



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Јелена Митровић Симић

**НИВО УСЛУГЕ НА
НЕСИГНАЛИСАНИМ ПЕШАЧКИМ
ПРЕЛАЗИМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2015



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Јелена Митровић Симић
Ментор, МН:	Др Вук Богдановић, ванредни професор
Наслов рада, НР:	Ниво услуге на несигналисаним пешачким прелазима
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикација, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2015
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО: <small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	10 поглавља/182 стране/92 цитата/36 табела/75 слика/-/6 прилога
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство
Научна дисциплина, НД:	Планирање, регулисање и безбедност саобраћаја
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Ниво услуге, несигналисани пешачки прелаз, несигналисане раскрснице, пешаци, интервали преласка пешака, временски губици
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	<p>Истраживање које је спроведено у оквиру дисертације послужило је за дефинисање математичког модела који се може применити у поступку одређивања нивоа услуге за несигналисане пешачке прелазе. Формирани модел за прорачун степена пропуштања пешака у условима локалног одвијања саобраћаја зависи од протока пешака и возила, структуре саобраћајног тока (учешће аутобуса и теретних возила) и смера кретања возила на локацији пешачког прелаз. У оквиру дисертације извршена је анализа пешачких интервала приликом преласка коловоза. Упоредном анализом прихватљивих и критичних интервала добијен је модел понашања пешака у зависности од карактеристика локације несигналисаног пешачког прелаз. Утврђена је зависност између дужине прихваћених интервала пешака приликом преласка коловоза и услова одвијања саобраћаја, полних карактеристика пешака и броја пешака који прелазе коловоз на несигналисаном пешачком прелазу.</p>
Датум прихватања теме, ДП:	04.06.2014
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: Др Валентина Басарић, доцент
	Члан: Др Љупко Шимуновић, ванр. проф.
	Члан: Др Давор Брчић, ванр. проф.
	Члан: Др Зоран Папић, доцент
	Члан, ментор: Др Вук Богдановић, ванр. проф.
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Printed textual material
Contents code, CC :	Ph. D. thesis
Author, AU :	Jelena Mitrović Simić
Mentor, MN :	Ph.D. Vuk Bogdanović, Associate Professor
Title, TI :	Level of service at unsignalized pedestrian crossings
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2015
Publisher, PB :	Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	10 chapters/182 pages/92 ref./36 tables/75 pictures/-/6 appendixes
Scientific field, SF :	Traffic engineering
Scientific discipline, SD :	Planning, regulation and safety of traffic
Subject/Key words, S/KW :	Level of service, unsignalized pedestrian crossings, unsignalized intersection, pedestrian crossing gaps, delay
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	<p>The study, which was conducted within the thesis, has served to define a mathematical model that can be applied in the process of determining the level of service at unsignalized pedestrian crossings. The formed model for motorist yield rate, in terms of the local pedestrian traffic flow, depends on pedestrian and vehicular flow rate, traffic flow structure (the share of buses and freight vehicles), and vehicle moving at the location of a pedestrian crossing. The pedestrian gap acceptance behaviour has also been analysed. Comparative analysis of acceptable and critical pedestrian gap was conducted. Model of pedestrian behaviour, which depending on the site characteristics, was formed and it has been proven a correlation between the length of the accepted pedestrian gaps and the roadway and traffic conditions, gender characteristics and the number of pedestrians at unsignalized crossings.</p>
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	04.06.2014.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Ph. D. Valentina Basarić, Assistant Professor
Member:	Ph. D. Ljupko Šimunović, Associate Professor
Member:	Ph. D. Davor Brčić, Associate Professor
Member:	Ph. D. Zoran Papić, Assistant Professor
Member, Mentor:	Ph. D. Vuk Bogdanović, Associate Professor
	Menthor's sign

ZAHVALNICA

Dugujem veliku zahvalnost svom mentoru, prof. dr Vuku Bogdanoviću, za neizmernu pomoć, podršku i poverenje koje mi je ukazao i koji me je na pravi način uputio i vodio kroz celi postupak istraživanja. Zahvaljujem se članovima Komisije, doc. dr Valentini Basarić, prof. dr Ljupku Šimunoviću, prof. dr Davoru Brčiću i doc. dr Zoranu Papiću, koji su svojim sugestijama, komentarima i savetima doprineli poboljšanju kvaliteta ovog rada.

Hvala svim kolegama sa Departmana za saobraćaj koji su mi pomogli u toku pripreme i realizacije doktorske disertacije, a posebno kolegi Nenadu Sauliću za nesebičnu pomoć prilikom organizacije i sprovođenja istraživanja.

Posebno bih se zahvalila suprugu Cvijetinu i ostalim članovima porodice, za pruženu podršku i razumevanje, kao i za sva odricanja koja su bila neminovna prilikom izrade ove disertacije.

Jelena Mitrović Simić

Sadržaj

Spisak tabela	I
Spisak slika.....	III
Spisak oznaka i skraćenica	VI
Rezime	VIII
Abstract.....	IX
1. UVOD.....	1
1.1. Definisane problema i cilja istraživanja.....	2
1.2. Postavljanje polazne hipoteze.....	4
1.3. Metode istraživanja	5
1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima	6
2. OPŠTE KARAKTERISTIKE PEŠAČKOG SAOBRAĆAJA.....	9
2.1. Karakteristike pešačkih putovanja.....	10
2.2. Obeležja stradanja pešaka u saobraćaju	15
2.3. Faktori koji utiču na pešački saobraćaj.....	21
2.4. Interakcija sa drugim učesnicima u saobraćaju	23
2.5. Prednosti i nedostaci pešačkog saobraćaja	23
3. KARAKTERISTIKE KRETANJA PEŠAKA I PARAMETRI PEŠAČKIH TOKOVA	25
3.1. Elementi pešačke infrastrukture.....	26
3.2. Karakteristike kretanja pešaka	28
3.2.1. <i>Prostorni zahtevi</i>	28
3.2.2. <i>Brzina kretanja</i>	28
3.2.3. <i>Početno vreme</i>	29
3.2.4. <i>Plotunsko kretanje pešaka</i>	30
3.3. Osnovni parametri pešačkih tokova i njihovi međusobni odnosi.....	31
3.3.1. <i>Odnos brzina-gustina</i>	31
3.3.2. <i>Odnos protok-gustina</i>	32
3.3.3. <i>Odnos brzina-protok</i>	33
3.3.4. <i>Odnos brzina-prostor</i>	34
3.4. Definisane procesa prelaska pešaka preko kolovoza	34
3.5. Faktori koji utiču na prelazak pešaka preko kolovoza.....	36
3.5.1. <i>Objektivni faktori</i>	36
3.5.2. <i>Subjektivni faktori</i>	38
3.6. Normativna regulativa u oblasti regulisanja pešačkog saobraćaja u R. Srbiji	39
4. NIVO USLUGE PEŠAČKIH TOKOVA PREMA HCM-u.....	43
4.1. Kriterijumi nivoa usluge pešačkih tokova.....	44
4.2. Postupak proračuna nivoa usluge pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima prema HCM-u 2010.....	49
4.3. Uticaj SPP-a na nivo usluge pešaka na nesignalisanim prelazima.....	58

5. ANALIZA POSTOJEĆIH ISTRAŽIVANJA	61
5.1. Propuštanje pešaka od strane vozila na nesignalisanim pešačkim prelazima	61
5.2. Prihvatljivi intervali pešaka za prelazak kolovoza	71
6. DEFINISANJE PODRUČJA I METODA ISTRAŽIVANJA.....	83
6.1. Područje istraživanja.....	83
6.2. Metod istraživanja.....	85
6.2.1. <i>Prikupljanje podataka</i>	86
6.2.2. <i>Statistička analiza rezultata istraživanja</i>	88
7. FORMIRANJE MODELA ZA STEPEN PROPUŠTANJA PEŠAKA OD STRANE VOZILA	90
7.1. Izdvajanje polaznih nezavisno promenljivih za formiranje modela.....	92
7.2. Rezultati regresione analize.....	94
7.2.1. <i>Varijanta 1: kompletan model</i>	96
7.2.2. <i>Varijanta 2: best subsets, max R², 3 promenljive</i>	97
7.2.3. <i>Varijanta 3: best subsets, max R², 4 promenljive</i>	97
7.2.4. <i>Varijanta 4: best subsets, max R², 5 promenljivih</i>	98
7.2.5. <i>Varijanta 5: best subsets, max R², 6 promenljivih</i>	99
7.2.6. <i>Varijanta 6: Stepwise analiza</i>	100
7.3. Izbor modela.....	101
7.4. Testiranje modela	106
8. NIVO USLUGE NA NESIGNALISANIM PEŠAČKIM PRELAZIMA	108
8.1. Vremenski gubici na pešačkim prelazima u zavisnosti od SPP-a.....	109
8.2. Vremenski gubici na pešačkim prelazima u zavisnosti od protoka vozila	114
8.3. Osvrt na rezultate analize	118
9. INTERVALI PEŠAKA PRILIKOM PRELASKA KOLOVOZA	119
9.1. Analiza pešačkih intervala na karakterističnim pešačkim prelazima	120
9.1.1. <i>Pešački prelaz sa jednom saobraćajnom trakom, jednosmerno kretanje vozila – K1</i>	121
9.1.2. <i>Pešački prelaz sa dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila – K2...</i>	122
9.1.3. <i>Pešački prelaz sa dve saobraćajne trake, jednosmerno kretanje vozila – K3</i>	123
9.1.4. <i>Pešački prelaz sa više od dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila – K4</i>	125
9.1.5. <i>Uporedna analiza pešačkih intervala</i>	126
9.2. Prihvaćeni intervali u zavisnosti od pola pešaka	130
9.3. Prihvaćeni intervali u zavisnosti od vrste prelaska preko kolovoza.....	132
9.4. Osvrt na rezultate analize	134
10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA.....	136
LITERATURA	140
PRILOZI	148
Spisak priloga.....	149
PRILOG 1: Normativna regulativa u oblasti regulisanja pešačkog saobraćaja u R. Srbiji ..	150
PRILOG 2: Formirana baza podataka sa prikupljenim karakteristikama lokacija	162

PRILOG 3: Korelaciona matrica	165
PRILOG 4: Izlazni rezultati regresione analize u softverskom paketu MINITAB 17.1.0	166
PRILOG 5: Vrednosti nezavisno promenljivih za lokacije korišćene za testiranje modela ..	181
PRILOG 6: Postupak proračuna vremenskih gubitaka za utvrđivanje nivoa usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima primenom metoda HCM 2010 (primer).....	182

Spisak tabela

Tabela 3.1: Razmak između pešaka za definisanje osnovnog nacrtnog profila.....	41
Tabela 4.1: Kriterijumi NU pešačkih tokova za šetališta i trotoare.....	46
Tabela 4.2: Kriterijumi NU pešačkih tokova na stepenicama.....	46
Tabela 4.3: Kriterijumi NU pešačkih tokova u akumulacionim zonama.....	49
Tabela 4.4: NU prema vremenu čekanja na prelazak kolovoza.....	57
Tabela 5.1: Podela pešačkih prelaza na kategorije u zavisnosti od tehničke opremljenosti.....	61
Tabela 5.2: Usporedni prikaz SPP-a u zavisnosti od tipa prešačkog prelaza - svetlosni signali (TIP 1) i signali koji su aktivni u prisustvu pešaka (TIP 2).....	62
Tabela 5.3: Usporedni prikaz SPP-a u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza - unapređene i dobro vidljive oznake i znakovi na kolovozu (TIP 3).....	63
Tabela 5.4: Efekat svetlećih signala, pozicije pešaka i veličine vozila na SPP.....	67
Tabela 5.5: Uticaj tipa pešačkog prelaza na SPP-a.....	69
Tabela 5.6: Veza između NU pešaka i verovatnoće prihvatanja intevala određene dužine.....	82
Tabela 6.1: Broj pešačkih lokacija po gradovima i državama.....	84
Tabela 6.2: Spisak lokacija na kojima je vršeno istraživanje.....	85
Tabela 7.1: Spisak polaznih zavisno promenljivih u analizi nezavisno promenljive M_y ...	91
Tabela 7.2: Nezavisno promenljive izdvojene za formiranje modela.....	93
Tabela 7.3: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 1 - kompletan model.....	96
Tabela 7.4: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 2.....	97
Tabela 7.5: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 3.....	98
Tabela 7.6: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 4.....	99
Tabela 7.7: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 5.....	99
Tabela 7.8: Osnovni izlazni rezultati „Stepwise“ analize (višestruke regresije u koracima) za Varijantu 6.....	100
Tabela 7.9: Usporedni prikaz rezultata za šest varijanti modela.....	101
Tabela 7.10: Osnovni statistički podaci i nezavisne promenljive koje su ušle u izabrani model.....	102
Tabela 7.11: Izmerene vrednosti $M_{y_{izm}}$ i vrednosti dobijene modelom $M_{y_{mod}}$	105
Tabela 7.12: Lokacije i vrednosti nezavisno promenljivih potrebnih za testiranje modela.....	106
Tabela 7.13: Testiranje modela: Izmerene vrednosti $M_{y_{izm}}$ i vrednosti dobijene modelom $M_{y_{mod}}$	106

Tabela 8.1: Vremenski gubici izračunati primenom HCM metode za tri različite vrednosti SPP-a (My_{izm} , My_{mod} , My_{HCM}).....	109
Tabela 8.2: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih sa izmerenim (My_{izm}) i modelovanim (My_{mod}) vrednostima SPP-a.....	110
Tabela 8.3: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih sa izmerenim (My_{izm}) i preporučenim (My_{HCM}) vrednostima SPP-a.....	112
Tabela 8.4: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih sa modelovanim (My_{mod}) i preporučenim (My_{HCM}) vrednostima SPP-a.....	113
Tabela 8.5: Grupisanje lokacija po kriterijumu vrednosti protoka vozila na pešačkom prelazu.....	114
Tabela 9.1: Karakteristike lokacija za analizu pešačkih intervala.....	120
Tabela 9.2: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K1.....	121
Tabela 9.3: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K2.....	122
Tabela 9.4: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K3.....	124
Tabela 9.5: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K4.....	125

