aproksimira empirijske vrednosti i vozači dobro procenjuju udaljenost nailazećeg voza od njih ($p < 0.0001$). Takođe se pokazalo da je verovatnoća prelaska kada vozači imaju više raspoloživog vremena do nailaska voza veća ($p = 0.0002$). Međutim, verovatnoća prelaska nema očekivanu zavisnost sa brzinom voza ($p = 0.769$).

Analiza bezbednosne margine je pokazala manju vrednost bezbednosne margine za brže vozove. Dobijeni rezultati sugerišu da je procena brzine voza teška za vozače, posebno za one koji imaju ograničenu preglednost nailazećeg voza ($sig = 0,041$). Značajan dobijeni rezultat u ovom radu je zaključak da vozači koji imaju ograničenu preglednost mnogo lakše donose odluku o prelasku ispred nailazećeg voza, ostavljajući tako manju bezbednosnu marginu ($sig = 0,019$). U [64] se takođe sugeriše da je perceptualna iluzija u proceni bezbednosne margine teška vozačima. Ova pretpostavka će biti razmatrana u narednim istraživanjima na ovom polju, ali na većem uzorku.

Rezultati u ovom radu su pokazali da bezbednost na ovakvim tipovima putnih prelaza generalno zavisi od varijabilnosti u nebezbednom ponašanju vozača. Edukacija vozača koja se odnosi na ovakvo nebezbedno ponašanje je težak proces, tako da odgovarajuća tehnička rešenja mogu da budu najbolja prevencija koja utiče na ljudski faktor. Prema [67], „forma tehničkog rešenja za kontrolu saobraćaja koja je implementirana na putnom prelazu u velikoj meri utiče na odluku vozača drumskog vozila vezanu za bezbednost na prelazu”.

Fizički faktori na ovoj vrsti putnih prelaza, prema ovom istraživanju, imaju uticaja na kvalitet potrebnih informacija koje vozač dobija od voza da bi preduzeo odgovarajuću aktivnost pri približavanju putnom prelazu. To uključuje, ali nije limitirano sa greškom u detekciji voza pre nego što napusti putni prelaz, greškom u prepoznavanju

potencijalnih opasnosti od voza, kao i greškom u proceni kada će voz stići na putni prelaz [66].

U Srbiji, zaštita putnih prelaza sa modernim tehničkim sistemima uglavnom je limitirana raspoloživim novčanim sredstvima, kao i nacionalnom strategijom. Međutim, nebezbedno ponašanje vozača je u velikoj meri prisutno i na putnim prelazima osiguranim aktivnom signalizacijom. Prema statistici [68], 21% osoba gine na putnim prelazima sa aktivnim sistemima zaštite.

Ova studija je pokazala da su ovakva istražavanja kako na pasivnim tako i na aktivnim putnim prelazima neophodna u cilju poboljšanja bezbednosti na putnim prelazima.

7 POREĐENJE PONAŠANJA VOZAČA NA PUTNOM PRELAZU SA PASIVNOM I AKTIVNOM SIGNALIZACIJOM

7.1 Ponašanje vozača na putnim prelazima sa aktivnom signalizacijom

Broj nastradalih i povređenih osoba, kao i pričinjene materijalne štete u udesima na putnim prelazima na srpskim železnicama je iz godine u godinu prisutan, kako na putnim prelazima sa pasivnom signalizacijom tako i na onim koji su osigurani aktivnim sistemom zaštite [68].

Udesi na putnim prelazima Železnica Srbije, bez obzira na način njihovog opremanja i osiguranja, često se dešavaju iz razloga što vozači drumskih vozila u veoma značajnom meri ne poštuju postavljenu signalizaciju, ne postupaju prema signalnim znacima koji se daju, obilaze putoprelazne polubranike kada su isti u donjem položaju i nasilno i neovlašćeno rukuju putoprelaznim polubranicama.

Nadalje će biti napomenuti neki od faktora koji se spominju u literaturi [55], [56] [57], [69], a koji imaju uticaja na ponašanje vozača na putnim prelazima osiguranim nekim od aktivnih sistema kao što su:

- 1) Izloženost putnog prelaza saobraćaju,
- 2) Vremenski interval između aktiviranja i deaktiviranja uređaja na putnom prelazu,
- 3) Upozoravajuće vreme na putnom prelazu,
- 4) Lažni alarmi,
- 5) Brzina voza,
- 6) Udaljenost voza od putnog prelaza,
- 7) Preglednost puta i pruge,
- 8) Individualne karakteristike vozača koji koriste putni prelaz.

Pokazalo se da postoji veza između broja nesreća i broja neregularnih ponašanja koja se dešavaju na putnim prelazima. Iz razloga što neregularno ponašanje prethodi nesreći, pod pretpostavkom da sistem zaštite ispravno funkcioniše, jasno je da što se više neregularnog ponašanja desi, verovatnoća nesreće raste. U istraživanjima koja su sprovedena [34] koristi se ponašanje vozača, kao zamena za analizu nesreća u identifikovanju opasnosti koje su prisutne na određenom ili maloj grupi putnih prelaza. Ponašanje vozača je posmatrano na sedam putnih prelaza sa aktivnim sistemom zaštite, i 89 neregularnih ponašanja je zabeleženo video-snimcima. Rezultati su pokazali

moću korelaciju između nesreća i neregularnog ponašanja na putnim prelazima, ($r = 0.49$). Za očekivati je, prema tome, da neke karakteristike koje se koriste za predviđanje nesreća na putnim prelazima mogu takođe biti karakteristike povezane sa frekvencijom očekivanog neregularnog ponašanja na putnim prelazima [69]. Proučavanjem stepena neregularnog ponašanja na posmatranom putnom prelazu možemo da procenimo stepen rizika koji je prisutan [70].

Izloženost putnog prelaza saobraćaju se pokazalo kao važan faktor za predviđanje nesreća [3]. Može se reći da putni prelazi sa većom izloženošću saobraćaju mogu da produkuju veću verovatnoću nesreća i neregularnog ponašanja [69]. Međutim, vozači se ne odlučuju za nepoštovanje signalizacije samo na bazi izloženosti prelaza saobraćaju. Individualna odluka vozača da ne poštuje postavljenu signalizaciju je takođe prouzrokovana drugim faktorima.

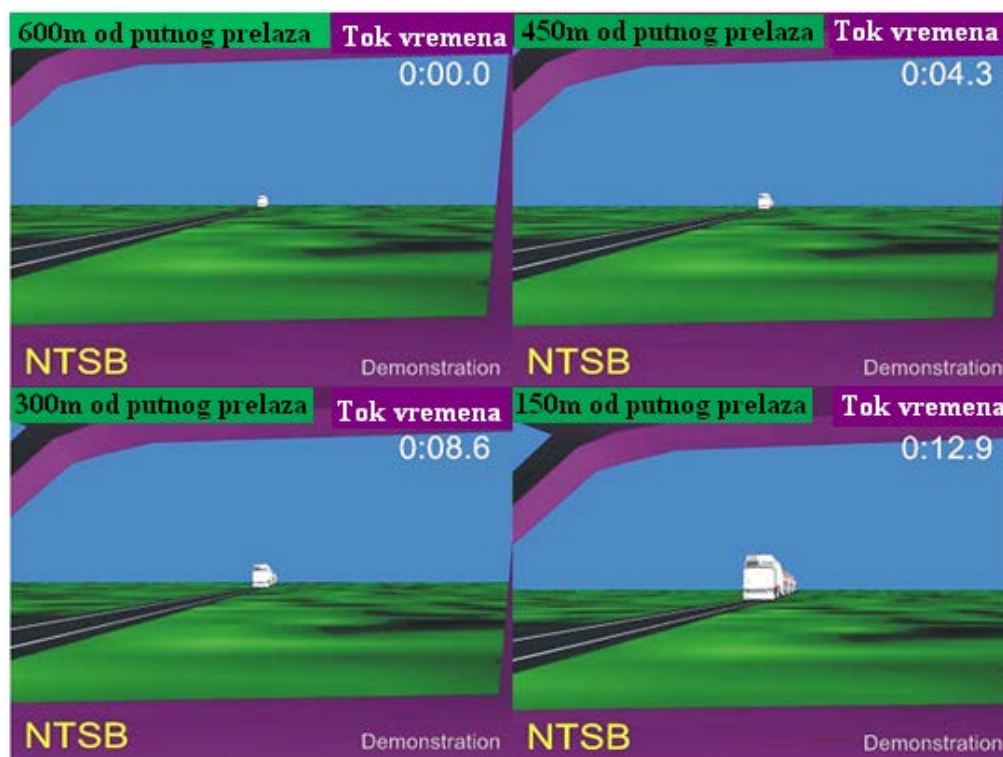
Vremenski interval između aktiviranja i deaktiviranja uređaja na putnom prelazu može da utiče na neregularno ponašanje. Određeni putni prelaz koji je poznat po svom dugom vremenskom periodu između aktiviranja i deaktiviranja uređaja može da bude uzrok visokog procenta neregularnog ponašanja, pogotovo ukoliko ga većina korisnika putnog prelaza često koristi. Vozači mogu da preferiraju da „pobede voz” pre nego da kasne zbog čekanja na voz.