Spisak slika

Slika 2.1: Procenat pešačkih putovanja u ukupnom dnevnom broju putovanja za period 1974-2009. godine.....	10
Slika 2.2: Učešće pešačkih putovanja u SAD-u, Kanadi, Australiji i 11 evropskih zemalja.....	11
Slika 2.3: Procenat pešačkih putovanja u zavisnosti od rastojanja.....	12
Slika 2.4: Prosečna dnevna rastojanja po osobi za pešačka putovanja.....	12
Slika 2.5: Procenat pešačkih putovanja u zavisnosti od starosnih grupa.....	13
Slika 2.6: Učešće putovanja po svrhama i sredstvima.....	14
Slika 2.7: Vremenska raspodela putovanja po sredstvima i ukupno.....	15
Slika 2.8: Trend broja poginulih pešaka na 100 000 stanovnika po starosnim kategorijama.....	16
Slika 2.9: Stepen povređenih i poginulih pešaka u SAD-u i evropskim zemljama za 2009. godinu.....	17
Slika 2.10: Trend broja poginulih pešaka u odnosu na 1970. godinu.....	17
Slika 2.11: Procentualno učešće nastradalih i poginulih lica u zavisnosti od kategorije učesnika u saobraćaju u Republici Srbiji za period 2012-2013. godine.....	19
Slika 2.12: Učešće nastradalih i poginulih pešaka po danima u toku nedelje u Republici Srbiji za period 2012-2013. godine.....	19
Slika 2.13: Časovna raspodela nastradalih i poginulih pešaka u Republici Srbiji za period 2012-2013. godine.....	20
Slika 2.14: Procentualno učešće nastradalih i poginulih pešaka u zavisnosti od starosne kategorije u Republici Srbiji za period 2012-2013. godine.....	20
Slika 2.15: Procentualno učešće nastradalih i poginulih pešaka u odnosu na ukupan broj povređenih u okviru određene starosne kategorije u Republici Srbiji za period 2012-2013. godine.....	21
Slika 3.1: Klasifikacija pešačkih objekata.....	26
Slika 3.2: Potreban prostor za stajanje i kretanje pešaka.....	28
Slika 3.3: Raspodela posmatranih brzina starijih i mlađih pešaka na nesignalisanim raskrsnicama.....	29
Slika 3.4: Vremenska raspodela protoka pešaka po minutama.....	30
Slika 3.5: Primeri plotunskog kretanja pešaka.....	31
Slika 3.6: Odnos između brzine pešaka i gustine.....	32
Slika 3.7: Odnos između protoka pešaka i pešačkog prostora.....	33
Slika 3.8: Odnos između brzine i protoka pešaka.....	33
Slika 3.9: Odnos između brzine i prostora.....	34
Slika 3.10: Prelezak kolovoza bez razdelnog ostrva.....	35

Slika 3.11: Prelazak kolovoza sa razdelnim ostrvom.....	35
Slika 3.12: Znak III-6 „Označeni pešački prelaz“	40
Slika 3.13: Slobodni i saobraćajni profil pešačke staze [m].....	41
Slika 3.14: Dijagram uslova za određivanje nivoa uređenja pešačkih prelaza.....	42
Slika 4.1: Odnos između a) brzine i prostora i b) protoka i prostora.....	44
Slika 4.2: Verovatnoća nastajanja konflikta.....	45
Slika 4.3: NU pešaka na šetalištima i trotoarima.....	47
Slika 4.4: NU pešaka u akumulacionim zonama.....	48
Slika 4.5: Koraci za izračunavanje prosečnih vremenskih gubitaka pešaka po metodi HCM 2010.....	50
Slika 4.6: Zavisnost vremenskih gubitaka pešaka od protoka vozila i SPP-a.....	59
Slika 4.7: Zavisnost klasa NU od protoka vozila i SPP-a.....	59
Slika 5.1: Raspon i prosečan SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza.....	64
Slika 5.2: SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza i broja saobraćajnih traka.....	66
Slika 5.3: SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza i ograničene brzine kretanja.....	66
Slika 5.4: Čekanje pešaka na prelazak preko saobraćajnice sa velikim intetnzitetom vozila.....	73
Slika 5.5: Primer kumulativne distribucije prihvatljivih pešačkih intervala.....	74
Slika 5.6: Poređenje prihvaćenih i kritičnih intervala za različite brzine kretanja pešaka.	75
Slika 5.7: Prihvatljivi intervali prelaska u fukciji starosnih grupa i brzine vozila analizirani u prvom eksperimentu, sa odgovarajućim rastojanjima prikazanim u zagradama.....	77
Slika 5.8: Kumulativna distribucija prihvaćenih intervala za pojedinačne pešake i pešake u grupi.....	79
Slika 5.9: Osetljivost prihvatljivih intervala u odnosu na udaljenost nailazećeg vozila za pešake u grupi.....	80
Slika 5.10: Osetljivost verovatnoće prelaska pešaka u odnosu na interval vozila za različita vremena čekanja.....	81
Slika 6.1: Deo lokacija na kojima je sprovedeno istraživanje.....	84
Slika 6.2: Prikaz video zapisa u prozoru programa.....	86
Slika 6.3: Preciznost merenja vremena u korišćenom programu.....	87
Slika 6.4: Prikaz statističke obrade podataka.....	88
Slika 7.1: Odnos SPP-a i nezavisnih promenljivih koje su uključene u model.....	103
Slika 8.1: Prosečni vremenski gubici za lokacije sa protokom do 600 PAJ/h.....	115
Slika 8.2: Klase NU za lokacije sa protokom do 600 PAJ/h.....	115
Slika 8.3: Vremenski gubici za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h.....	116
Slika 8.4: Klase NU za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h.....	116

Slika 8.5: Vremenski gubici za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h sa različitim klasama NU.....	117
Slika 8.6: Razlika u određivanju klasa NU za lokacije na kojima je protok od 600 do 1100 vozila/h.....	117
Slika 8.7: Vremenski gubici za lokacije sa protokom preko 1100 PAJ/h.....	117
Slika 9.1: Prikaz dela baze podataka intervala pešaka prilikom prelaska preko kolovoza.....	119
Slika 9.1: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K1.....	121
Slika 9.2: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K1.....	122
Slika 9.3: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K2.....	123
Slika 9.4: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K2.....	123
Slika 9.5: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K3.....	124
Slika 9.6: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K3.....	125
Slika 9.7: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K4.....	126
Slika 9.8: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K4.....	126
Slika 9.9: Uporedni prikaz kumulativne raspodele prihvaćenih intervala za četiri karakteristična tipa pešačkih prelaza.....	127
Slika 9.10: Uporedni prikaz kumulativne raspodele odbijenih intervala za četiri karakteristična tipa pešačkih prelaza.....	128
Slika 9.11: Vrednosti prihvaćenih, odbijenih i kritičnih intervala na karakterističnim lokacijama pešačkih prelaza.....	129
Slika 9.12: Uporedni prikaz prihvaćenih intervala pešaka i kritičnih intervala na karakterističnim lokacijama.....	130
Slika 9.13: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka za sve lokacije zajedno.....	131
Slika 9.14: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka na lokacijama K1, K2, K3 i K4.....	131
Slika 9.15: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na vrstu prelaska za sve lokacije zajedno.....	132
Slika 9.16: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na vrstu prelaska na karakterističnim lokacijama K1, K2, K3 i K4.....	133

Spisak oznaka i skraćenica

NU	- nivo usluge
TRB	- Transportation Research Board
HCM	- Highway Capacity Manual
SPP	- stepen propuštanja pešaka
PAJ	- jedinica putničkog automobila
MAE	- srednja apsolutna greška
MAPE	- srednja apsolutna procentualna greška
CDF	- kumulativna distributivna funkcija
T1...T6	- oznake lokacija na kojima je vršeno testiranje modela
K1...K4	- oznake lokacija za analizu pešačkih intervala
X ₁ ...X ₂₀	- nezavisno promenljive koje su učestvovalе u formiranju modela
V _{ped}	- jedinični protok pešaka (pešaka/min/m)
S _{ped}	- brzina pešaka (m/min)
D _{ped}	- gustina (pešaka/m ²)
M	- pešački prostor (m ² /pešaku)
t _c	- kritični interval za pešaka (s)
S _p	- prosečna brzina kretanja pešaka (ft/s)
L	- dužina pešačke putanje (ft)
t _s	- zaštitno vreme za pešaka pri prelasku kolovoza (s)
N _p	- prostorna distribucija pešaka (pešaka)
N _c	- ukupan broj pešaka u plotunu (pešaka)
W _c	- širina pešačkog prelaza (ft)
v _p	- protok pešaka (pešaka/s)
v	- protok vozila (voz/s)
t _{c,G}	- kritični interval za grupu pešaka (s)
P _b	- verovatnoća da je saobraćajna traka blokirana
P _d	- verovatnoća čekanja na prelazak kolovoza
L	- broj saobraćajnih traka koje pešak treba da pređe
d _g	- prosečni vremenski gubici pešaka na čekanje adekvatnog intervala (s)
d _{gd}	- prosečni vremenski gubici pešaka na čekanje da pređe kolovoz (s)
d _p	- prosečni vremenski gubici (s)
i	- slučaj prelaska kolovoza

h	- rastojanje sleđenja vozila za svaku saobraćajnu traku
$P(Y_i)$	- verovatnoća da će motorna vozila propustiti pešaka za događaj i
n	- prosečan broj potencijalnih prilika za prelazak kolovoza pre pojavljivanja adekvatnog intervala
My	- stepen propuštanja pešaka
t_1	- vreme dolaska pešaka na pešački prelaz
t_2	- vreme kada je pešak započeo prelazak preko kolovoza
t_3	- vreme kada je pešak završio prelazak preko kolovoza
t_4	- vreme nailaska vozila čeonim delom na pešački prelaz
r	- koeficijent korelacije
p	- p vrednost
R^2	- koeficijent determinacije
R^2_{adj}	- prilagođeni koeficijent determinacije
S	- standardna greška
t	- t vrednost
N	- veličina uzorka
My_{izm}	- izmerene vrednosti stepena propuštanja pešaka
My_{mod}	- vrednosti stepena propuštanja pešaka dobijene modelom
My_{HCM}	- preporučene vrednosti stepena propuštanja pešaka po HCM-u
dp_{izm}	- vremenski gubici sa My_{izm}
dp_{mod}	- vremenski gubici sa My_{mod}
dp_{HCM}	- vremenski gubici sa My_{HCM}

Rezime

Jedna od najrizičnijih radnji sa kojom se susreću pešaci u saobraćaju je prelazak preko kolovoza. Iz tog razloga se na raskrsnicama ili drugim delovima ulične mreže definišu pešački prelazi kao posebne površine koje su namenjene za prelazak pešaka. Nivo usluge (NU), odnosno kvalitet uslova odvijanja pešačkih tokova na pešačkim prelazima, određuje se na osnovu vremenskih gubitaka koji predstavljaju srednje vreme čekanja pešaka na prelazak kolovoza. Metod za proračun NU za pešake prema HCM-u 2010 obuhvata seriju koraka koji zahtevaju ulazne podatke koji se odnose na intenzitet saobraćajnih i pešačkih tokova, geometrijske uslove i stepen propuštanja pešaka (SPP) od strane vozila.

SPP, koji se u formulama prema HCM-u 2010 obeležava sa M_v , računa se kao odnos broja vozila koja su se zaustavila, ili su usporila ispred pešačkog prelaza, sa ukupnim brojem vozila koja su mogla da se zaustave ili da uspore kako bi pešaci prešli kolovoz. HCM 2010 je na osnovu inženjerskih istraživanja dao preporuke za vrednosti SPP-a, da za neobeležene pešačke prelaze treba usvojiti vrednost 0, a za jasno obeležene pešačke prelaze 0,5. Rezultati istraživanja, i preporuke proistekle iz njih, ne mogu se bez rezerve primeniti na proračune koji se rade u različitim uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja. Merenjem parametara saobraćajnog toka dobijeni su podaci o SPP-u za 38 lokacija u dve zemlje regiona jugoistočne Evrope. Utvrđeno je da se na većini lokacija vrednosti izmerenih i preporučenih vrednosti bitno razlikuju, što je za posledicu imalo različite vremenske gubitke pešaka i različitu klasu NU. Odstupanje u klasama NU za različite vrednosti parametra SPP-a je karakteristično za lokacije na kojima se javlja veći protok vozila (veći od 1000 vozila/h). Istraživanje koje je sprovedeno u okviru disertacije poslužilo je za definisanje matematičkog modela koji se može primeniti u postupku određivanja NU za pešačke prelaze. Model za određivanje SPP-a formiran je na osnovu rezultata lokalnih merenja na 32 lokacije i uzorku od 12 786 pešaka i 29 253 vozila. Model za proračun SPP-a u uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja zavisi od protoka pešaka i vozila, strukture saobraćajnog toka (učestće autobusa i teretnih vozila) i smera kretanja vozila na lokaciji pešačkog prelaza. Formiranjem modela i njegovim testiranjem potvrđena je prva hipoteza rada po kojoj je moguće definisati model za proračun SPP na osnovu strukture saobraćajnog toka vozila i pešaka, kao i načina regulisanja saobraćaja na nesignalisanim pešačkim prelazima.

U okviru disertacije izvršena je analiza pešačkih intervala prilikom prelaska pešaka na nesignalisanim prelazima na četiri karakteristične lokacije pešačkih prelaza. Kriterijum za izbor pešačkih prelaza bio je broj saobraćajnih traka koje pešak treba da pređe, kao i smer kretanja vozila. Za potrebe analize formirana je baza od oko 450 intervala (prihvaćenih i odbijenih). Statistička analiza pokazala je da se prihvaćeni intervali od strane pešaka ponašaju po normalnoj raspodeli, a odbijeni intervali po lognormalnoj raspodeli. Rezultati analiza pokazali su da se prihvaćeni intervali razlikuju u odnosu na karakteristike lokacije (broj traka koje pešak treba preći i smer nailaska vozila na pešački prelaz). Poređenje vrednosti prihvaćenog i kritičnog intervala može se smatrati jednim od kriterijuma bezbednog prelaska pešaka preko kolovoza. Najkraći prihvaćeni intervali zabeleženi su na pešačkom prelazu na kome pešaci prelaze dve saobraćajne trake kojima nailaze vozila iz jednog smera kretanja. Na ovoj lokaciji procenat prihvaćenih intervala koji su kraći od kritičnog intervala bio je najveći, što upućuje na to da pešaci na ovakvom tipu pešačkog prelaza stvaraju rizične situacije prilikom prelaska kolovoza. Na taj način je formiran model ponašanja pešaka u zavisnosti od karakteristika lokacije nesignalisanog pešačkog prelaza. Analiza prihvatljivih intervala na svim lokacijama je pokazala da žene u odnosu na muškarce biraju kraće intervale, ali nisu nađene značajnije razlike u prosečnim vrednostima brzina prelaska i vremena čekanja na pešačkom prelazu. Posmatrajući broj pešaka u grupi koji prelaze kolovoz, uočeno je da pešaci koji sami prelaze kolovoz biraju kraće intervale za prelazak, brže se kreću prilikom prelaska kolovoza i manje čekaju na odgovarajući interval za prelazak. Navedeni rezultati su potvrdili drugu hipotezu rada u kojoj je navedeno da je moguće utvrditi zavisnost između dužine prihvaćenih intervala pešaka prilikom prelaska kolovoza i uslova odvijanja saobraćaja, polnih karakteristika pešaka i broja pešaka koji prelaze kolovoz na nesignalisanom pešačkom prelazu.

Ključne reči: Nivo usluge, nesignalisani pešački prelazi, nesignalisane raskrsnice, pešaci, intervali prelaska pešaka, vremenski gubici

Abstract

One of the biggest risks pedestrians meet in traffic is going across the road. For that reason, at intersections and other parts of street networks, pedestrians' crossings are defined as special areas designated for pedestrians' crossing. Level of service (LOS), that is, the quality of pedestrian flows at pedestrian crossings, is determined on the basis of time losses which represent the mean waiting time of pedestrians to go across the road. The method for the calculation of LOS for pedestrians according to HCM 2010 comprises a series of steps which demand input data related to the intensity of traffic and pedestrian flows, geometric conditions and the motorist yield rate (MYR).

MYR, which are in the formula marked as My , according to HCM 2010, is calculated as the ratio of vehicles number which have stopped or slowed down before the pedestrian crossing, with the total number of vehicles which could have stopped or slowed down to enable pedestrians' crossing. HCM 2010 has given the recommendation for the values of MYR on the basis of engineers' research, that for unmarked pedestrian crossings the recommended value is 0, and for clearly marked pedestrian crossings it is 0.5. The research results and their recommendations cannot be applied without reserves to the calculations done in different conditions of local traffic. Having measured traffic flow parameters, MYR data for 38 locations in two countries of the southeastern region of Europe have been obtained. It has been determined that at most of the locations the measured and recommended values differ, which resulted in different time losses for pedestrians and different classes of LOS. Deviations in classes of LOS for different values of MYR parameter is characteristic for the locations with a higher vehicles flow (more than 1,000 vehicles/h). The research carried out within the doctoral thesis served for defining the mathematical model which can be applied in the procedure of LOS determining for pedestrian crossings. The model for determining LOS was formed on the basis of results of local measurements at 32 locations and on the sample of 12,786 pedestrians and 29,253 vehicles. The model for the calculation of MYR in the conditions of local traffic depends on the pedestrians and the vehicles flow, the structure of the traffic flow (participation of buses and freight vehicles) and the direction of vehicles movement at the location of a pedestrian crossing. By forming the model and its testing, the first hypothesis has been confirmed, by which it is possible to define the model for the calculation of MYR on the basis of the traffic flow structure for pedestrians and vehicles, as well as the way of traffic regulation at unsignalized pedestrian crossings.

Within the doctoral thesis, the analysis of pedestrian intervals has been made for the period when pedestrians go across the road at unsignalized crossings at four characteristic locations of pedestrian crossings. The criteria for the choice of pedestrian crossings were the number of traffic lanes that a pedestrian had to go across and the direction of vehicles moving. For the needs of the analysis, a base of about 450 intervals was made (accepted and rejected). The statistical analysis has shown that the accepted intervals by the pedestrians have the normal behaviour distribution, and the rejected intervals by the lognormal distribution. The analysis results have shown that the accepted intervals differ in relation to the location characteristics (number of lanes that a pedestrian has to go across and the direction of the approaching vehicles to the pedestrian crossing). Comparison of the values of the accepted and the critical interval can be considered as one of the criteria of safe pedestrian going across a road. The shortest accepted intervals were recorded at the pedestrian crossing where pedestrians go across two traffic lanes with approaching vehicles from one direction of movement. At this location the percentage of the accepted intervals which are shorter than the critical interval was the highest, which implies that pedestrians at this type of a pedestrian crossing create different risky situations while they go across a road. In this way, a model of pedestrian behaviour was formed, depending on the characteristics of the location of the unsignalized pedestrian crossing. The analysis of the accepted intervals at all locations has shown that women in relation to men choose shorter intervals, but there have been no significant differences in mean values of the speed of crossing the road and the waiting time at the pedestrian crossing. Observing the number of pedestrians in a group going across a road, it has been noticed that those pedestrians who go across the road alone choose shorter intervals for their crossings, they move faster while crossing and their waiting time for the appropriate crossing is shorter. The stated results have confirmed the second hypothesis where it was stated that it is possible to determine the dependence between the length of the accepted pedestrian intervals while going across the road and traffic conditions, gender characteristics of pedestrians and the number of pedestrians who go across the road at the unsignalized pedestrian crossing.

Key words: Level of service, unsignalized pedestrian crossings, unsignalized intersections, pedestrians, pedestrian crossing intervals, time losses

Primetio sam da čak i ljudi koji u potpunosti veruju da je sve predodređeno i da ništa ne možemo da učinimo da to promenimo, pogledaju levo i desno pre nego što pređu ulicu.

Stephen Hawking

1. UVOD

Pešačke saobraćajnice su zbog prirode pešačenja najstariji tip saobraćajnica i neizostavni su deo svih urbanih sredina. Kvalitet i nivo usluge pešačkog saobraćaja u gradovima je u direktnoj zavisnosti od kvaliteta saobraćajnog sistema. Najkritičnija mesta na pešačkim saobraćajnicama su pešački prelazi, jer se na njima pešački tokovi direktno presecaju sa tokovima vozila. Iz tog razloga se na raskrscima, ili drugim delovima ulične mreže, definišu pešački prelazi kao posebne površine koje su namenjene za prelazak kolovoza od strane pešaka. Pešački prelazi na kojima je saobraćaj regulisan svetlosnom signalizacijom su bezbedniji u odnosu na nesignalisane pešačke prelaze, jer se signalnim planom definišu periodi kada je pešacima dozvoljen prelazak preko kolovoza. Za razliku od signalisanih, na nesignalisanim pešačkim prelazima, prelazak pešaka preko kolovoza nije tako strogo definisan.

Nivo usluge (NU), odnosno kvalitet uslova odvijanja pešačkih tokova na pešačkim prelazima, određuje se na osnovu vremenskih gubitaka koji predstavljaju srednje vreme čekanja pešaka na prelazak kolovoza. Dodatni parametri na osnovu kojih se definiše NU su: komfor, pogodnost, sigurnost, bezbednost i ekonomičnost. S obzirom na to da nesignalisane, odnosno prioritetne raskrsnice, predstavljaju daleko najrasprostranjeniji vid ukrštanja saobraćajnica, veoma važno je definisati parametre i modele za definisanje NU pešačkih prelaza na ovim raskrscima. Na osnovu rezultata ranijih istraživanja može se pretpostaviti da će na vrednosti ulaznih parametara uticati i ponašanje vozača i pešaka u različitim uslovima odvijanja saobraćaja.

Transportation Research Board (TRB) je u HCM-u (eng. **Highway Capacity Manual**) koje je izdato 1985. godine objavio posebno poglavlje koje se bavilo isključivo pešacima. Tada je po prvi put predstavljen koncept NU za pešake (eng. **LOS - Level of Service**) koji se odnosio na površine namenjene za kretanje pešaka (šetališta, trotoari itd.) (HCM, 1985). Naredno izdanje iz 2000. godine, donelo je veliki

broj promena, novina, dopuna i unapređenih procedura vezanih za pešačke tokove, jer je po prvi put predstavljen postupak proračuna NU pešaka na signalisanim i nesignalisanim raskrsnicima (HCM, 2000). Izdanje iz 2010. godine donelo je dopunjeni postupak proračuna vremenskih gubitaka pešaka, parametra na osnovu koga se definiše NU. Naime, na osnovu dobijenih rezultata istraživanja koja su vršena u međuvremenu, utvrđeno je da veliki uticaj na NU pešačkih tokova ima broj vozila koja se zaustavljaju i usporavaju kako bi propustila pešake da izvrše prelazak preko kolovoza. U skladu sa tim, uveden je novi parametar, stepen propuštanja pešaka (SPP), a postojeći metod je proširen za jedan korak. Izlazni rezultat su prosečni vremenski gubici dobijeni na osnovu procene smanjenja dužine čekanja zbog propuštanja pešaka od strane motornih vozila na osnovu kojih se pomoću graničnih vrednosti određuje klasa NU (HCM, 2010).

1.1. Definisane probleme i cilja istraživanja

Potreba za istraživanjem koje je sprovedeno u ovom radu nastala je iz razloga što u regionu jugoistočne Evrope nisu vršena istraživanja parametara tokova vozila i pešaka koji su neophodni za sprovođenje postupka analize NU pešačkih tokova na nesignalisanim prelazima. Generalno, istraživanja iz ove oblasti su i u Evropi i svetu malobrojna, u odnosu na neke druge parametre saobraćajnih tokova koji su mnogo više analizirani (protok, brzina i gustina saobraćajnog toka, intervali i rastojanja sleđenja vozila, vreme putovanja itd.).

U svim zemljama saobraćajni propisi obavezuju vozače na propuštanje pešaka na obeleženim pešačkim prelazima. Međutim, i pored ove obaveze, ponašanje vozača i pešaka zavisi od velikog broja različitih faktora, kao što je geometrija puta, brzina kretanja vozila, načina regulisanja saobraćaja na pešačkim prelazima, lokalna saobraćajna kultura, sprovođenje zakonskih propisa itd. Kao jedan od parametara u proračunu vremenskih gubitaka pešaka i određivanja NU pešačkih prelaza po metodi HCM-a 2010 figuriše i SPP, koji se u formulama obeležava sa M_y . Ovaj parametar računa se kao odnos broja vozila koja su se zaustavila, ili su usporila ispred pešačkog prelaza, sa ukupnim brojem vozila koja su mogla da se zaustave ili da uspore kako bi pešaci prešli kolovoz. HCM 2010 je na osnovu inženjerskih istraživanja dao preporuke za vrednosti SPP-a, u smislu da za neobeležene pešačke prelaze treba usvojiti vrednost 0, a za jasno obeležene pešačke prelaze 0,5. Iskustva sa preporučenim vrednostima drugih parametara saobraćajnog toka u postupcima određivanja NU pokazala su da lokalni uslovi mogu imati značajan uticaj na njihove vrednosti. Pozicija pešačkih prelaza u uličnoj mreži, karakteristike i struktura saobraćajnog toka vozila i pešaka, geometrija pešačkog prelaza, ograničenje brzine itd., utiču na ponašanje vozača, pa samim tim i na vrednost SPP-a.

SPP se u praksi određuje na osnovu grubih preporuka dobijenih iz istraživanja, koja su uglavnom vršena na području Sjedinjenih Američkih Država (SAD) (Fitzpatrick i dr., 2006; Schroeder i Roupail, 2011; Turner i dr., 2006; Shurbutt i dr., 2008) gde su uslovi odvijanja saobraćaja bitno drugačiji u odnosu na region jugoistočne Evrope. Rezultati istraživanja, i preporuke proistekle iz njih, ne mogu se bez rezerve primeniti na proračune koji se rade u različitim uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja. Prethodna istraživanja su pokazala da je vrednost SPP-a u regionu jugoistočne Evrope značajno drugačija od vrednosti ovog parametra koja se preporučuje prema metodu HCM 2010 (Mitrović i Srdić, 2013; Mitrović Simić i dr., 2014; Mitrović Simić i Bogdanović, 2015). U slučaju kada se u proračunu koriste vrednosti parametra SPP-a iz HCM 2010, dobiju se nerealne vrednosti vremenskih gubitaka pešaka, odnosno različite klase NU, naročito na saobraćajnicama sa protokom vozila većim od 1 000 vozila/h.

Dosadašnja istraživanja SPP-a bila su usmerena na izradu probabilističkih modela određivanjem verovatnoće zaustavljanja vozila na pešačkom prelazu u zavisnosti od promenljivih koje su vezane za karakteristike vozila, pešaka i uslova odvijanja saobraćaja (Mutabazi, 2008; Salamati i dr., 2013; Schroeder i Roupail, 2011; Sun i dr., 2003). U dostupnoj literaturi ne postoje istraživanja koja su se bavila problemom izrade modela za SPP i izbora uticajnih promenljivih. Čak i u slučaju postojanja takvih modela morala bi se izvršiti njihova kalibracija kako bi se oni prilagodili lokalnim uslovima odvijanja saobraćaja jugoistočne Evrope.

Jedan od ciljeva istraživanja koja su sprovedena u okviru ovog rada je da se merenjem parametara saobraćajnog toka u lokalnim realnim uslovima odvijanja saobraćaja utvrdi da li postoje odstupanja vrednosti SPP-a u odnosu na vrednosti koje su preporučene u postupku HCM 2010. Prikupljeni podaci o karakteristikama lokacija pešačkih prelaza i karakteristikama saobraćajnog toka vozila i pešaka služili bi za formiranje jedinstvenog matematičkog modela za izračunavanje SPP-a koji bi u obzir uzimao rezultate lokalnih merenja. Na taj način bi se vrednovao uticaj specifičnosti lokalne sredine i karakteristika saobraćajnog toka.