Upozoravajuće vreme na putnom prelazu ili vreme koje protekne između aktiviranja uređaja i nailaska voza takođe može da utiče na vozačevu tendenciju ka nepoštovanju signalizacije. Prema studiji [70], upozoravajuće vreme veće od 35 sekundi je direktno povezano sa porastom rizičnog ponašanja vozača. Prihvatljivo upozoravajuće vreme se, prema ovoj studiji, sugeriše na 20 do 35 sekundi. Još jedan važan zaključak u ovoj studiji je taj da većina vozača koji nailaze na putni prelaz nakon aktiviranja svetlosne signalizacije, a pre spuštanja polubranika, voze preko putnog prelaza bez stajanja u nameri da „pobede rampu”, da bi izbegli očekivano kašnjenje prouzrokovano čekanjem voza. Ovakav način ponašanja je analogan ponašanju vozača na žuto svetlo u drumskoj signalizaciji. Vozači ubrzavaju da bi prešli na žuto svetlo pre crvenog i tako izbegli kašnjenje [69]. Sa porastom upozoravajućeg vremena raste i broj neregularnih ponašanja. U modelu logističke regresije koji su napravili Carlson i Ficpatrik (1999) se pokazalo da je upozoravajuće vreme značajna promenljiva u neregularnom ponašanju na putnim prelazima [34].

Postoje aktivni sistemi koji se aktiviraju na određenoj udaljenosti od putnog prelaza, nailaskom voza. Ovakav sistem je u primeni na Železnicama Srbije. Kao alternativa ovim sistemima su sistemi sa konstantnim upozoravajućim vremenom do nailaska voza. Ovi sistemi izračunavaju brzinu nailazećeg voza i uređaji se aktiviraju podržavajući konstantno upozoravajuće vreme. Pretpostavka je da će sistemi sa konstantnim upozoravajućim vremenom redukovati frekvenciju neregularnog ponašanja na putnim prelazima minimiziranjem i standardizacijom ovog vremena.

Osim na prekomerno upozoravajuće vreme, aktivni sistemi zaštite su osetljivi na lažne alarme, što može da utiče na vozače da se oslone na sopstvenu procenu opasnosti i ignorišu signalizaciju, a takođe i pribegavaju rizičnom ponašanju zaobilazeći polubranike [54], [64] i [65].

Brzina voza može da ima uticaja na nepoštovanje saobraćajne signalizacije na putnom prelazu. Poteškoće koje vozači imaju u proceni brzine i udaljenosti nailazećeg voza su dobro dokumentovane [34], [64], i [65].



*Slika 7.1 Ilustracija o prividnoj promeni u veličini objekta kao što je voz koji nailazi na putni prelaz kako to vidi vozač koji stoji na putnom prelazu.
Kompiuterska simulacija [34]*

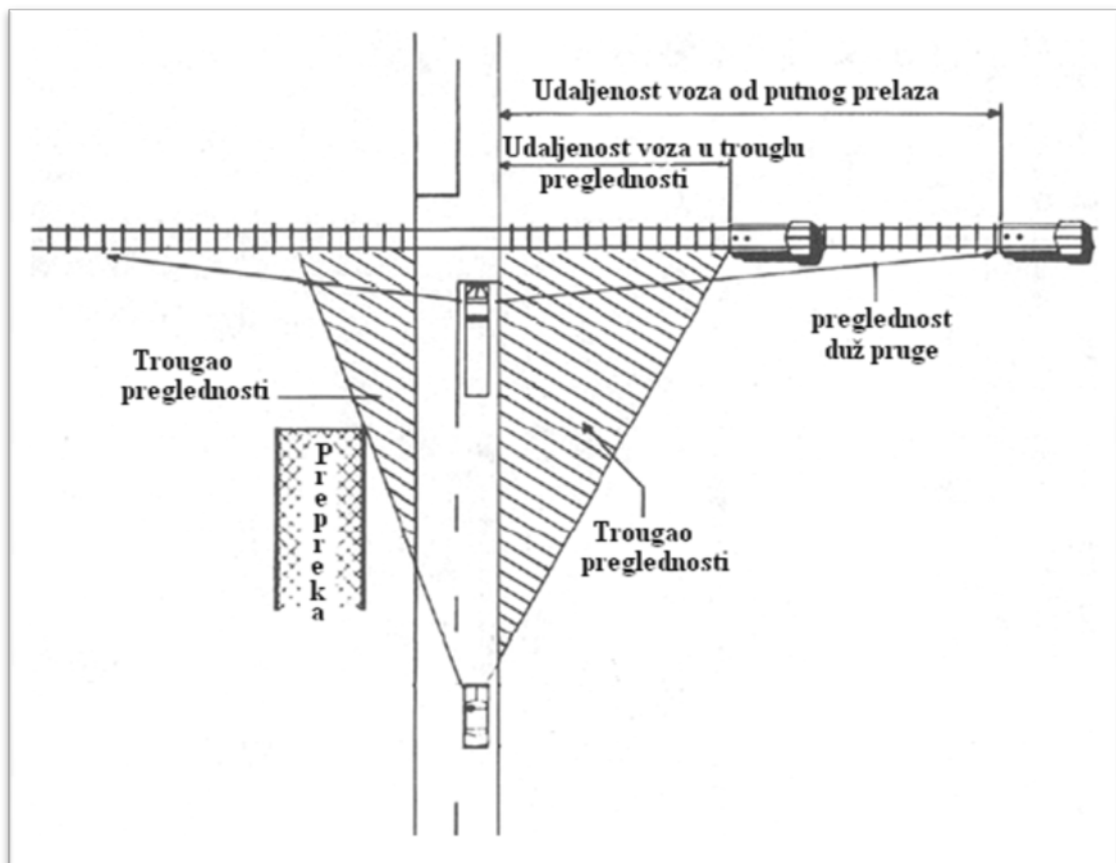
Istraživanje [64] opisuje iluzije u pogledu veličine voza koje mogu vozača dovesti u zabludu o brzini voza.

Prvo, što je objekat veći, čini se da se sporije kreće, tako, pošto je lokomotiva veliki objekat, može izgledati da se kreće sporije nego što jeste, tako da vozač može da preceni količinu vremena koja mu stoji na raspolaganju da bi bezbedno napustio putni prelaz. Drugo, kada se i automobil i voz približavaju putnom prelazu konstantnom brzinom, ili kada se vozilo zaustavi na putnom prelazu i vozač gleda na nailazeći voz, vozaču prividno raste veličina voza u vidnom polju. Ova stopa rasta nije linearna već hiperbolična. Kada je voz na većoj daljini, porast veličine objekta je sporiji, dajući utisak manje brzine dolazećeg voza. Međutim, kako se voz približava, povećanje veličine objekta u vizuelnom polju se ubrzano povećava (slika 7.1). Na primer, vozač drumskog vozila koji stoji na putnom prelazu ima dolazeći voz u vizuelnom uglu od 0.43 stepena, kada se voz nalazi na 600 metara od posmatrača. Kada voz stigne na 300 metara, vizuelni ugao lokomotive se udvostruči na 0.86 stepeni. Kada je voz još bliže posmatraču, za dvostruko povećanje vizuelnog ugla voz prelazi manje rastojanje. Na primer, vizuelni ugao raste iz 3.43 ° do 6.84 ° kada voz pređe rastojanje od 250 metara do 125 metara od posmatrača. Vozači imaju tendenciju da budu efikasni u proceni brzine voza kada je voz bliže, jer je promena u vizuelnom uglu brža. Međutim, vozači imaju tendenciju da se odluče da pređu ispred nailazećeg voza kada je voz na većem rastojanju, kada je promena u vizuelnom uglu sporija i kada je manje verovatno da će potceniti brzinu voza [34].

Kada je reč o poteškoćama vozačeve procene udaljenosti nailazećeg voza, one su dokumentovane. Na primer, iluzija u perspektivi može da dovede vozača u zabludu u proceni udaljenosti voza od njega. Pogled sa putnog prelaza duž pruge proizvodi iluziju velike udaljenosti. To je zbog toga što su šine paralelne i ima se prividna usmerenost ka jednoj tački prema horizontu. Prividna usmerenost paralelnih šina ka jednoj tački daje impresiju da je voz na većoj udaljenosti od putnog prelaza nego što zaista jeste [34].

Preglednost na putnom prelazu je faktor koji se uzima u obzir u predviđanju stepena opasnosti koji je prisutan na putnom prelazu. Tri tipa preglednosti puta i pruge na putnom prelazu su značajne: pristupna preglednost duž puta, trougao preglednosti (preglednost koja je potrebna vozaču da uoči voz i bezbedno se zaustavi ispred putnog prelaza) i preglednost duž pruge (za vozače koji su se zaustavili ispred putnog prelaza)

slika 7.2 [3]. Postojanost trougla preglednosti i preglednosti duž pruge su posebno važni kada se razmatra putni prelaz sa aktivnim uređajem. Vozačeva sposobnost da vidi voz dok se približava putnom prelazu može dati vozaču više vremena da razmisli da li da ispoštuje saobraćajnu signalizaciju, što ima uticaja na vozačevu tendenciju da ne postupi prema propisu. Zahtevane preglednosti su bazirane na brzini drumskog vozila, brzini nailazećeg voza i zahtevanom vremenu za reakciju vozača [3].



Slika 7.2 Zahtevane preglednosti na putnom prelazu [3]

Logično bi bilo da preglednost bude jedan od važnijih faktora koji bi se koristili u predviđanju stepena opasnosti koji je prisutan na putnom prelazu. Preglednost, međutim, nije jaka promenljiva u računskom predviđanju nesreća [69]. Klaver 1993. je pronašao da je ograničena preglednost povezana sa dešavanjima nesreća, ali se ne čini da je uzročnik nesreća [69].

Svako istraživanje faktora koji utiču na ponašanje vozača svakako je limitirano bez uzimanja u obzir individualnih karakteristika vozača koji koriste putni prelaz. Ne može se ignorisati da će odluke koje donose varirati od vozača do vozača ili grupe vozača koji

pripadaju određenoj demografskoj grupi. Čulni i perceptualni faktori ne moraju da zavise samo od demografske specifičnosti vozača, već i od njegovog psihičkog stanja. Osim toga, neodgovarajuće odluke koje vozač donosi mogu takođe biti posledica i neznanja ili nerazumevanja odgovornosti koja se od njega zahteva na putnom prelazu. Podatke koji bi ukazivali na specifičnosti vozača je veoma teško prikupiti, i to bi svakako zahtevalo znatna materijalna sredstva.

Prema [70], preporučuje se diskriminaciona analiza u određivanju promenljivih koje imaju najvećeg uticaja u modeliranju potencijalnog vozačevog neregularnog ponašanja na putnim prelazima sa aktivnom signalizacijom. Sklonost ka izlaganju opasnosti, lažne aktivacije, godišnja pređena kilometraža, godine, osećaj odgovornosti su samo neki od mnogih faktora koji utiču na nepoštovanje aktivne signalizacije. Vozač koji ima iskustva sa dugim vremenom čekanja u prošlosti i slab osećaj za procenu rizika spreman je da poveruje da je optimalna odluka nepoštovanje aktivne signalizacije. Mladi vozači mogu nepoštovati signalizaciju češće zbog pritiska vršnjaka. Vozači srednjih godina nastoje biti obazriviji zbog odgovornosti koja je povezana sa prevozom dece. Stari vozači mogu da ne poštuju signalizaciju zbog problema sa vizuelnom percepcijom i procesom primanja i obrade informacija. Muški vozači su skloniji nepoštovanju signalizacije od ženskih vozača [69]. Zatim, vozačevo poznavanje putnog prelaza zbog njegovog čestog korišćenja takođe može da dovede do odluke o nepoštovanju signalizacije.

Mentalno stanje vozača pri nailasku na putni prelaz će takođe uticati na ponašanje vozača. Vozači mogu da budu onemogućeni za procesuiranje informacija zbog umora ili su pod uticajem lekova ili droga.

7.2 Konkretno istraživanje ponašanja vozača na putnom prelazu sa aktivnom signalizacijom

U delu šest je objašnjeno da je sprovedena studija direktnog ponašanja vozača pri nailasku voza na ruralnom putnom prelazu osiguranom samo drumskom signalizacijom na jugu Srbije, a za koji su autori imali saznanja da će se u skorije vreme osigurati automatskim uređajem putnog prelaza sa polubranicima. Fokus te studije je bio na tome

da li su vozači stali ili usporili pre prelaska, koliku su bezbednosnu marginu sebi ostavili vozači koji su prešli ispred nailazećeg voza, kako su se ponašali u uslovima nedovoljne preglednosti nailazećeg voza [71].

Nakon što je ta studija sprovedena, kao i prema planu, Železnice Srbije su posmatrani putni prelaz osigurali automatskim uređajem putnog prelaza sa polubranicima. Ove nove okolnosti su se učinile kao odlična prilika da se istraži ponašanje vozača u novim okolnostima, sada kada je instalirana svetlosna signalizacija sa polubranicima, i dalje, da se poredi ponašanje sa onim koje je viđeno u ranijem istraživanju, kada ovog osiguranja nije bilo.

7.2.1 Procedura konkretnog posmatranja i prikupljanja podataka

Posmatrani putni prelaz je osiguran automatskim uređajem putnog prelaza sa polubranicima, svetlosnom i zvučnom signalizacijom (u daljem tekstu aktivna signalizacija), u odnosu na prethodno osiguranje koje bilo Andrejin krst i signalni znak „stop” (u daljem tekstu pasivna signalizacija). Sistem zaštite se aktivira na fiksnoj udaljenosti od putnog prelaza nailaskom voza. Ostalih značajnih izmena nije bilo osim što je kolovoz na putnom prelazu ponovo asfaltiran.

Putni prelaz je ruralnog karaktera, sa dve kolovozne trake, a put je lokalnog karaktera. Putni prelaz ima dva od četiri trougla preglednosti. Prosečan broj drumskih vozila dnevno preko putnog prelaza (PDS) je oko 500 drumskih vozila. Brzina prilaska drumskog vozila je limitirana na 30 km/h. Detalji o putnom prelazu i vidljivost pri nailasku vozila na putni prelaz su isti kao i u prethodnoj studiji.

Železnička pruga je jednokolosečna, deo Koridora 10. Realizovani broj vozova je oko 20 vozova dnevno, putničkih i teretnih. Dozvoljena brzina na pruzi je 100 km/h, a izmerena brzina vozova preko putnog prelaza je od 23 do 92 km/h, dok je kod pasivne signalizacije od 30 do 95 km/h.

Vozači drumskih vozila koji su naišli na putni prelaz nakon aktiviranja uređaja za osiguranje putnog prelaza do trenutka nailaska voza na putni prelaz su subjekti posmatranja u ovom radu. Posmatranje je vršeno u toku jedne nedelje u dnevnom delu dana. Period dana u kome je sprovedeno istraživanje je zavisio uglavnom od frekvencije železničkog saobraćaja.

U svrhu istraživanja i snimanja ponašanja učesnika u drumskom saobraćaju na izabranom putnom prelazu bila su uključena dva istraživača. Istraživači su bili smešteni u železničkom objektu u neposrednoj blizini putnog prelaza iz koga su snimali saobraćaj, koristeći dve instalirane video-kamere. Nisu bili uočljivi vozačima drumskih vozila niti su uticali na njihovo ponašanje. Procedura je bila znatno jednostavnija u odnosu na onu u prethodnoj studiji.

Kada se upozoravajući sistem na putnom prelazu aktivira od strane nailazećeg voza, istraživači bi započinjali snimanje putnog prelaza bez obzira na to dali je drumsko vozilo prisutno ili ne. Posle izvršenog snimanja na terenu, video-zapisi su analizirani.

Za svaki pojedinačni nailazak voza analizirani su video-zapisi i obrađeni sledeći podaci: (1) aktivnost vozača drumskog vozila (da li je stao ili prešao ispred nailazećeg voza), (2) vreme koje je proteklo (od trenutka uključjenja signalizacije) do trenutka nailaska drumskog vozila na putni prelaz, (3) trenutak prelaska drumskog vozila preko putnog prelaza, (4) ponašanje vozača pre prelaska (da li je stao pre prelaska, usporio ili je prošao nesmanjenom brzinom), (5) trenutak nailaska voza na putni prelaz i (6) trenutak isključenja uređaja. Na osnovu prikupljenih podataka napravljena je odgovarajuća baza koja je služila kao osnov za dalje istraživanje. U periodu promene osiguranja, pa do sprovođenja ove studije nisu zabeleženi podaci o nesrećama.