U okviru disertacije izvršena je analiza pešačkih intervala prilikom prelaska pešaka na nesignalisanim prelazima. Ponašanje pešaka na pešačkom prelazu direktno utiče na NU pešačkih tokova, jer čekanje pešaka na odgovarajući interval uzrokuje vremenske gubitke koji su osnovni parametar za određivanje NU pešačkih tokova.

Prelazak pešaka preko kolovoza zavisi od velikog broja faktora koji utiču na njihovu odluku i način prelaska (starost i pol pešaka, ponašanje vozača, karakteristike vozila, geometrija puta, izgrađeno ulično okruženje itd.). Za svaki pešački prelaz se može utvrditi vrednost kritičnog intervala, odnosno minimalno potrebnog vremena da pešak bezbedno pređe kolovoz određenom brzinom kretanja.

Kada se nađe ispred pešačkog prelaza, pešak praćenjem saobraćajne situacije procenjuje da li je raspoloživo vreme - interval do pristizanja nailazećeg vozila do pešačkog prelaza dovoljan da on u postojećim uslovima bezbedno pređe preko kolovoza i donosi odluku „da“ ili „ne“, odnosno odlučuje da li da ponuđeni interval prihvati ili odbije. Prema tome, pešak za konkretnu saobraćajnu situaciju procenjuje svaki interval i prihvata one koje proceni da su duži od kritičnog, odnosno koji su dovoljni da bezbedno pređe kolovoz. Prema tome, prihvatljivi interval nije po vrednosti identičan kritičnom intervalu, odnosno minimalnom vremenu koje je pešacima potrebno da pređu kolovoz. Prelazak pešaka podrazumeva i kretanje pešaka određenom brzinom, kao i vreme čekanja na prelazu. Osim vremena potrebnog da se pređe kolovoz, ukupno vreme prelaska pešaka preko kolovoza obuhvata i dilemu vezanu za donošenje odluke. Poređenje vrednosti prihvaćenog i kritičnog intervala može se smatrati jednim od kriterijuma bezbednog prelaska pešaka preko kolovoza. Prihvaćeni i odbačeni intervali od strane pešaka formiraju jedinstven skup uslova koji se mogu koristiti u statističkoj analizi.

U regionu jugoistočne Evrope nisu vršena značajnija istraživanja ponašanja pešaka prilikom prelaska kolovoza, pa samim tim ni analiza prihvatljivih intervala. Cilj istraživanja sprovedenog u disertaciji je bio da se odredi vrednost prihvatljivih intervala na nekoliko lokacija nesignalisanih pešačkih prelaza, različitih po geometrijskim karakteristikama i uslovima odvijanja saobraćaja. U poređnom analizom prihvatljivih i kritičnih intervala može se dobiti model ponašanja pešaka u zavisnosti od karakteristika lokacije nesignalisanog pešačkog prelaza ili nekih drugih promenljivih. Veliki broj istraživanja u svetu koji se bavio ponašanjem pešaka prilikom prelaska kolovoza dokazao je da faktori kao što su pol pešaka i broj pešaka u grupi prilikom prelaska utiču na vrednost prihvatljivih intervala (Yannis i dr., 2010; Pawar i Patil, 2015; Wang i dr., 2010; Lobjois i dr., 2013; Hamed, 2001). Cilj istraživanja vršenog za potrebe izrade disertacije je bio da se utvrdi uticaj različitih faktora na ponašanje prilikom prelaska pešaka u uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja, kao i da se izvrši komparativna analiza dobijenih rezultata sa istraživanjima koja su vršena u svetu na nesignalisanim pešačim prelazima.

1.2. Postavljanje polazne hipoteze

Na osnovu prethodno definisane problematike i ciljeva istraživanja, definisane su polazne pretpostavke iz kojih su izvedene polazne hipoteze:

- Vrednosti ulaznih parametara potrebnih za određivanje NU na nesignalisanim pešačkim prelazima zavise od karakteristika i strukture saobraćajnog toka vozila i pešaka, položaja pešačkih prelaza na uličnoj mreži, geometrije puta,

načina regulisanja saobraćaja, lokalnih uslova i ponašanja učesnika u saobraćaju.

- Preporučene vrednosti SPP u postupku određivanja NU se razlikuju u odnosu na vrednosti koje su izmerene u uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja.
- Upotreba preporučenih i izmerenih vrednosti u postupku proračuna prosečnih vremenskih gubitaka pešaka daje različite izlazne rezultate, što za posledicu ima određivanje različitih klasa NU na nesignalisanim pešačkim prelazima.
- Upotrebom izmerenih vrednosti SPP ili približnih vrednosti dobijenih matematičkim modelom vrednovao bi se uticaj specifičnosti lokalne sredine i karakteristika saobraćajnog toka.
- Značaj upotrebe vrednosti SPP koje odgovaraju realnim uslovima odvijanja saobraćaja izraženiji je kod pešačkih prelaza sa protokom vozila većim od 1 100 vozila/h.
- Ponašanje pešaka prilikom procesa prelaska kolovoza zavisi od karakteristika lokacije, karakteristika pešačkih tokova i uslova odvijanja saobraćaja na pešačkom prelazu.
- Odnos prihvatljivih i kritičnih intervala zavisi od karakteristika lokacije i uslova odvijanja saobraćaja na pešačkom prelazu.
- Broj pešaka koji prelaze kolovoz i polne karakteristike pešaka imaju uticaj na dužinu prihvatljivih intervala.

Prema prethodno iznetim polaznim pretpostavkama, izvedene su polazne hipoteze H1 i H2, koje za istraživanje sprovedeno u ovom radu glase:

H1: Utvrđivanjem karakteristika lokacije i karakteristika saobraćajnog toka vozila i pešaka moguće je definisati model za proračun stepena propuštanja pešaka (SPP) od strane vozila na nesignalisanim pešačkim prelazima.

H2: Moguće je utvrditi zavisnost između dužine prihvaćenih intervala pešaka prilikom prelaska kolovoza i uslova odvijanja saobraćaja, polnih karakteristika pešaka i broja pešaka koji prelaze kolovoz na nesignalisanom pešačkom prelazu.

1.3. Metode istraživanja

Za potrebe izrade disertacije definisan je metod istraživanja koji je zasnovan na svim poznatim pravilima i metodama naučnog saznanja:

- metode prikupljanja podataka i formiranja baze podataka;

- metode analize (postupak istraživanja zasnovan na objašnjenju problema putem raščlanjivanja složenih celina na jednostavnije sastavne delove) i sinteze (postupak istraživanja zasnovan na spajanju prostih celina u složenije forme);
- metode indukcije (na osnovu pojedinačnih činjenica i saznanja se dolazi do uopštavanja i formiranja zakonitosti) i dedukcije (na osnovu opštih obeležja izvode se pojedinačni sudovi, zaključci i tvrdnje);
- metod generalizacije (od pojedinačnih opažanja izvode se uopšteni zaključci)
- metod kompilacije (postupak preuzimanja tuđih opažanja, stavova, zaključaka i saznanja);
- metode klasifikacije (uočavanje skupova sa sličnim svojstvima);
- metoda deskripcije (postupak jednostavnog opisivanja činjenica, procesa i predmeta u prirodi i društvu)
- komparativna metoda (postupak poređenja istih ili srodnih činjenica, pojava, procesa i odnosa, odnosno utvrđivanje njihove sličnosti i razlika u njihovom ponašanju i intenzitetu);
- statističke i matematičke metode;
- metoda dokazivanja polaznih hipoteza.

Metoda komparativne analize je primenjena u analizama karakteristika pešačkog saobraćaja i saobraćaja vozila. Za karakteristike kretanja pešaka i parametara pešačkih tokova korišćene su metode deskripcije, indukcije, dedukcije i generalizacije. Uz pomoć matematičke metode prikazan je postupak određivanja NU pešačkih tokova na nesignalisanim prelazima. Metodama kompilacije i analize prikazan je pregled postojećih istraživanja iz oblasti parametara značajnih za određivanje NU pešačkih tokova. Definisano je područje istraživanja na kome je metodom brojanja formirana baza podataka koja je poslužila za izradu modela SPP-a i analizu prihvatljivih intervala pešaka prilikom prelaska kolovoza. Za određivanje NU na nesignalisanim pešačkim prelazima iz područja istraživanja korišćene su matematičke metode, a primenjene su i metode komparacije i klasifikacije. Dokazivanje polaznih pretpostavki vršeno je primenom statističkih i matematičkih metoda, kao i metodama analize i sinteze rezultata. Deskriptivna statistika i višestruka regresiona analiza poslužili su za formiranje opšteg matematičkog modela SPP-a. Primenom analize, sinteze i indukcije izvedeni su zaključci na osnovu svih prethodnih istraživanja.

1.4. Prikaz strukture doktorske disertacije po poglavljima

U Poglavlju 2 prikazane su opšte karakteristike pešačkog saobraćaja. Kroz rezultate istraživanja sprovedenih u svetu, Evropi i Republici Srbiji data su osnovna

obeležja pešačkih putovanja, kao i osnovna obeležja stradanja pešaka u saobraćaju. Opisani su faktori koji utiču na odvijanje pešačkog saobraćaja, kao i uticaj drugih vidova saobraćaja na kretanje pešaka. Na kraju Poglavlja 2 prikazane su osnovne prednosti i nedostaci pešačkog saobraćaja.

Pregled osnovnih elemenata pešačke infrastrukture za koje se prema metodu HCM-a utvrđuje NU dat je u Poglavlju 3. Opisane su karakteristike kretanja pešaka, koje se ogledaju kroz prostorne zahteve, brzinu kretanja, početno vreme i plotunsko kretanje pešaka, odnosno kretanje u grupi. Definisani su proces prelaska pešaka preko kolovoza i opisani su osnovni parametri pešačkih tokova (brzina, gustina, protok, prostor), kao i njihovi međusobni odnosi. Na kraju Poglavlja 3 dat pregled normativne regulative u oblasti regulisanja pešačkog saobraćaja u Republici Srbiji.

U Poglavlju 4 opisani su kriterijumi NU pešačkih tokova za različite elemente pešačke infrastrukture navedene u Poglavlju 3. Opisan je postupak proračuna NU pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima po HCM-u 2010, a na kraju Poglavlja 4 je analiziran uticaj parametra SPP-a na izračunavanje prosečnih vremenskih gubitaka pešaka, na osnovu koga se uz pomoć kriterijuma određuje klasa NU pešačkih tokova na nesignalisanim prelazima.

Pregled postojećih istraživanja koja su se bavila analizom SPP-a i određivanjem uticajnih faktora na osnovu kojih su formirani različiti matematički modeli prikazan je u Poglavlju 5. Pored SPP-a, u Poglavlju 5 prikazani su najvažniji rezultati istraživanja ponašanja pešaka prilikom prelaska kolovoza, sa naglaskom na prihvatljive intervale i utvrđivanje uticajnih faktora na prelazak pešaka i dužinu prihvatljivih intervala.

U Poglavlju 6 je definisano područje istraživanja i objašnjene su primenjene metode prikupljanja podataka i statističke analize rezultata istraživanja.

Postupak formiranja matematičkog modela za SPP je predstavljen u Poglavlju 7. Objasnjeno je na koji način je izvršeno izdvajanje polaznih nezavisno promenljivih koje su uključene u formiranje modela, a potom je opisan postupak regresione analize koja je primenjena na podatke. Na kraju Poglavlja 7 je dato obrazloženje za izbor modela, kao i rezultati testiranja izabranog modela.

Poglavlje 8 sadrži rezultate proračuna vremenskih gubitaka na pešačkim prelazima iz područja istraživanja koji su izračunati za različite vrednosti parametra SPP: izmerene, modelovane i preporučene vrednosti. Značaj izmerenih, odnosno modelovanih vrednosti SPP-a u odnosu na preporučene, pokazan je i u analizi vremenskih gubitaka u zavisnosti od veličine protoka vozila na pešačkom prelazu.

U Poglavlju 9 prikazani su rezultati istraživanja pešačkih intervala na karakterističnim pešačkim prelazima, koji su analizirani u odnosu na karakteristike lokacije, pol pešaka i broj pešaka u grupi prilikom prelaska kolovoza.

Osnovni rezultati analize istraživanja koja su sprovedena za potrebu izrade disertacije istaknuti su u Poglavlju 10, kao i pravci daljih istraživanja koja bi se bavila NU pešačkih tokova i uticajnim faktorima prilikom prelaska pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima.

2. OPŠTE KARAKTERISTIKE PEŠAČKOG SAOBRAĆAJA

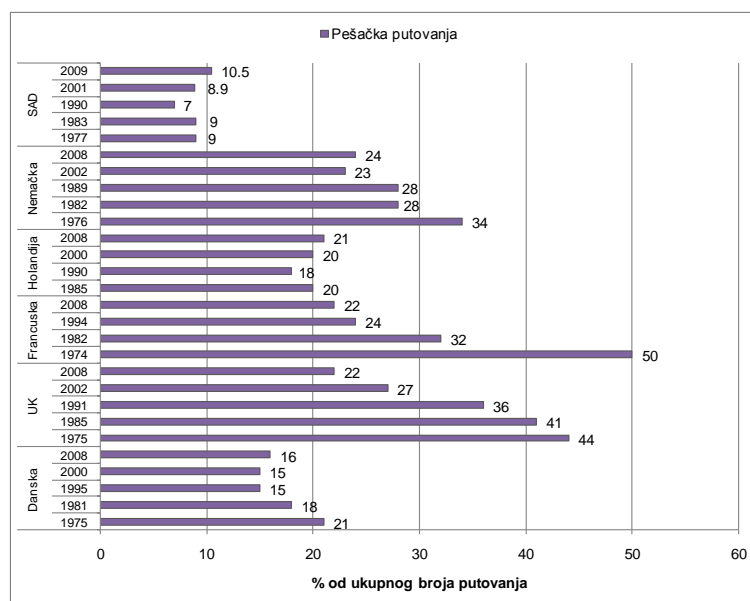
Nemotorizovani prevoz (pešačenje, vožnja bicikla i njihove varijante) imaju veoma važnu i jedinstvenu ulogu u savremenom saobraćajnom sistemu. Od ukupnog broja putovanja u evropskim gradovima prosečno se oko 30% putovanja u potpunosti obavi pešice ili biciklom (EPOMM, 2015), dok u Novom Sadu učešće nemotorizovanih putovanja iznosi 48% (JP Ubranizam, 2009). Takođe, većina motorizovanih putovanja podrazumeva korišćenje bicikla ili pešačenje u jednom delu putovanja (npr. pristup javnom prevozu ili kretanje između parkiranog automobila i izvora/cilja putovanja). Značaj se može pronaći i u činjenici da je unapređenje nemotorizovanog prevoza često najefikasniji način da se poboljša motorizovani prevoz. Primenjene mere mogu se odraziti na smanjenje: emisije štetnih gasova, potrošnje energije, saobraćajnih gužvi i zagušenja (Mitrović, 2011). Fizički, ekonomsko i socijalno ugrožena lica često se oslanjaju na pešačenje i vožnju bicikla, tako da se unapređenjem nemotorizovanog saobraćaja može postići određeni nivo socijalne i ekonomske jednakosti. Aktivni transport, kako se često u literaturi nazivaju pešačenje i vožnja bicikla, najčešći je oblik fizičke vežbe. Povećanje učešća aktivnog transporta u ukupnoj raspodeli putovanja je istovremeno i najpraktičniji način da se poboljša javno zdravlje stanovništva.

Pošto su pešaci samo jedan deo dosta širokog i kompleksnog saobraćajnog sistema, odvijanje pešačkog saobraćaja je u jakoj interakciji sa drugim vidovima prevoza. Proces kretanja pešaka i obavljanja osnovnih radnji u saobraćaju, kao što je prelazak preko kolovoza, pod uticajem je velikog broja objektivnih i subjektivnih faktora koji deluju u saobraćajnom sistemu. Jedan od najvećih problema sa kojim se susreću pešaci kao učesnici u saobraćaju je njihova bezbednost, jer pešaci su pored biciklista najranjivija kategorija učesnika u saobraćaju. Upravo u saobraćajnim nezgodama sa ranjivim učesnicima, pogotovo pešacima, dolazi do najtežih i najizraženijih posledica. Postoji veliki broj metoda i strategija koje se koriste za unapređenje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju, a naročito pešaka, kako bi se broj nastradalih i broj nezgoda sveo na minimum.

Pored faktora koji utiču na odvijanje pešačkog saobraćaja, u ovom poglavlju biće opisane opšte karakteristike pešačkih putovanja kroz analizu učešća pešačenja u ukupnom broju dnevnih putovanja, kako u svetu i Evropi, tako i u Republici Srbiji. Kao i kod ostalih vidova prevoza i pešačka putovanja imaju svoje karakteristike koje se ogledaju kroz polnu i starosnu strukturu stanovništva, svrhu putovanja, kao i vremensku raspodelu putovanja. Poseban osvrt biće dat i na obeležja stradanja pešaka u saobraćaju. Cilj analize koja će biti predstavljena u ovom poglavlju prvenstveno se odnosi na poređenje opštih karakteristika pešačkog saobraćaja u svetu, Evropi i Republici Srbiji, kako bi se uočile eventualne razlike ili sličnosti.

2.1. Karakteristike pešačkih putovanja

Istraživanja su pokazala da pešačka putovanja imaju mnogo veći udeo u raspodeli putovanja u zemljama Evrope, nego što je to slučaj u SAD-u i Australiji. Istovremeno, Evropljani više koriste i javni prevoz, što normalno zahteva pešačenje do i od stajališta javnog prevoza (Bassett i dr., 2011). Tokom poslednjih 40 godina Francuska i Ujedinjeno Kraljevstvo (UK) su pretrpele dramatičan pad učešća pešačkih putovanja, sa 50% na 22%, odnosno 44% na 22%, respektivno (Slika 2.1).



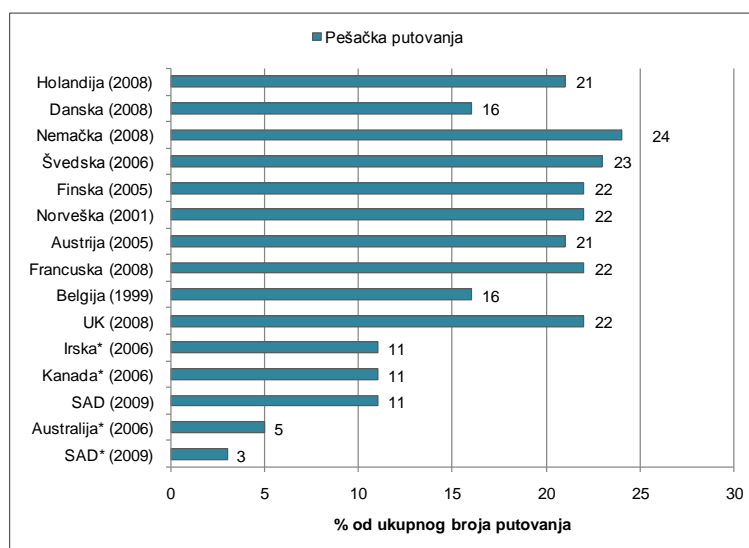
Slika 2.1: Procenat pešačkih putovanja u ukupnom dnevnom broju putovanja za period 1974-2009. godine (Pucher i Buehler, 2010)

Prilično stabilno stanje kroz posmatrani vremenski period je uočeno u Danskoj, Holandiji i Nemačkoj, ali smanjenje koje je zabeleženo tokom godina uglavnom se kompenzovalo sa povećanjem učešća biciklističkog saobraćaja. Pomenute zemlje imaju ujednačen procenat pešačkih putovanja pre svega zbog

dobrih mera saobraćajne politike koje su počele da se sprovode još 70-tih godina prošlog veka, a koje su podsticale upotrebu nemotorizovanih vidova prevoza, što nije bio slučaj sa Francuskom i UK (Pucher i Buehler, 2010).

Prema podacima koji su prezentovani u studiji “Benchmarking Report 2010” (Swanson, 2012), procenat radnih putovanja u SAD-u koja se obavljaju pešice je u periodu od 1990. godine do 2009. godine opao sa 3,9% na 2,9%, a u ukupnom broju putovanja, pešačka putovanja učestvuju sa 10,5%. U odnosu na 2001. godinu kada je udeo pešačkih putovanja iznosio 8,9%, to predstavlja povećanje od 18%. Raspodela pešačkih putovanja u SAD-u po polovima je prilično ujednačena, tako da u pešačkim putovanjima učestvuje 49% muškaraca, odnosno 51% žena.

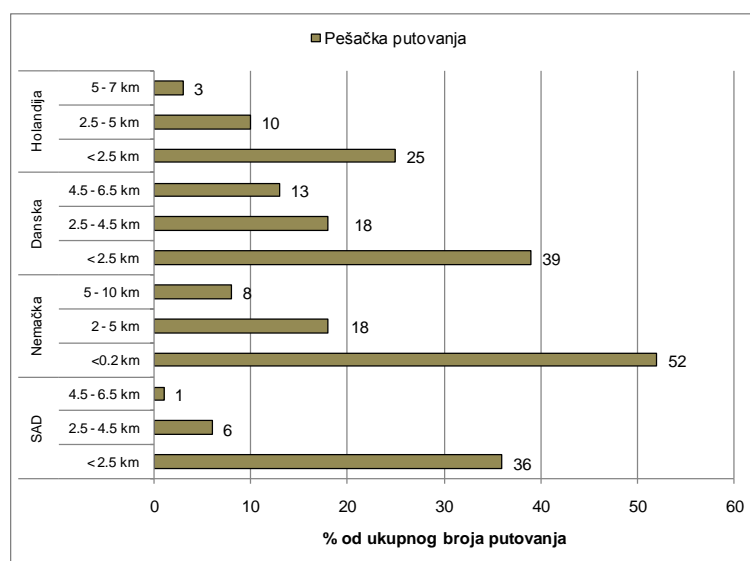
U cilju povećanja učešća pešačkog saobraćaja na području SAD-a i učenja iz primera dobre prakse, autori Pucher i Buehler (2010) su izvršili poređenje učešća pešačkih putovanja u SAD-u, Kanadi, Australiji i 11 evropskih zemalja. U odnosu na većinu evropskih zemalja, procenat pešačenja u SAD-u je bio dva puta manji (Slika 2.2). Najviše pešačkih putovanja ostvareno je u Holandiji (21%), Nemačkoj (24%) i Švedskoj (23%) u odnosu na ukupan broj putovanja u toku dana. Detaljnija analiza koja je obuhvatala 55 gradova pokazala je da se u svim gradovima SAD-a, Kanade i Australije procenat pešačkih putovanja kreće između 1% i 6%, dok u gradovima Nemačke, Danske i Holandije taj procenat ide od 3% pa do čak 38%.



Slika 2.2: Učešće pešačkih putovanja u SAD-u, Kanadi, Australiji i 11 evropskih zemalja (Pucher i Buehler, 2010)

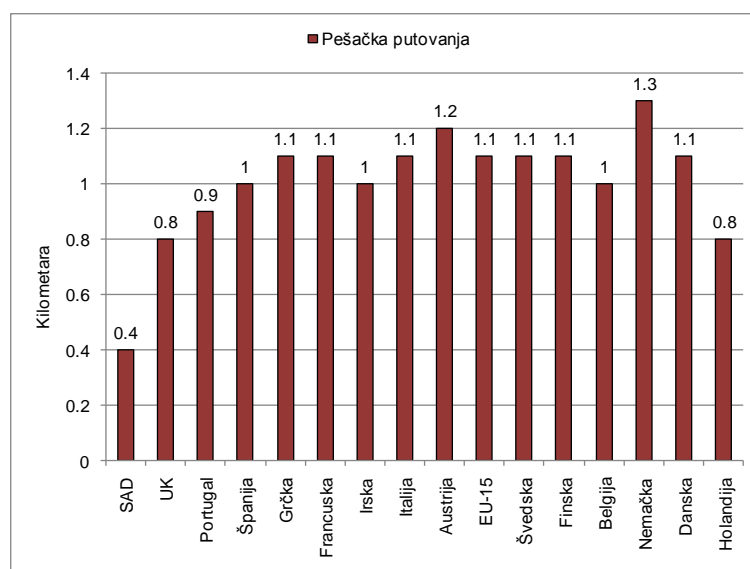
Ukoliko se posmatraju pešačka rastojanja, 36% putovanja u SAD-u koja su obavljena peške bila su kraća od 2,5 km, dok je za istu dužinu putovanja taj procenat u Nemačkoj iznosio 52%, u Danskoj 39%, a u Holandiji 25% (Slika 2.3).

2. Opšte karakteristike pešačkog saobraćaja



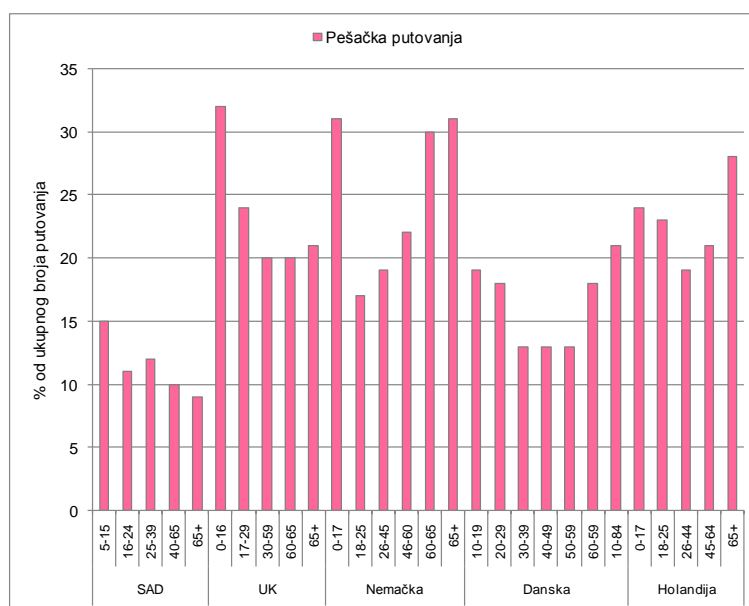
Slika 2.3 Procenat pešačkih putovanja u zavisnosti od rastojanja
(Pucher i Buehler, 2010)

Na Slici 2.4 su prikazane vrednosti prosečnih dnevnih rastojanja za pešačka putovanja, gde se vidi da u evropskim zemljama pešak prosečno u toku dana pređe od 0,8 km (UK i Holandija) do 1,3 km (Nemačka), dok u SAD pešaci prosečno dnevno pređu svega 0,4 km.



Slika 2.4: Prosečna dnevna rastojanja po osobi za pešačka putovanja
(Pucher i Buehler, 2010)

Ipak, najveće razlike koje su uočene između analiziranih zemalja su svakako u pogledu raspodele po starosnim grupama u okviru pešačkih putovanja (Slika 2.5).



Slika 2.5: Procenat pešačkih putovanja u zavisnosti od starosnih grupa
(Pucher i Buehler, 2010)

Iako su prilikom istraživanja postojale razlike među zemljama u određivanju granica starosnih grupa, ipak se može uočiti da deca u SAD-u čine najmanji procenat pešaka (15%) u odnosu na ostale zemlje, a naročito u odnosu na UK, gde taj procenat iznosi 32%. Slična situacija je i kod starijih osoba koje u SAD-u ostvare samo 9% pešačkih putovanja, u odnosu na Nemačku (31%) ili Holandiju (28%).