Na početku istraživanja dve hipoteze su prihvaćene u vezi sa razlikama koje se mogu očekivati između vozača koji prilaze putnom prelazu sa dva različita tipa sistema zaštite, pasivnim i aktivnim.

Prva hipoteza je ta da će se manje vozača odlučiti da pređe ispred nailazećeg voza, sada kada je prisutna svetlosna signalizacija sa polubranicima.

Druga hipoteza se odnosi na vozače koji su prešli ispred nailazećeg voza. Pretpostavka je da će većina vozača da pređe na svetlosnu signalizaciju bez stajanja i usporavanja.

7.2.2 Rezultati istraživanja ponašanja vozača

Pedeset osam vozila je zabeleženo u studiji na osiguranom putnom prelazu. Vremenski period dana kada su vozila zabeležena se kreće od 7.30 do 18 h. Ova vremenska distribucija se ne razlikuje značajno od one koja je sprovedena u prethodnoj studiji (pasivna signalizacija). Vidljivost vozača u zavisnosti od vremenskih uslova takođe nije značajnije varirala u odnosu na one vremenske uslove iz prethodne studije.

Promenljive koje su razmatrane u analizi aktivnog osiguranja su: brzina voza, udaljenost voza, vreme do nailaska voza, vreme između aktiviranja uređaja na putnom prelazu i nailaska voza, kao i postojanje trougla preglednosti za nailazeće vozilo. Analiza je vršena bazirano na egzaktnim vrednostima promenljivih u toku svakog konkretnog nailaska drumskog vozila na putni prelaz ispred nailazećeg voza. Promenljive koje su razmatrane u analizi u uslovima pasivnog osiguranja su: brzina voza u trenutku nailaska vozila na putni prelaz, udaljenost voza od putnog prelaza u trenutku nailaska vozila, preostalo vreme do nailaska voza kao i postojanje trougla preglednosti za nailazeće vozilo.

Pretpostavlja se da su različiti tipovi nepoštovanja signalizacije inicirani različitim promenljivim. U odnosu na to možemo ih svrstati u tri kategorije.

- 1) Prva kategorija nepoštovanja signalizacije je definisana da se dešava u periodu vremena od aktiviranja svetlosne signalizacije i dve sekunde nakon započinjanja spuštanja polubranika. To znači, ukoliko vozač prođe kroz svetlosnu signalizaciju bez zaustavljanja, ili prođe ispod polubranika u trenutku kada počinju proces spuštanja u horizontalan položaj, ovakvo ponašanje spada u nepoštovanje svetlosne signalizacije.
- 2) Druga kategorija nepoštovanja signalizacije je definisana u periodu vremena dve sekunde nakon započinjanja procesa spuštanja polubranika i sve dok se polubranici nalaze u horizontalnom položaju. Ovakvo nepoštovanje signalizacije se može nazavati tipično zaobilaženje polubranika.
- 3) Poslednja kategorija je nepoštovanje signalizacije nakon prolaska voza, ali pre nego što su polubranici u kompletnom vertikalnom položaju. Dakle, ono obuhvata zaobilaženje polubranika nakon prolaska voza i zaobilaženje polubranika pre nego što su kompletno u vertikalnom položaju.

U ovoj analizi biće razmatrane prve dve kategorije nepoštovanja signalizacije. Treća kategorija je isključena iz razloga što se radi o jednokolosečnoj pruzi, tako da iako takva vrsta ponašanja predstavlja nepoštovanje signalizacije, ne predstavlja opasnost kao prve dve kategorije.

7.2.2.1 Ponašanje vozača

Devet od 58 vozača je prešlo putni prelaz uprkos aktivnoj signalizaciji (15.5%). Kada je bila prisutna pasivna signalizacija, procenat prelaska vozača ispred nailazećeg

voza je bio daleko veći (35 od 61 ili 57%). Prema z-testu postoje statistički značajne razlike u ponašanju između ove dve grupe vozača, onih koji su prešli ispred nailazećeg voza kod pasivne i aktivne signalizacije ($p = 0.000$).

Od 9 vozača koji su prešli ispred nailazećeg voza 8 vozača je prešlo na svetlosnu signalizaciju dok je jedan vozač zaobišao polubranike.

Od 9 vozača koji su prešli u studiji sa aktivnom signalizacijom, dva vozača, ili 22%, su zaustavili automobil pre prelaska. U studiji sa pasivnom signalizacijom 10 od 35 (29%) vozača je pokazalo takvo ponašanje. Značajnost ukazuje da razlike u ponašanju u starim i novim uslovima nisu značajne ($p = 0.339$).

Slično 2 od 9 (22%) vozača, u studiji sa aktivnom signalizacijom, usporilo je pre prelaska, dok je 17 od 35 (48%) vozača usporilo pre prelaska ispred nailazećeg voza u studiji sa pasivnom signalizacijom ($p = 0.0835$).

Preostala grupa vozača koji su prešli ispred nailazećeg voza nije stala niti usporila pre prelaska. U novim uslovima osiguranja 5 od 9 (55.5%) vozača drumskih vozila je ispoljilo ovakvo ponašanje. U studiji sa pasivnom signalizacijom ova klasifikacija je 8 od 35 (23%). Razlike u proporciji ukazuju na postojanje značajnih razlika između proporcija posmatranih događaja u starim i novim uslovima ($p = 0.032$).

Analiza bezbednosne margine koja predstavlja vremenski interval otkad je vozač drumskog vozila napustio opasnu zonu (t_3) do nailaska voza u opasnu zonu (t_4), a kreće se u opsegu od 6 s do 79 s. Bezbednosna margina u uslovima pasivne signalizacije se kretala od 10 s do 86 s. Srednja bezbednosna margina prelaska za ove dve grupe je 32.7 s za pasivnu i 54.6 s za aktivnu signalizaciju. Bezbednosna margina se razlikuje značajno u ova dva posmatrana uzorka $p = 0.004$.

Vozači koji nisu prešli ispred nailazećeg voza iskusno su čekali u različitim vremenskim intervalima. Među 49 vozača koji su čekali u uslovima aktivne signalizacije, vremenski interval čekanja se kretao od 2 s do 126 s. Srednje vreme čekanja u uslovima aktivne signalizacije je 33.6 s. Srednje vreme čekanja u uslovima pasivne signalizacije je 19.7 s. Srednje vreme čekanja na ova dva uzorka je statistički značajno različito $p = 0.000$. Ova razlika u vremenu čekanja je svakako posledica i različitog sistema osiguranja u starim i novim uslovima.

Kako se u ovom radu razmatra putni prelaz koji poseduje dva od četiri trougla preglednosti (slika 6.1), nadalje je analizirano ponašanje vozača koji su imali dobru i

lošu preglednost nailazećeg voza. Ukupno 27 vozača (46.5%) od 58 je imalo dobru preglednost nailazećeg voza. Od 27 vozača 7 je prešlo (26%), dok je 20 vozača (74%) stalo i sačekalo da voz prođe. Preostali vozači, njih 31, imali su lošu preglednost nailazećeg voza, od kojih je 2 prešlo (6.5%), a ostalih 29 sačekalo prolazak voza (93.5 %).

Upozoravajuće vreme je vreme između aktiviranja uređaja (t_1) i nailaska voza na putni prelaz (t_4) i kreće se u rasponu od 44 do 95 sekundi. U slučaju jednog sporog voza to vreme je iznosilo 141 sekundu. Srednje upozoravajuće vreme u ovom uzorku je 71 sekunda.

Ako je t_1 trenutak uključenja uređaja na putnom prelazu, a t_2 trenutak dolaska drumskog vozila na putni prelaz, razlika tih vremena $t_2 - t_1$ se kreće od 3 do 80 sekundi. Ovo vreme će biti razmatrano u funkciji verovatnoće prelaska.

U dva slučaja zabeležene su tehničke nepravilnosti na putnom prelazu. U jednom slučaju putni prelaz je bio neosiguran, dok se u drugom slučaju uređaj aktivirao iako nije zabeležen nailazak voza. Podaci iz prvog slučaja su uzeti u razmatranje, dok su iz drugog slučaja izuzeti jer su nedostajali parametri vezani za voz.

U tabeli 7.1 je prikazan pregled razlika u ponašanju vozača drumskih vozila na posmatranom putnom prelazu pri različitim uslovima osiguranja.

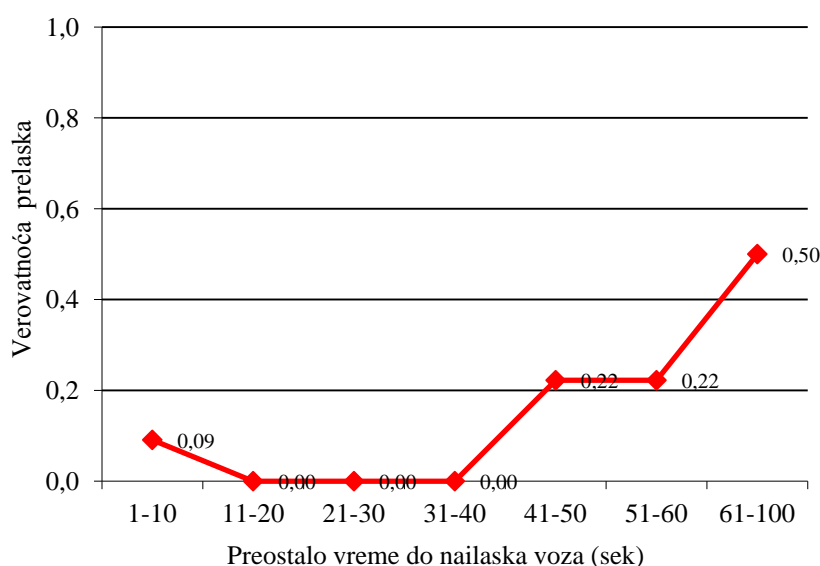
Tabela 7.1. Pregled razlike u ponašanju vozača na posmatranom putnom prelazu sa aktivnom i pasivnom signalizacijom

Ponašanje vozača	Pasivna signalizacija	Aktivna signalizacija	Vrednost kritičnog koeficijenta
Stali ispred voza	26 od 61 (43%)	49 od 58 (84.5%)	$p = 0.000 *$
Prešli uprkos pozorenju	35 od 61 (57%)	9 od 58 (15.5%)	$p = 0.000 *$
Verovatnoća prelaska	0.57	0.15	$p = 0.000 *$
Stali pre prelaska	10 od 35 (29%)	2 od 9 (22%)	$p = 0.339$
Usporili pre prelaska	17 od 35 (48%)	2 od 9 (22%)	$p = 0.0835$
Nisu stali niti usporili	8 od 35 (23%)	5 od 9 (55.5%)	$p = 0.032 *$
Srednje vreme čekanja	19.7 s	33.6 s	$p = 0.000 *$
Srednja bezbednosna margina	32.7 s	54.6 s	$p = 0.004 *$

Značajnosti obeležene zvezdicom (manje od 0.05) ukazuju na postojanje značajnih razlika između verovatnoća posmatranih događaja u starim i novim uslovima i na to da je veći procenat, od dva posmatrana, značajno veći. Razlike su testirane z-testom za poređenje dve proporcije (procenta, verovatnoće). Poslednje dve razlike (koje jesu statistički značajne) su testirane studentovim t -testom za dva nezavisna uzorka.

7.2.2.2 Rezultati istraživanja verovatnoće prelaska sa diskusijom

Može se pretpostaviti da nakon dolaska na putni prelaz vozači donose odluku da li da pređu ili ne na bazi procene vremena koje je preostalo do nailaska voza.

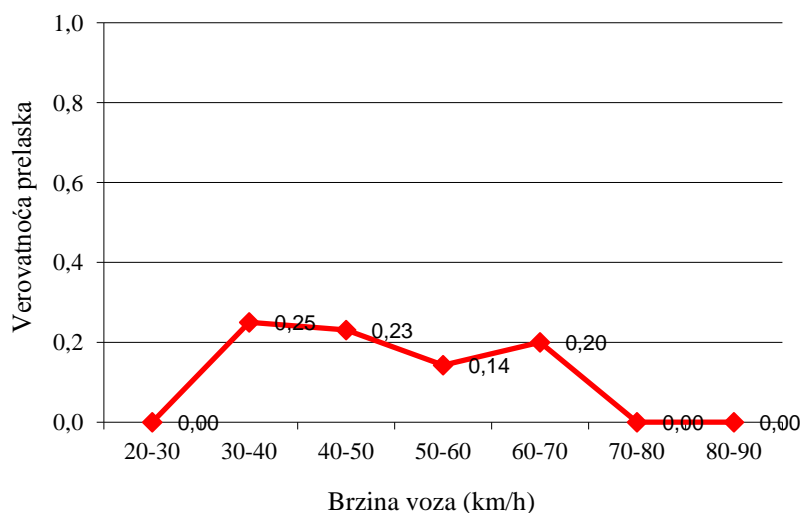


Slika 7.3 Verovatnoća prelaska putnog prelaza u funkciji vremena preostalog do nailaska voza

Kada vozači procenjuju vreme koje je preostalo do nailaska voza značajna razlika je između vozača koji su stali i onih koji su prešli ispred nailazećeg voza. Prema ANOVA testu, ($F = 14.44, p = 0.0035.$) Na slici 7.3 je prikazan uticaj preostalog vremena do nailaska voza na putni prelaz na odluku drumskog vozača o prelasku, koji nije linearan kako je bilo očekivano, ($y = 0.067x - 0.122, R^2 = 0.628$).

Kada se izvrši poređenje slike 6.3 i slike 7.3, može se uočiti da su vozači u obe grupe skloniji da pređu kada je vreme do nailaska voza veće. Međutim, očigledno je da su

vozači daleko obazriviji u donošenje odluke u uslovima osiguranog prelaza nego kada je putni prelaz bio osiguran drumskom signalizacijom.

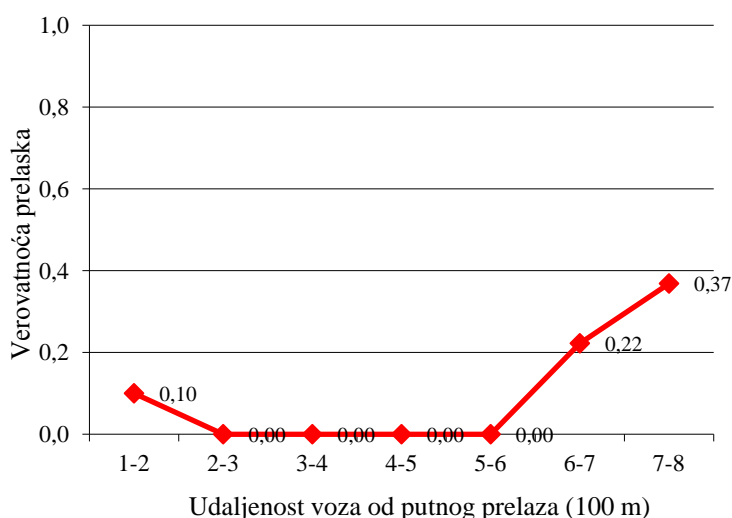


Slika 7.4. Verovatnoća prelaska putnog prelaza u funkciji od brzine voza

Prema ANOVA testu, kada vozači procenjuju brzinu nailaska voza, postoji značajna razlika između vozača koji su stali i onih koji su prešli ispred nailazećeg voza, ($F = 18.68, p = 0.000993$).

Kako je brzina voza obrnuto proporcionalna vremenu koje je preostalo za prelazak drumskog vozila, pretpostavka je da bi ona trebalo da utiče na odluku vozača o prelasku. Veza između brzine voza i verovatnoće prelaska prikazane na slici 7.4 ne pokazuje očekivanu linearnu zavisnost brzine voza i verovatnoće prelaska ($y = -0.019x + 0.193, R^2 = 0.126$).

To sugeriše da procena brzine voza, posebno za vozove koji se nalaze na većoj udaljenosti, predstavlja poteškoću.

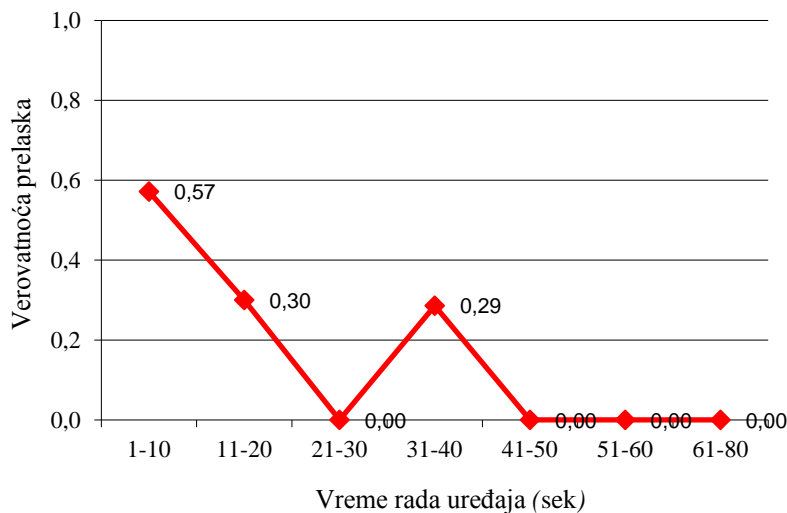


Slika 7.5. Verovatnoća prelaska putnog prelaza u funkciji od udaljenosti voza od putnog prelaza

Kada vozači procenjuju brzinu udaljenost, voza postoji značajna razlika između vozača koji su stali i onih koji su prešli ispred nailazećeg voza, ($F = 17.26$, $p = 0.0013$).