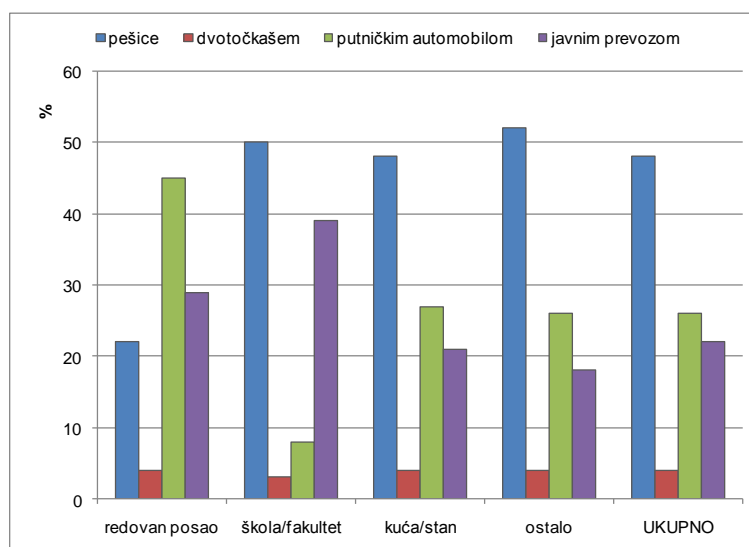
Na osnovu dostupnih istraživanja, vremenske raspodele pešačkih putovanja (po satima, danima i mesecima) prilično su ujednačene za gradove Evrope i Severne Amerike (NYCD of City Planning, 2006; Schneider i dr., 2005; Aultman-Hall i dr., 2009; TFL, 2011). Vrhunac potražnje pešačkog saobraćaja u toku dana javlja se najčešće tokom podneva ili u toku ranih prepodnevni sati. U zavisnosti od lokacije, sekundarna vršna opterećenja mogu se javiti tokom radnih dana u prepodnevni ili popodnevni časovima. Pored raspodele po časovima u toku dana, pešačka putovanja se mogu analizirati i na godišnjem nivou, kao i na nivou nedelje, gde se prilikom analize najčešće posebno posmatraju radni dani i vikend. U većini slučajeva, učešće pešačkih putovanja je veće u letnjim mesecima, nego zimskim, a broj pešačkih putovanja vikendom uglavnom opada u odnosu na broj putovanja radnim danima. Kod raspodele putovanja po svrhama, najčešće se pešačka putovanja koriste za obavljanje tzv. primarnih putovanja, koja imaju svakodnevni karakter. Ta vrsta putovanja je jednim krajem vezana za mesto stanovanja, a drugim krajem za radno mesto, odnosno školu.

Podaci o osnovnim karakteristikama putovanja na teritoriji grada Novog Sada i zahtevima korisnika dobijeni su 2009. godine zahvaljujući istraživanjima koja su sprovedena za potrebe izrade transportnog modela Novog Sada NOSTRAM. Tom

prilikom izvršena su brojanja saobraćaja na uličnoj mreži, kao i ankete na spoljnom kordonu, anketa spoljnih putnika i anketa u domaćinstvima, čime je dobijena kompletna slika o karakteristikama svih putovanja koja se pojavljuju na području grada, pa su tako utvrđene i osnovne karakteristike pešačkih putovanja.

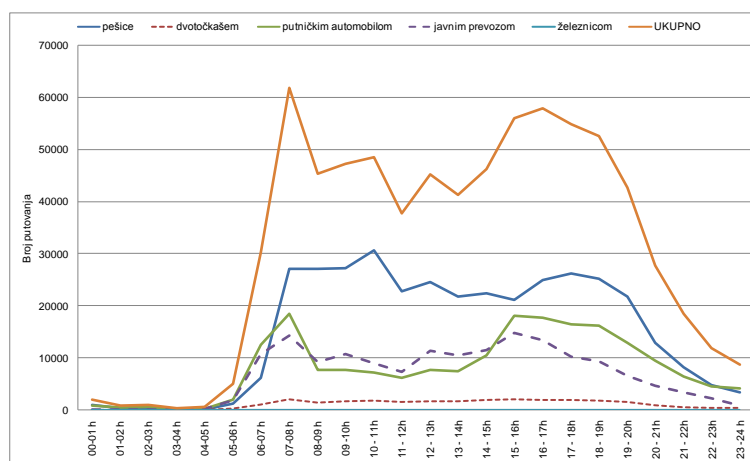
Prema podacima dobijenim za izradu NOSTRAM-a učešće nemotorizovanih vidova prevoza (pešačenje i bicikl) u Novom Sadu je oko 50% od ukupno 744 745 putovanja u toku dana. U poređenju sa evropskim gradovima slične veličine zaključuje se da Novi Sad ima visoko učešće pešačkih i biciklističkih putovanja, što se može objasniti pre svega umereno-kontinentalnom klimom i povoljnim topografskim uslovima terena.

Od ukupnog broja putovanja sa svrhom odlazak u školu/na fakultet oko 50% se obavi pešačenjem, što je takođe slučaj i sa putovanjima koja su vezana za povratak u kuću/stan, kao i sa putovanjima koja imaju ostale svrhe (izlazak, razonoda, privatna poseta). Iako se samo 20% radnih putovanja u Novom Sadu obavi pešice (Slika 2.6) to je i dalje višestruko više u poređenju sa gradovima u SAD-u gde je prosečno učešće pešačkih radnih putovanja 3%.



Slika 2.6: Učešće putovanja po svrhama i sredstvima (JP Urbanizam, 2009)

Na Slici 2.7 je prikazana vremenska raspodela putovanja po sredstvima, gde se uočava vremenska neravnomernost u toku dana za sve vidove prevoza. Vršni period za pešačka putovanja javlja se u prepodnevnom (10:00 - 11:00) i popodnevnom (17:00 - 18:00) časovima. Srednje vreme trajanja putovanja koja se obavljaju pešice za sve svrhe ukupno iznosi 16,8 min.



Slika 2.7: Vremenska raspodela putovanja po sredstvima i ukupno (JP Urbanizam, 2009)

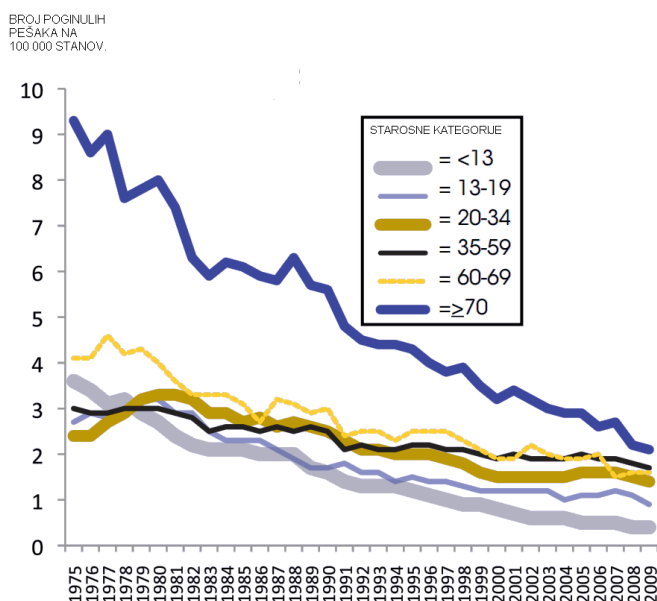
2.2. Obeležja stradanja pešaka u saobraćaju

Prema izveštajima Svetske zdravstvene organizacije procenjuje se da godišnje u saobraćaju pogine oko 1,24 miliona ljudi, dok povređenih bude oko 50 miliona, čime saobraćajne nezgode prete da postanu vodeći uzrok smrti u svetu (WHO, 2013a). Sa druge strane, saobraćaj je neminovna posledica razvoja i napretka svakog društva bez kog je nemoguće funkcionisati. U pravo zbog toga postoji opšteprihvaćen standard da povećanje stepena motorizacije ne sme da bude razlog povećanja broja poginulih lica u saobraćajnim nezgodama. Kako bi se na efikasan način došlo do rešavanja problema koje saobraćaj sa sobom nosi, potrebno je razviti mehanizme za prepoznavanje uzroka problema i pronalaženje najefikasnijih rešenja u oblasti bezbednosti saobraćaja.

Ranjivi korisnici puta, u koje spadaju pešaci, biciklisti i motociklisti, često stradaju zbog svoje uloge koju imaju u saobraćaju, a ne zbog svojih umanjenih psihofizičkih sposobnosti, kao što je to slučaj sa rizičnim grupama (deca, mladi, stari). I pored toga što saobraćaj postavlja najmanje zahteve pred one korisnike koji se u njemu nađu u ulozi pešaka, ova kategorija je izraženo ranjiva, jer postoji nesrazmera između unošenja rizika u saobraćaj i izloženosti tom riziku. To potvrđuju i istraživanja Univerziteta Bruks iz Oksforda, gde su istraživanjem obuhvaćeni rizici kojima je bilo izloženo 300 korisnika puta u toku jednonedeljnog perioda putovanja. Prema ovom istraživanju gradski biciklisti i pešaci prosečno na svakih 9 km imaju konflikt dok vozači motornih vozila imaju konflikt na svakih 70 km (Joshi i dr., 2001).

Prema podacima National Household Travel Survey (NHTS, 2015) u 2013. godini je na području SAD-a u saobraćajnim nezgodama poginulo ukupno 4 735

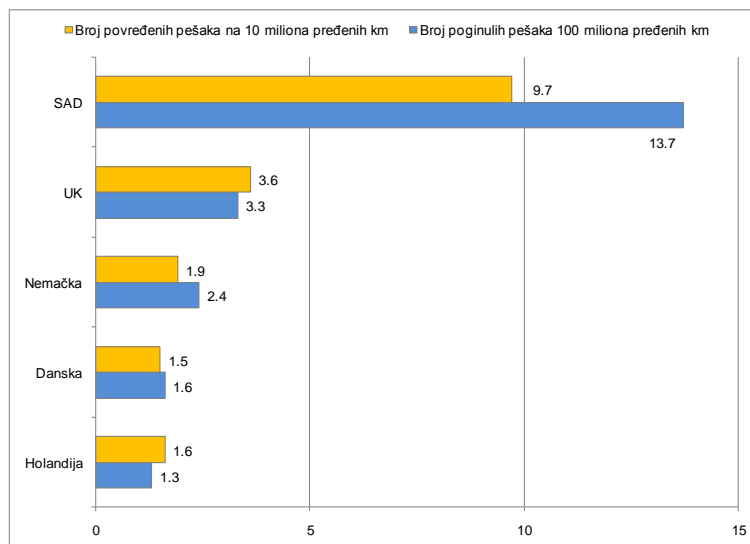
pešaka, što je predstavljalo oko 14% od ukupnog broja poginulih u saobraćajnim nezgodama. Pešaci najviše stradaju u urbanim sredinama (73%), noću (72%) i van raskrsnica (69%), dok procenat poginulih pešaka na raskrsnicama iznosi 20%. Najčeći uzrok nastanka nezgode je bilo neustupanje prava prvenstva prelaza pešacima (26,4%). Iako je broj poginulih pešaka imao trend opadanja u periodu od 2005. do 2009. godine, prema novijim podacima (FARS, 2014), broj poginulih pešaka je u SAD-u zabeležio blagi trend rasta u odnosu na 2009. godinu, tako da je prema zvaničnoj statistici u 2012. godini broj poginulih pešaka iznosio 4 743, što iznosi povećanje od 6% u odnosu na izveštaj iz 2011. godine. Prema podacima NHTS-a (2015) od ukupnog broja poginule dece do 14 godina jednu petinu predstavljali su pešaci (21%), odnosno deca su činila 5% od ukupnog broja poginulih pešaka. Posmatrajući starije osobe, kao jednu od najranjivijih starosnih grupa pored dece, učešće poginulih pešaka iz ove kategorije beleži značajniji trend smanjenja (Slika 2.8). Naime, prema podacima iz 2009. godine, osobe preko 65 godina ostvarivale su oko 10% od ukupnog broja pešačkih putovanja, a istovremeno su činile 19% smrtno nastradalih pešaka u saobraćajnim nezgodama (Swanson, 2012). Slični podaci su zabeleženi i u 2013. godini (NHTS, 2015). Prema istom izvoru, pešaci stariji od 65 godina učestvovali su u ukupnom broju poginulih u okviru posmatrane starosne kategorije sa 16%.



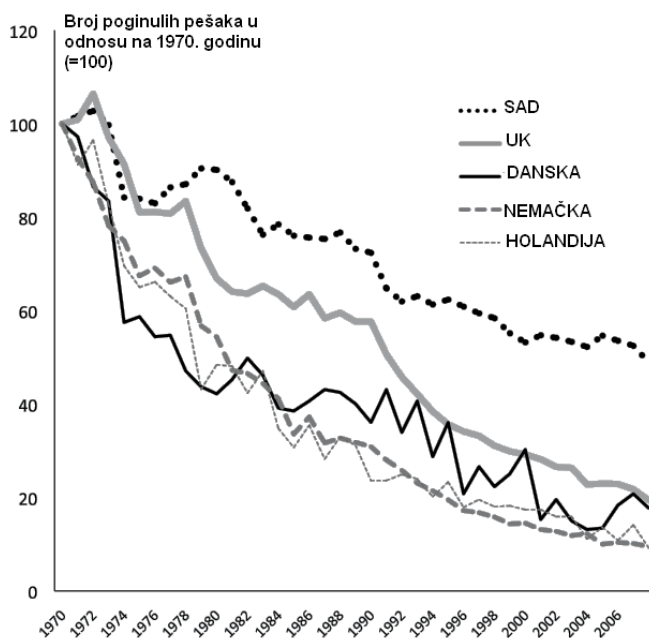
Slika 2.8: Trend broja poginulih pešaka na 100 000 stanovnika po starosnim kategorijama (FARS, 2009)

U poređenju koje su uradili Pucher i Buehler (2010) vidi se da SAD imaju mnogo veći stepen povređenih i poginulih pešaka u odnosu na zemlje Evrope (Slika 2.9). Stepenn stradanja je računat kao broj poginulih pešaka na 100 miliona km pređenih peške. U SAD-u on iznosi 9,7 što je za 2,7 puta više od svih drugih zemalja

sa kojima je vršeno poređenje. Takođe, u SAD-u je više od 13 pešaka povređeno na svakih 10 miliona km. U odnosu na sve ostale zemlje, Holandija prednjači u bezbednosti pešaka, jer ima najmanji stepen povređenih i poginulih u odnosu na pređene kilometre.