Verovatnoća prelaska vozača ispred nailazećeg voza je utvrđena u funkciji od lokacije voza, tj. udaljenosti voza od putnog prelaza u trenutku nailaska vozila, što je prikazano na slici 7.5. Kada se izvrši poređenje slike 6.2 i slike 7.5, može se uočiti da su vozači u obe grupe skloniji da pređu kako je i očekivano, tj. vozači nisu skloni da pređu kada je voz prisutan u blizini putnog prelaza. Može se uočiti, kao i prethodno, da je odluka vozača u prisustvu aktivne signalizacije daleko opreznija.

Nadalje je razmatrana verovatnoća prelaska drumskog vozila ispred nailazećeg voza u funkciji od vremena rada uređaja na putnom prelazu (slika 7.6).



Slika 7.6. Verovatnoća prelaska putnog prelaza u funkciji od vremena rada uređaja na putnom prelazu

Kada vozači procenjuju signalizaciju, postoji značaja razlika između vozača koji su stali i onih koji su prešli ispred nailazećeg voza. Prema ANOVA testu, ($F = 15.60$, $p = 0.00189$). Na slici 7.6 se vide efekti vremena rada uređaja na vozačevu odluku o prelasku. Vozači su skloniji da pređu što je vreme rada uređaja kraće. To znači da je grupa vozača koja se odlučila na prelazak prešla na svetlosnu signalizaciju.

Prva hipoteza u vezi sa efektima ugradnje aktivnog sistema zaštite sa polubranicima je jasno podržana podacima. Ugradnja polubranika značajno je redukovala broj prelazaka koji su načinjeni ispred nailazećeg voza. Pokazalo se da aktivna signalizacija znatno redukuje procenat vozača koji prelaze putni prelaz ispred nailazećeg voza sa 57% na 15.5%. To svakako objašnjava zašto se broj nesreća znatno redukuje na putnim prelazima sa aktivnim sistemom zaštite.

Druga hipoteza je takođe podržana podacima. To se odnosi na činjenicu da je većina vozača prešla upravo na svetlosnu signalizaciju, bez stajanja ili usporavanja. Ovi rezultati su u skladu sa studijom [70]. Na taj način vozači ostavljaju veću bezbednosnu marginu nego što je to slučaj kod pasivne signalizacije, $p = 0.004$.

Svakako je istraživanja na ovom polju potrebno nastaviti uz preporuku da se sprovedu na većem uzorku vozača ili na većem broju putnih prelaza da bi se podržali ovi zaključci. Pokazalo se da posmatranje ponašanja vozača na putnim prelazima pruža

uvid u delotvornost raznih mera. Konkretno u ovom istraživanju na delotvornost jedne mere. U postojećim uslovima pokazalo se da na putnim prelazima ovog tipa, koji se nalaze u ruralnim sredinama, vozači poznaju putni prelaz, kao i očekivanja u vezi sa nailaskom voza, što može da uljuljka vozača u lošim navikama da ne bude oprezan u dovoljnoj meri. Nadalje, došlo se do zaključka da je mera koja je sprovedena na ovakvom putnom prelazu sasvim zadovoljavajuća u pogledu odvratanja vozača od prelaska ispred nailazećeg voza, odnosno neregularnog ponašanja. Prosto se nameće mišljenje da vozači imaju više „poštovanja” prema tehničkom sistemu, uređaju nego prema nailazećem vozu.

8 ZAKLJUČAK

Ova disertacija je imala za cilj da se da izvestan doprinos problematici u vezi sa nesrećama na putnim prelazima u Srbiji. Potrebno je napomenuti da ovaj rad obuhvata samo jedan mali deo ove jako široke i kompleksne problematike. U našoj zemlji se tome ne pridaje dovoljan značaj, što za posledicu ima veliki broj nesreća na ovim mestima i kao što je već rečeno, broj nesreća raste. Međutim, u svetu se pridaje veći značaj ovoj problematici, gde svakako prednjače visoko razvijene zemlje. To se ogleda u velikom broju studija i naučnih radova u vezi sa ovom problematikom koje svakako obuhvataju i nove tehnologije, mere i istraživanja u drugim naukama koje se mogu povezati sa ovom naukom.

U ovom radu, a u cilju davanja doprinosa pomenutoj problematici putnih prelaza, rađeno je nekoliko istraživačkih segmenata koji su međusobno uzročno posledično povezani.

Prvi deo rada sadrži uvodna razmatranja, ciljeve rada, metodologiju i organizaciju rada.

Drugi deo rada sadrži pregled dosadašnjih istraživanja u vezi sa metodologijama procene rizika na putnim prelazima.

U trećem delu rada prikupljeni su podaci o nesrećama na putnim prelazima u Srbiji za petogodišnji period (2007. do 2011. godine) za 745 putnih prelaza od ukupno 2 138, što predstavlja 34.8%. Urađena je modifikacija podataka za potrebe ovog rada i razvijene su komponente modela za predviđanje nesreća. Napravljene su kombinovane baze podataka koje sadrže sledeće elemente putnih prelaza: fizičke, saobraćajne (obim drumskog i železničkog saobraćaja i brzine vozova), sisteme zaštite putnih prelaza kao i elemente u vezi sa nesrećama koje su se dogodile na tim putnim prelazima (frekvencija i posledice nesreća).

U četvrtom delu napravljeni su statistički modeli za predviđanje nesreća i težine posledica nesreća za posmatrani uzorak putnih prelaza. U tu svrhu je urađena statistička ocena više regresionih modela (Puasonova regresija, Puasonov model sa viškom nula – ZIP, negativni binomni model – NB, NB model sa viškom nula – ZINB) u cilju ocene i validacije modela koji najviše odgovara karakteristikama putnih prelaza na našoj mreži. Multinomni logistički model sa selekcijom korak po korak je korišćen da bi se napravio

model koji najbolje objašnjava posledice nesreća. Dakle, razvijena su tri modela rizika i dva kriterijuma za rangiranje u kontekstu identifikacije putnih prelaza visokog rizika u cilju podizanja nivoa bezbednosti. Nadalje, razvijena je metodologija za ocenu putnih prelaza visokog rizika i primenjena na naše putne prelaze korišćenjem dobijenih modela. Lista putnih prelaza visokog rizika je identifikovana na bazi dva kriterijuma. Prvi kriterijum je srednji totalni rizik (preko modela frekvencija i modela posledica) na putnom prelazu, a drugi kriterijum je srednji empirijski rizik. Spirmanov koeficijent je pokazao da je reč o umereoja korelaciji slaganja u izboru putnih prelaza koja se zasniva na osnovu ova dva kriterijuma, $r = 0.50$. Napravljena je objedinjena lista od 20 putnih prelaza koja je zajednička za oba kriterijuma, kada je primenjen prag od 15%. Ona je pokazala da je učešće pasivnih prelaza 60%, dok su aktivni prisutni sa 40%. Takođe, 90% prelaza se nalazi na magistralnim prugama u urbanom području. Brzina vozova na ovim prelazima je oko 100 km/h, što je veće od prosečne koja iznosi 70 km/h.

Peti deo rada se bavi analizom procene redukcije nesreća na putnim prelazima primenom odgovarajućih tehničkih mera za podizanje nivoa bezbednosti, a na bazi prihvaćenih modela. U tu svrhu je urađena sveobuhvatna analiza tehnologija i mera iz drugih regiona i država, a koje se danas primenjuju ili se ispituje njihova efikasnost. Koristeći njihova iskustva i rezultate, za mere koje kod nas nisu u primeni, data je ocena efikasnosti tih mera na redukciju nesreća i posledica kod nas.

Kako ne postoji projekat od strane Železnica Srbije na ovu temu, gde bi se istražilo ponašanje vozača drumskih vozila na većem uzorku sa različitim karakteristikama (fizičkim, lokacijskim, kao i različitim sistemima osiguranja), istraživanja sprovedena u ovom radu, zbog nedostatka materijalnih sredstava i istraživača, nisu mogla obraditi veći uzorak koji bi sigurno dao pouzdanije rezultate o ponašanju vozača drumskih vozila na putnim prelazima.

Šesti i sedmi delovi rada se bave neposrednim istraživanjem ponašanja vozača na putnom prelazu osiguranom drumskom signalizacijom. Prema saznanjima autora, posmatrani putni prelaz je bio u programu Železnica Srbije za podizanje nivoa osiguranja, kao jedan od problematičnih prelaza gde su se dešavale brojne nesreće. Nakon osiguranja posmatranog putnog prelaza automatskim sistemom vršeno je istraživanje ponašanja vozača u novim uslovima. Pokazalo se da je ovakvo istraživanje veoma značajno u oceni primene određene mere na odeređenom putnom prelazu.

Ovakva istraživanja bi bila daleko kompleksnija kada bi se radila na većem broju putnih prelaza, gde bi za ocenu efekata mera mogao da se koristi statistički metod logističke regresije, ali to zahteva odgovarajuće procedure, kao i značajna materijalna sredstva.

Metodologija koja je korišćena prilikom modeliranja u ovom radu ne uzima u obzir istraživanja koja su sprovedena u prethodnim studijama. U budućem bavljenju ovim problemom svakako bi trebalo predložiti korišćenje Bajesovog metoda, koji je objašnjen u ovom radu. Ovaj metod bi inkorporirao rezultate efekata mera iz prethodnih istraživanja u analizu iskustva sa nesrećama na putnim prelazima u Srbiji. Dakle, ovaj metod zahteva dva važna izvora podataka, pa prema tome i dve raspodele. To su početna raspodela parametara (apriorna raspodela) i raspodela podataka prema modelima da bi se dobila uslovna raspodela podataka (aposteriorna raspodela).

Drugo, u ovom radu nije rađena benefit-cost analiza da bi se razvila ekonomska opravdanost primene neke određene mere na putnom prelazu. Razmatrana je samo očekivana redukcija u broju nesreća, kao i u težini posledica nesreća primenom određene mere na određenom putnom prelazu. Težina posledica je potrebna u svrhu procene nastalih troškova nesreća na putnim prelazima.

S obzirom na stanje na putnim prelazima Železnica Srbije i posledicama koje se dešavaju na tim prelazima, smatramo da naša železnica treba u što kraćem vremenskom periodu započeti ozbiljnija istraživanja o ponašanjima vozača, kao i istraživanja u vezi sa podizanjem nivoa osiguranja i primenom novih tehnologija na putnim prelazima.

LITERATURA

- [1] Saobraćajni pravilnik (Pravilnik 2) – „Službeni glasnik ZJŽ” br. 4/1993.
- [2] Little, A., Use of Risk Models and Risk Assessments for Level Crossings by Other Railways Final Report to Rail Safety and Standards Board, March 2007
- [3] Tustin i dr., Railroad - Highway Grade Crossing Handbook, Railroad - Highway Grade Crossing Handbook - Revised Second Edition 2007, FHWA-SA-07-010. Federal Highway Administration, 2007
- [4] Austin R., Carson J. An alternative accident prediction model for highway-rail interfaces, Accident Analysis and Prevention, Volume 34, Issue 1, Pages 31-42 January 2002
- [5] Saccomano, F., et al. Risk-based model for identifying highway-rail grade crossing blackspots, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.1862, pp. 127-135, 2004
- [6] Statistical Methods in Highway Safety Analysis, A Synthesis of Highway Practice Transportation Research Board, NCHRP Synthesis 295, 2001
- [7] Keller, B. Analysis of type and severity of traffic crashes at signalized intersections using tree-based regression and ordered probit models, University of Central Florida, , A thesis, 2003
- [8] Saccomano, F., and Lai X., A Model for Evaluating Countermeasures at Highway-Railway Grade Crossings, Journal of the Transportation Research Record 1918, pp. 18-25., 2005
- [9] Park, Y.-J. P., Saccomanno, F.F. Collision Frequency Analysis Using Tree-Based Stratification, Journal of the Transportation Research Record 1908, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.121-129, 2005a
- [10] Park, Y.-J. P., Saccomanno, F.F. Evaluating Factors Affecting Safety at Highway-Railway Grade Crossings, Journal of the Transportation Research Record 1918, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.1-9, 2005b

-
- [11] Miranda-Moreno, L.F., Fu, L., Saccomanno, F., and Labbe, A. Alternative Risk Models for Ranking Locations for Safety Improvement. *Transportation Research Record*. No.1908, pp.1-8, 2005
- [12] Saccomanno, F., et al. Identifying highway-railway grade crossing black spots: phase 1, Department of Civil Engineering University of Waterloo, 2003
- [13] Miranda-Moreno, L.F., et al. How to incorporate accident severity and vehicle occupancy into the hotspot identification process?, 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Paper No. 09-2824, Washington, DC., 2009
- [14] Hu, So-Ren., Li, Chin-Shang., Lee, Chi-Kang. Investigation of key factors for accident severity at railroad grade crossings by using a logit model, *Safety Science* 48, 186-194, 2010
- [15] Miranda-Moreno, L.F., Fu, L. A Comparative Study of Alternative Model Structures and Criteria for Ranking Locations for Safety Improvements. *Netw Spat Econ* 6: 97-110, 2006
- [16] Nojković, A. Modeli diskretne zavisne promenljive: pregled metodologije i primenjenih istraživanja, *Saopštenja/Communications*, godina, 2000.
- [17] Hauer, E. Overdispersion in modeling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation. *Accident Analysis and Prevention*, 33, pp.799–808, 2001
- [18] Lambert, D. Zero-Inflated Poisson Regression, with an Application to Defects in Manufacturing, *American Statistical Association and the American Society for Quality Control*, Vol. 34, No. 1, pp. 11-14, 1992
- [19] Miaou, S.P., The Between Truck Accidents and Geometric Design of Road Sections: Poisson Versus Negative Binomial Regression, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.16, No. 4, pp. 471-482, 1994
- [20] Washington, S., Karlaftis, M., Mannering L., *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Chapman and Hall/CRL, Washington, District of Columbia, 2003
- [21] Administracija Železnica Srbije. Baza podataka o putnim prelazima, *Železnice Srbije*, 2011.

- [22] Administracija Železnica Srbije. Baza podataka o vanrednim događajima na bazi Knjige evidencije vanredni događaja, S-80 i Statistički izveštaj o vanrednim događajima, St-79 , Železnice Srbije, 2007. do 2011.
- [23] Pravilnik 325 o kategorizaciji pruga, Zavod za novinsko-izdavačku i propagandnu delatnost JŽ, Beograd, 1989.
- [24] Pravilnik o načinu ukrštanja železničke pruge i puta (Pravilnik 322), ZJŽ, Beograd, 2000.
- [25] Uredba o naknadi štete na licima, Službeni glasnik Republike Srbije br 34/2010.
- [26] Washington, S., Oh, J. Bayesian methodology incorporating expert judgment for ranking countermeasure effectiveness under uncertainty: Example applied to at grade railroad crossings in Korea , Accident Analysis and Prevention 38 , 234–247, 2006
- [27] Washington, S., Lord, D., Persaud, B., The Use of Expert Panels in Highway Safety:A Critique, 2008
- [28] Saccomanno F. et al. Estimating countermeasure effects for reducing collisions at highway–railway grade crossings, Accident Analysis and Prevention 39 406–416., 2007
- [29] Gan, A., Rodriguez, A., Update of Florida Crash Reduction Factors and Countermeasures to Improve the Development of District safety Improvement Projects, Final Report, FDOT 99700-3596-119, Lehman Center for Research, Florida International University, Miami, 2005
- [30] Gross F., Persaud B., Lyon C. A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. FRAReport, FHWA-SA-10-032, Washington, 2010
- [31] Al-Masaeid, H. (1997). Performance of safety evaluation methods. Journal of Transportation Engineering, 123, 364-369, 1997
- [32] Park, Y.-J. P., F.F Saccomanno, Reducing Treatment Selection Bias for Estimating Treatment Effects Using Propensity Score Method, American Society of Civil Engineers, Vol. 133, No. 2, pp. 112-118, 2007
- [33] Persaud et al. Statistical Methods in Highway Safety Analysis, A Synthesis of Highway Practice, NCHRP, Synthesis 295, Transportation Research Board, Washington, 2001