Slika 2.9: Stepen povređenih i poginulih pešaka u SAD-u i evropskim zemljama za 2009. godinu (Pucher i Buehler, 2010)



Slika 2.10: Trend broja poginulih pešaka u odnosu na 1970. godinu (Pucher i Buehler, 2010)

Na Slici 2.10 se vidi da trend broja poginulih pešaka mnogo brže opada u evropskim zemljama u odnosu na SAD. Pešačenje nije oduvek imalo visok nivo bezbednosti u evropskim zemljama, ali je primena širokog spektra mera za unapređenje uslova odvijanja pešačkog saobraćaja imala impresivne rezultate. Naime, u periodu od 1970. do 2008. procenat nezgoda sa smrtnim ishodom je opao za oko 80% u UK i Danskoj, a u Holandiji i Nemačkoj za neverovatnih 90%.

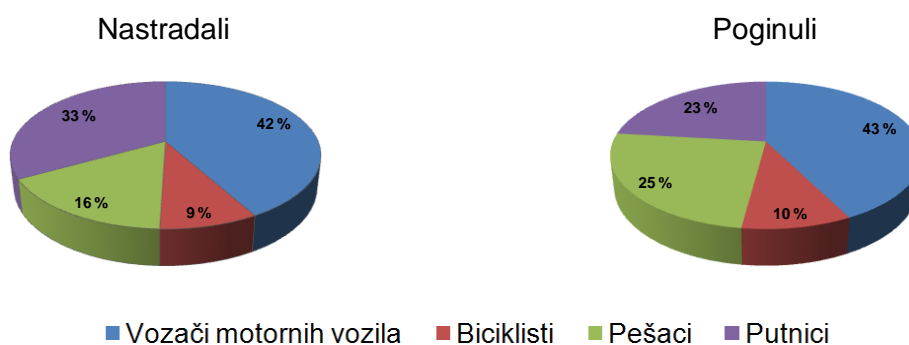
Sa aspekta bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji, poslednja decenija predstavlja prepoznatljiv period u kome je pokrenut veliki broj aktivnosti kojima bi se uspostavio efikasan sistem bezbednosti. Najznačajniji korak i promena koja se dogodila je usvajanje Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima 2009. godine. Usvojeni Zakon je usklađen sa izmenama Evropske konvencije o saobraćaju i pisan je u skladu sa većinom zahteva koji se primenjuju u zakonodavstvima zemalja Evropske Unije.

Podaci o nezgodama i nastradalim na području Republike Srbije koji su analizirani u okviru disertacije objavljeni su u zvaničnim Statističkim izveštajima Agencije za bezbednost saobraćaja Republike Srbije za 2012. i 2013. godinu ([ABS, 2013](#); [ABS, 2014](#)). Akcenat u analizi je stavljen na stradanje pešaka i nezgode na raskrsnicama u naselju.

Posmatrajući posledice nezgoda, zbog greške pešaka kao jednog od uticajnih faktora u procesu nastanka saobraćajnih nezgoda, nastradalo je oko 3% lica (poginuli i povređeni), dok je poginulo 4% lica u odnosu na ukupan broj poginulih. Oko 16% nastradalih lica je vezano za nezgode sa obaranjem ili gaženjem pešaka, a četvrtina od ukupnog broja poginulih u svim saobraćajnim nezgodama posledica je ove vrste nezgoda.

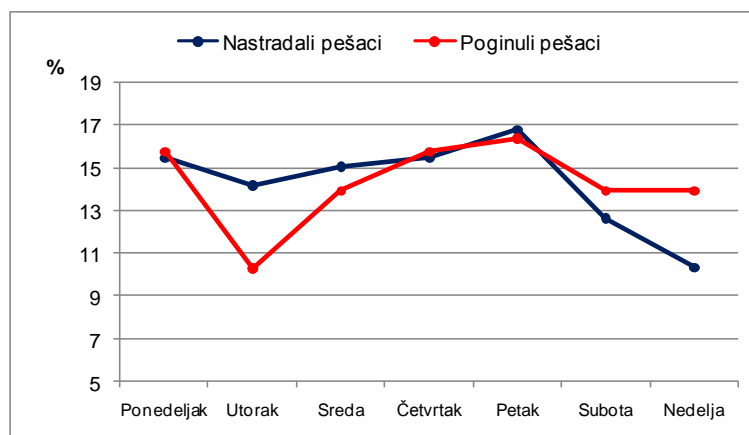
Preko 90% saobraćajnih nezgoda dogodi se u naseljima, a od tog broja 19% je na raskrsnicama. Od ukupnog broja nastradalih lica 21% je povrede zadobilo takođe na raskrsnicama u naselju. Međutim, u dostupnim bazama podataka nije naglašeno da li su u pitanju signalisane, odnosno semaforisane raskrsnice ili nesignalisane, odnosno nesemaforisane raskrsnice. U odnosu na ukupan broj poginulih, 7% lica smrtno strada na raskrsnicama u naselju.

Posmatrajući kategorije učesnika u saobraćaju, najčešće su stradali vozači motornih vozila (preko 42%), a učešće pešaka je 16%. Međutim, posmatrajući strukturu poginulih lica, uočava se da je od ukupnog broja poginulih četvrtina spadala u kategoriju pešaka (Slika 2.11).



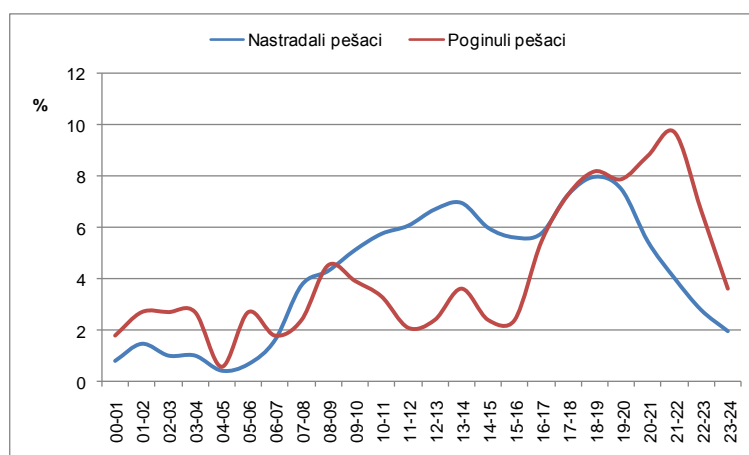
Slika 2.11: Procentualno učešće nastradalih i poginulih lica u zavisnosti od kategorije učesnika u saobraćaju u Republici Srbiji za period 2012.-2013. godine

Posmatrajući raspodelu posledica saobraćajnih nezgoda po danima u toku nedelje, najveći broj pešaka strada petkom, što se odnosi i na najteže, tj. smrtno posledice, dok najmanji broj pešaka pogine utorkom (oko 10%). Smanjenje učešća nastradalih, kao i poginulih pešaka, karakteristično je za dane vikenda (Slika 2.12).



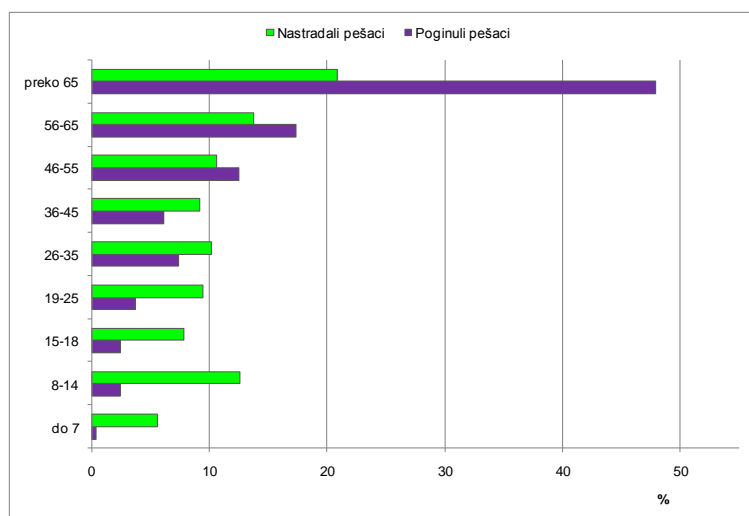
Slika 2.12: Učešće nastradalih i poginulih pešaka po danima u toku nedelje u Republici Srbiji za period 2012.-2013. godine

Analizom vremenske raspodele posledica nezgoda u kojima su učestvovali pešaci po časovima u toku dana, uočava se da najveći broj pešaka strada u toku podnevnih i ranih večernjih časova. Kada su u pitanju najteže posledice, odnosno poginula lica, najveći broj pešaka smrtno strada u večernjim časovima, tj. od 18:00 do 22:00 časa (Slika 2.13). U periodu od 20:00 do 21:00 časova preko 40% od svih poginulih lica bili su pešaci.



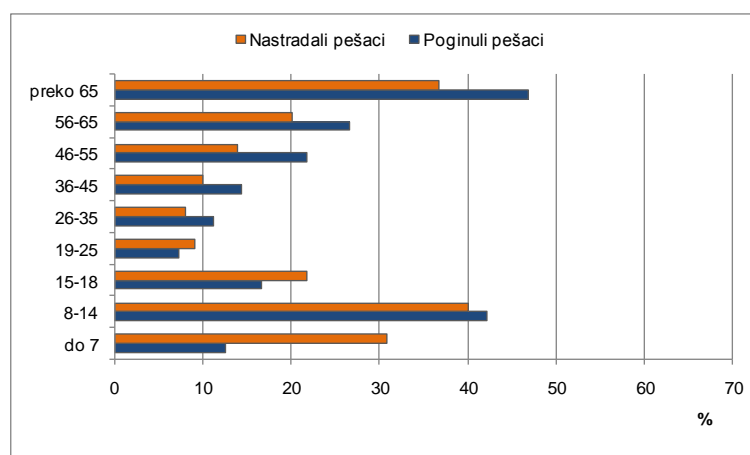
Slika 2.13: Časovna raspodela nastradalih i poginulih pešaka u Republici Srbiji za period 2012.-2013. godine

Najveći procenat nastradalih i poginulih pešaka je u kategoriji starih lica preko 65 godina. Naime, od ukupnog broja poginulih pešaka, polovina spada u ovu starosnu kategoriju (Slika 2.14), što je i dvostruko više u odnosu na podatke dobijene u SAD-u. Što se tiče poginule dece do 14 godina, taj procenat je u Republici Srbiji nešto manji u odnosu na SAD (5%) i iznosi oko 3%.



Slika 2.14: Procentualno učešće nastradalih i poginulih pešaka u zavisnosti od starosne kategorije u Republici Srbiji za period 2012.-2013. godine

U odnosu na ukupan broj povređenih u okviru starosne kategorije koju čine deca od 8 do 14 godina, oko 40% su bili pešaci, a kod starih lica taj procenat iznosi oko 35%. Slična situacija se uočava i kod poginulih pešaka, jer je od ukupnog broja poginulih preko 65 godina oko 50% lica poginulo u svojstvu pešaka (Slika 2.15). U poređenju sa statističkim podacima iz SAD-a gde deca pešaci do 14 godina čine petinu od ukupnog broja poginulih u okviru te starosne kategorije, u Republici Srbiji polovina dece koja je smrtno stradala bila je u svojstvu pešaka.



Slika 2.15: Procentualno učešće nastradalih i poginulih pešaka u odnosu na ukupan broj povređenih u okviru određene starosne kategorije u Republici Srbiji za period 2012.-2013. godine

Ipak, ukoliko se posmatra duži vremenski period, može se zaključiti da se stanje bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji značajno poboljšalo, jer je prema podacima Agencije za bezbednost saobraćaja u periodu od 2001. do 2010. godine broj poginulih lica u saobraćajnim nezgodama smanjen za 48,2%, dok je prema preporukama zemalja EU za isti vremenski period cilj bio smanjenje od 50%.

U istraživanju sprovedenom sa ciljem utvrđivanja osnovnih obeležja stradanja pešaka u Novom Sadu (Bulajić i dr., 2014) utvrđeno je da pešaci čine 24% od ukupnog broja poginulih u saobraćajnim nezgodama (skoro duplo više u odnosu na podatke iz istog vremenskog perioda za SAD). Analiza je obuhvatala vremenski period od 2008. do 2011. godine u kome je evidentirano 796 stradalih pešaka. Analizirajući karakteristike pešaka, 60% nastradalih su bile žene, a najugroženija starosna kategorija su bili mladi pešaci starosti, od 15 do 29 godina, koji su činili skoro trećinu nastradalih pešaka. U vremenskom periodu od 12:00 do 17:00 časova stradalo je preko 40% od ukupnog broja nastradalih pešaka, dok ih je najmanje stradalo u noćnim satima, tj. od 00:00 do 05:00 časova. Istraživanjem je utvrđeno da je preko 40% pešaka nastradalo na raskrsnicama. Od ukupnog broja nastradalih pešaka, 45% je nastradalo na pešačkim prelazima, odnosno 55% van pešačkog prelaza.