-
- [34] National Transportation Safety Board. Safety Study: Safety at Passive Grade Crossings Volume 1: Analysis (NTSB/SS-98/02). Washington, D.C.: National Transportation Safety Board, 1998
- [35] Gitelman et al. Screening Tools for Considering Grade Separation at Rail-Highway Crossings. *Journal of Transportation Engineering*, January, 2006
- [36] Wallace., A, Motorist behaviour at railway level crossing: the present context in Australija, A thesis, 2008
- [37] Caird, J.K., Creaser, J.I., Edwards, C.J., Dewar, R.E. A Human Factors Analysis of Highway-Railway Grade Crossing Accidents in Canada (TP 13938E). Transport Canada, 2002
- [38] Highway Design Handbook for Older Drivers and Pedestrians, V. Highway-Rail Grade Crossings (Passive), FRAReport, FHWA-RD-01-103, May 2001
- [39] Wooldridge, M., Fambro,. D., Brewer, M., Engelbrecht,. R., Harry, S., Cho, H., At grade intersections near highway-railroad grade crossings, FHWA/TX-01/1845-2. Texas Department of Transportation., 2001
- [40] Kohda, T., Fujihara, H. Risk analysis of level crossing accidents based on system control for safety, *Risk and Reliability*, 2008
- [41] Neil, D., Lerner, Ratte, D. Drivers as Decision Makers at Rail-Highway Grade Crossings, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 34*: 1042, DOI: 10.1177/154193129003401418, 1990
- [42] Meeker, F., Fox, D., Weber, C.: A comparison of driver behavior at railroad grade crossings with two different protection systems, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 29, No 1, pp.11–16, 1997
- [43] North Carolina “Sealed Corridor” Phase I U.S. DOT Assessment Report, Federal Railroad Administration, Washington, 2002
- [44] Mironer, M., Coltman, M., R.McCown, Assessment of Risk for High-Speed Rail Grade Crossings on the Empire Corridor, Final Report, DOT/FRA/RDV-00/05, Federal Railroad Administration, U.S. Department of Transportation, 2000
- [45] Safety of Highway-Railroad Grade Crossings, North Carolina “Sealed Corridor” Phase I, II, and III Assessment, U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Washington, 2009

- [46] Ko, B., Courage, K., Willis, M. Development and Deployment of a Portable Highway- Railroad Grade Crossing Surveillance System Volume II: Video Based Studies of Flexible Traffic Separators at Highway-Railroad Grade Crossings. Final Report , Prepared for the Florida Department of Transportation Rail Office By The University Of Florida, Transportation Research Center, April 2003
- [47] Carrol, A., Multer, J., Marcos, S. Safety of highway-railroad grade crossing: Use of auxiliary external alerting devices to improve locomotive conspicuity. Cambridge: U.S. Department of transportation, 1995
- [48] Peter Young – Jin Park, Estimating Effectiveness of Countermeasures Based on Multiple Sources: Application to Highway-Railway Grade Crossings, Phd thesis, Waterloo, Ontario, Canada, 2007
- [49] Jun, Xu., Scott Long, J., Confidence Intervals for Predicted Outcomes in Regression, Models for Categorical Outcomes, Indiana University, August 23, 2005
- [50] Efton, B., Tibshirani R., Bootstrap Methods for Standard Errors, Confidence Intervals, and Other Measures Of Statistical Accuracy, Statistical Science, Volume 1, Issue 1 , 54-75, 1986
- [51] Yeh, M., Multer, J. Driver Behavior at Highway- Railroad Grade Crossings, A Literature Review from 1990–2006, U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration
- [52] Lerner, N., Ratte, D. Drivers as Decision Makers at Rail-Highway Grade Crossings, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 34, 1042, DOI: 10.1177/154193129003401418, 1990
- [53] Hauer, E. Flashing lights and belles at grade crossing: Present problems and directions of the future. TP 5308E. Montreal, Quebec: Transportation Development centre, 1984
- [54] Ward, N.J., Wilde, G.J.S. A comparison of vehicle approach speed and braking between day and nighttime periods at an automated railway crossing, Safety Science, Vol.19, pp.31–44 1995
- [55] Raslear, T.G. Driver Behavior at Rail-Highway Grade Crossings: A Signal Detection Theory Analysis. Safety of Highway-Railroad Grade Crossings.

- Research Needs Workshop, Volume II – (Report No. DOT/FRA/ORD/14.2, DOT-VNTSC-FRA-95-12.2, pp. F9-F56). U.S. Department of Transportation, Washington, D.C, 1996
- [56] Russell, E. et. al. Study of drivers behavior at passive railroad-highway grade crossings, Kansas State University Manhattan, KS 66506, 2007
- [57] Meeker, F. L., Barr, R. A. An observational study of driver behaviour at a protected railroad grade crossing as trains approach, *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 21, No 3, pp.255-262, 1989
- [58] Ward, N.J., Wilde, G.J.S.: Driver approach behavior at an unprotected railway crossing before and after enhancement of lateral sight distances: An experimental investigation of a risk perception and behavioral compensation hypothesis, *Safety Science*, Vol. 22, No 1-3, pp.63–75, 1996
- [59] Wigglesworth, E.C.: Report on human factors in road-rail crossing accidents, Melbourne, Victoria, Australia: Ministry of Transport, 1976
- [60] Moon, Y.J., Coleman, F.: Driver's speed reduction behavior at highway rail intersections. In Paper Preprints of the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board [CD-ROM], Washington, DC: TRB. 1999
- [61] Wigglesworth, E.C. A human factors commentary on innovations at railroad-highway grade crossings in Australia *Journal of Safety Research*, 2001
- [62] Wilde, G.J.S., Cake, L.J., McCarthy, B.A.: An observational study of driver behaviour at signalized railroad crossings. Kingston, Ontario: Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's University, 1976
- [63] Reason, J. *Managing the risks of organizational accidents*. Brookfield: Ashgate, 1997
- [64] Leibowitz, H. W. Grade crossing accidents and human factors engineering, *American Scientist*, 73, 558-562, 1985
- [65] Meeker, F., Fox, D., Weber, C. A comparison of driver behavior at railroad grade crossings with two different protection systems, *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 29, No 1, pp.11–16, 1997
- [66] Carrol, A., Multer, J., Marcos, S. *Safety of highway-railroad grade crossing: Use of auxiliary external alerting devices to improve locomotive conspicuity*. Cambridge: U.S. Department of transportation, 1995

- [67] Cairney, P. Prospects of improving the conspicuity of trains at passive railway crossings, (No. CR 217), Canberra: Australian Transport Safety Bureau, 2003
- [68] Stručne službe Železnica Srbije. Izveštaj o bezbednosti i funkcionisanju saobraćaja. Godišnji izveštaj, 2002-2009
- [69] Fitzpatrick K., Carlson P., Bean J., Traffic violations at grade highway-railway grade crossings, Texas transportation institute, 1997
- [70] Richards, S. H., and Heathington, K. W. Driver Behavior at Rail-Highway Crossings. Report No. DTFH61-88-Z-00145. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Washington, D.C.1989
- [71] Kasalica, S., Vukadinović, R., Lučanin, V. Study of Drivers' Behaviour at a Passive Railway Crossing, Promet – Traffic&Transportation, Vol. 24, No. 3, 193-200, 2012

Biografija

Ime i prezime: Sandra Ilija Kasalica
Datum i mesto rođenja: 21. 4. 1969, Knin, Hrvatska
Porodično stanje: Udata, majka dvoje dece

Školovanje:

- 1991–1994. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu – katedra za železnički saobraćaj
- 1995–1997. Magistarske studije, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu – katedra za železnički saobraćaj
2003. Magistrirala na temu „Optimizacija turnusa vučnih vozila uzimajući u obzir i kašnjenja vozova”, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu – katedra za železnički saobraćaj
1996. Položen stručni ispit za zanimanje diplomirani saobraćajni inženjer železničkog smera u JP „Železnice Srbije”
2000. Stručni ispit, Savez inženjera i tehničara Srbije

Radno iskustvo:

- 1995–2006. Saobraćajni institut CIP d.o.o, Beograd, Zavod za ekonomiju i tehnologiju saobraćaja, istraživač saradnik
- 2006– Predavač, Visoka železnička škola strukovnih studija, Beograd

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Сандра Касалица

број уписа УДК 656.216.2.08(043.3).

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Унапређење безбедности саобраћаја на путно-пужним прелазима

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

Потпис докторанда

У Београду, 14.03.2013.

Sandra Kasalica

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Сандра Касалица

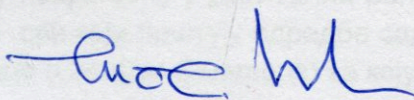
Број уписа УДК 656.216.2.08(043.3).

Студијски програм Железничко машинство

Наслов рада Унапређење безбедности саобраћаја на путно-пругним прелазима

Ментор Проф. др Војкан Лучанин

Потписани _____



изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

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

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

Потпис докторанда

У Београду, 14.03.2013.

Sandra Kasalica

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

Унапређење безбедности саобраћаја на путно-пужним прелазима

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 14.03.2013.

Sandra Kvaselica