2.3. Faktori koji utiču na pešački saobraćaj

Po svojoj prirodi kretanja, pešaci su mnogo izloženiji nastanu rizika nego što su to vozači ili neki drugi učesnici u saobraćaju. Brzina kretanja pešaka je limitirana, a pešaci se kreću mnogo sporije od svih ostalih učesnika u saobraćajnom toku. Zbog ograničenja u brzini kretanja u odnosu na ostale kategorije učesnika, pešaci moraju

više pažnje posvetiti svom okruženju. Pešaci su gotovo uvek u bliskoj interakciji i sa drugim učesnicima u saobraćaju, uključujući i ostale pešake, što utiče na stepen bezbednost, komfora i prepreka u obavljanju putovanja. Pešak je, izložen brojnim faktorima iz njegovog okruženja, što ima velikog uticaja na kvalitet usluge. Neke karakteristike pešačkih tokova su slične karakteristikama tokova vozila, kao što su sloboda izbora brzine kretanja i zaobilaženja-preticanja drugog učesnika u saobraćaju. Međutim, mnoge karakteristike su specifične samo za pešačke tokove, kao što je, na primer, kretanje u suprotnom smeru u odnosu na glavni pešački tok, kretanje bez konflikata ili promena u brzini hodanja, kao i vremenski gubici pešaka na signalisanim i nesignalisanim raskrsnicama.

Na sam proces odvijanja pešačkog saobraćaja utiče veliki broj faktora, od kojih je veoma važan faktor okruženja, tj. izgrađenog urbanog područja. U faktore okruženja spadaju komfor, praktičnost, bezbednost, sigurnost i ekonomičnost sistema, koji u velikoj meri utiču na kvalitet usluge odvijanja pešačkog saobraćaja (HCM, 2010).

U faktore **komfora** spadaju zaštita od vremenskih uslova; udaljenost, obim i brzina motornog saobraćaja; kapacitet pešačkih staza, kao i postojanje posebnih pogodnosti za odvijanje pešačkog saobraćaja.

Praktičnost podrazumeva pešačka rastojanja, vremenske gubitke na raskrsnicama, direktnu povezanost pešačkih staza, nagib, postojanje rampi za pešake, oznake i mape, kao i ostale objekte koji će pešacima učiniti putovanje lakim i jednostavnim.

Bezbednost se osigurava odvajanjem pešačkog od motornog saobraćaja na dva načina: horizontalno, korišćenjem pešačkih i drugih zona bez motornog saobraćaja, i vertikalno, izgradnjom pasarela i pothodnika. Takođe, upotrebom svetlosnih signala može se obezbediti razdvajanje ova dva vida kretanja, čime se znatno utiče na povećanje bezbednosti pešaka u saobraćaju. **Opšta sigurnost** podrazumeva, pre svega, adekvatno osvetljene i pregledne površine namenjene za kretanje pešaka.

Ekonomičnost pešačkih objekata se odnosi na troškove korisnika koji su izazvani vremenskim gubicima i neugodnostima tokom putovanja, kao i na komercijalnu vrednost zemljišta i privredni razvoj na lokacijama koji je nastao pod uticajem pešačkog saobraćaja.

2.4. Interakcija sa drugim učesnicima u saobraćaju

Pešaci su u urbanim sredinama zbog svojih specifičnih karakteristika i uloge u saobraćajnom sistemu u stalnoj interakciji sa drugim učesnicima u saobraćaju, što u velikoj meri utiče na uslove odvijanja pešačkog saobraćaja i NU pešačkih tokova na svim saobraćajnim površinama. Na vremenske gubitke pešaka na signalisanim raskrsnicama najviše utiče dužina trajanja faza, odnosno “zelenog” vremena koje je namenjeno za prolazak vozila kroz raskrsnicu. Broj vozila koja izvode polukružno okretanje na raskrsnici takođe utiče na vremenske gubitke pešaka, kao i na celokupan NU posmatrane raskrsnice. Kod nesignalisanih raskrsnica povećan obim motornog saobraćaja utiče na vremenske gubitke pešaka tako što smanjuje broj mogućnosti za prelazak pešaka preko kolovoza. Uticaj motornih vozila na pešake na nesignalisanim raskrsnicama zavisi i od primene i poštovanja saobraćajnih propisa koji se odnose na zaustavljanje vozila u cilju propuštanja pešaka koji prelaze kolovoz.

Uticaj biciklističkog saobraćaja na pešake je mnogo izraženiji na površinama koje su namenjene za njihovo zajedničko korišćenje. Bicikli, pre svega zbog veće brzine kretanja, mogu negativno da utiču na kapacitet pešačko-biciklističkih saobraćajnica kao i na NU na takvim zajedničkim površinama.

Uticaj vozila javnog prevoza na odvijanje pešačkog saobraćaja je sličan kao i kod automobila. Međutim, pošto su vozila javnog prevoza po svojim gabaritima mnogo veća nego automobili, pojedinačni uticaj vozila javnog prevoza na pešake je proporcionalno veći od uticaja pojedinačnog automobila. Nedostatak pešačkih objekata u blizini stajališta javnog prevoza može predstavljati prepreku u pristupačnosti javnom prevozu, a kvalitet usluge javnog prevoza zavisi i od kvaliteta pešačkog okruženja duž ulica na kojima se obavlja usluga javnog prevoza. Naime, putnici koji čekaju autobus na autobuskom stajalištu mogu da smanje efektivnu širinu trotoara, dok putnici koji izlaze iz autobusa mogu da svoje tokove kretanja ukrste sa tokovima pešaka koji se kreću duž trotoara (HCM, 2010).

2.5. Prednosti i nedostaci pešačkog saobraćaja

Pešački saobraćaj ima niz komparativnih prednosti u odnosu na druge vrste saobraćaja. Pored već pomenute prednosti pešačkog saobraćaja u odnosu na druge vidove prevoza koje se odnose na javno zdravlje, neke od prednosti pešačkog saobraćaja su:

- **Zauzimanje malog prostora i mogućnost velike gustine:** protoci pešaka se kreću i po 1 000 pešaka/h po metru širine na otvorenim prostorima, a u hodnicima i prolazima protok može ići i do 5 000 pešaka/h po metru širine;
- **Velike manevarske sposobnosti:** zbog male brzine kretanja tako i prilagođenosti ljudskog tela, pešaci mogu da izvrše kretanje u bilo kom pravcu u veoma malom prostoru;
- **Skromni zahtevi za infrastrukturu:** infrastruktura za kretanje pešaka je jeftina u poređenju sa infrastrukturom svih ostalih vidova saobraćaja, a težina je ravnomerno raspoređena i daleko manja u odnosu na sve ostale vidove prevoza;
- **Kompaktnost celine:** objekat transporta i sredstvo transporta su kompaktna celina, pa je izbačena potreba za parkiranjem (smeštanjem transportnog sredstva dok se ne koristi);
- **Ekološka prihvatljivost:** sa ekološkog stanovišta pešačenje spada u izuzetno prihvatljivo rešenje, po potrošnji kiseonika pešački saobraćaj je nekoliko hiljada puta manje zahtevan (prosečno je čoveku potrebno oko 0,8 kg kiseonika dnevno, dok litar benzina prilikom sagorevanja potroši oko 10,5 kg kiseonika), nivo buke koju stvara pešak je nizak, potrošnja dodatnih sredstava koji su potrebni za kretanje (ne postoje, kao što je to slučaj za ostala prevozna sredstva, gume, mazivo, potrošni materijal kao što su sijalice, akumulatori i dr.);
- **Dostupnost:** pešačiti može svako zdravo ljudsko biće, nije potrebno nikakvo znanje, niti je potrebno neko tehničko sredstvo niti znanje oko upravljanja tim tehničkim sredstvom;
- **Najjednostavniji način regulisanja:** regulisanje pešačkih tokova zahteva najmanje angažovanje, kako tehničkih sredstava tako i signala, a do izražaja dolazi sistem samoregulacije i samoorganizovanja.

Što se tiče negativnih aspekata pešačkog saobraćaja, više bi se moglo govoriti o karakteristikama koje na neki način ograničavaju odvijanje pešačkog saobraćaja, a to su:

- **Relativno male brzine kretanja:** brzina kretanja pešaka u poređenju sa ostalim vidovima saobraćaja je najmanja;
- **Bezbednost:** bezbednost pešaka je znatno ugrožena, pogotovo na mestima gde se pešački tokovi ukrštaju sa drugim vidovima saobraćaja, a veliki problem predstavlja ranjivost iz razloga što pešaci ne poseduju nikakve elemente bezbednosti, kako pasivne tako ni aktivne. Posebnu pažnju u analizi pešačkih tokova zaslužuje analiza bezbednosti pešaka kao učesnika u saobraćajnim nezgodama, što je već opisano u posebnom delu ovog poglavlja.

3. KARAKTERISTIKE KRETANJA PEŠAKA I PARAMETRI PEŠAČKIH TOKOVA

U ovom poglavlju biće opisani osnovni elementi pešačke infrastrukture koji su namenjeni za kretanje pešaka, kao i osnovne karakteristike kretanja pešaka i veze između osnovnih parametara pešačkih tokova. Pre svega navedenog, potrebno je definisati sledeće termine, koji su značajni za određivanje kapaciteta i NU pešačkih tokova:

- Brzina pešaka (eng. ***Pedestrian speed***) je prosečna brzina kretanja pešaka i najčešće se izražava u metrima u sekundi (m/s) ili u metrima u minuti (m/min) i kilometrima na sat (km/h).
- Protok pešaka (eng. ***Pedestrian flow rate***) je broj pešaka koji prođe kroz neki poprečni presek u jedinici vremena, izražen kao broj pešaka u toku 15 minuta ili jednog sata (pešaka/15min ili pešaka/h).
- Protok pešaka po jedinici širine prolaza (eng. ***Pedestrian flow per unit of width***) predstavlja prosečan protok pešaka po jedinici efektivne širine prolaza, a izražava se u broju pešaka u minuti po metru širine (pešak/min/m).
- Gustina (eng. ***Pedestrian density***) je prosečan broj pešaka po jedinici površine koja je namenjena za kretanje pešaka, izražen kao broj pešaka po kvadratnom metru (pešaka/m²).
- Pešački prostor (eng. ***Pedestrian space***) je prosečna površina koja je obezbeđena za svakog pešaka na pešačkoj površini, izražena u broju kvadratnih metara po pešaku (m²/pešaku). To je, u stvari, recipročna vrednost gustine i često je mnogo praktičnija jedinica prilikom analiziranja pešačkih objekata.
- Plotun (eng. ***Platoon***) predstavlja određeni broj pešaka koji se kreće u grupi, najčešće nedobrovoljno, što je uglavnom posledica regulisanja saobraćaja svetlosnim signalima.

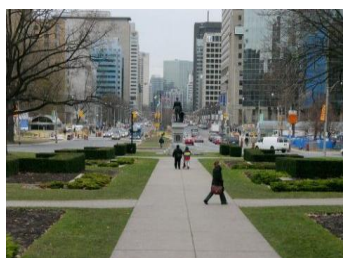
3.1. Elementi pešačke infrastrukture

Po svojoj prirodi, pešačenje je osnovni vid transporta koji je velikoj većini korisnika pristupačan. Pešačko okruženje i objekti koji su namenjeni pešacima čine najveći deo javnih površina u urbanim sredinama. Mnoge korisne aktivnosti koje ljudi svakodnevno obavljaju (druženje, kupovina, ishrana, čekanje) obavljaju se pešačenjem, pa zbog toga direktno zavisne od kvaliteta pešačkog okruženja. Kao primer ovakvom zaključku mogu se navesti tržni centri ili turistička odmarališta, gde mogućnost privlačenja korisnika zavisi od kvalitetno izgrađenog pešačkog okruženja.

HCM 2010 je izvršio sledeću klasifikaciju pešačkih objekata u otvorenim prostorima (Slika 3.1):



Trotoar



Pešačka staza



Pešačka zona



Akumulaciona zona



Pešački prelaz



Podvožnjak



Nadvožnjak



Stepenice



Biciklističko-pešačka staza

Slika 3.1: Klasifikacija pešačkih objekata (HCM, 2010)

Trotoari, pešačke staze i pešačke zone su površine koje su odvojene od motornog saobraćaja i najčešće nisu namenjene za kretanje biciklista ili drugih nemotorizovanih vidova prevoza, osim za kretanje osoba sa invalidskim kolicima.

Ove površine mogu da obezbede najbolji NU, zato što pešaci ne dele objekte sa drugim vidovima prevoza koji ostvaruju veće brzine kretanja. Trotoari se postavljaju paralelno i u neposrednoj blizini kolovoza. Po svojoj konstrukciji, pešačke staze su slične trotoarima i mogu se koristiti za njihovo povezivanje, ali one su udaljene od uticaja motornog saobraćaja, pa se po pravilu između pešačkih staza i drugih saobraćajnica nalaze uređene površine. Pešačke zone su ulice namenjenije isključivo za kretanje pešaka tokom celog dana ili u određenim vremenskim intervalima.

Akumulacione zone su mesta gde pešaci privremeno stoje dok čekaju da budu usluženi, kao što je na primer ugao jedne signalisane raskrsnice. U uslovima u kojima veliki broj ljudi čeka na jednom mestu, po pravilu ima jako malo prostora za individualno kretanje.

Pešački prelaz obezbeđuje vezu između pešačkih objekata koji se nalaze sa obe strane kolovoza, kojim se kreću različite kategorije vozila. U zavisnosti od vrste regulisanja saobraćaja na pešačkom prelazu, primene lokalnih zakona i propisa i njihovog poštovanja od strane vozača, pešaci će imati veće ili manje zadržavanje ispred pešačkih prelaza.

Stepenice se uglavnom koriste da pešacima omoguće vertikalno povezivanje pešačkih saobraćajnica. Danas se najčešće koriste zajedno sa rampama ili liftovima kako bi obezbedile najkraći pristup nadvožnjacima, podvožnjacima ili pešačkim stazama koje se nalaze na različitim visinama. Kod stepenica je karakteristično da se mali broj pešaka kreće u smeru suprotnom od smera primarnog pešačkog toka, ali ukoliko se to desi onda će se kapacitet značajno smanjiti.

Podvožnjaci i **nadvožnjaci** omogućavaju visinski razdvojene putanje za pešake kako bi oni zaobišli široke puteve, puteve na kojima se razvijaju velike brzine, železničke pruge, saobraćajne trake za autobuse, kao i prirodne prepreke. Pristup podvožnjacima i nadvožnjacima se najčešće obezbeđuje stepenicama, rampom ili liftom.

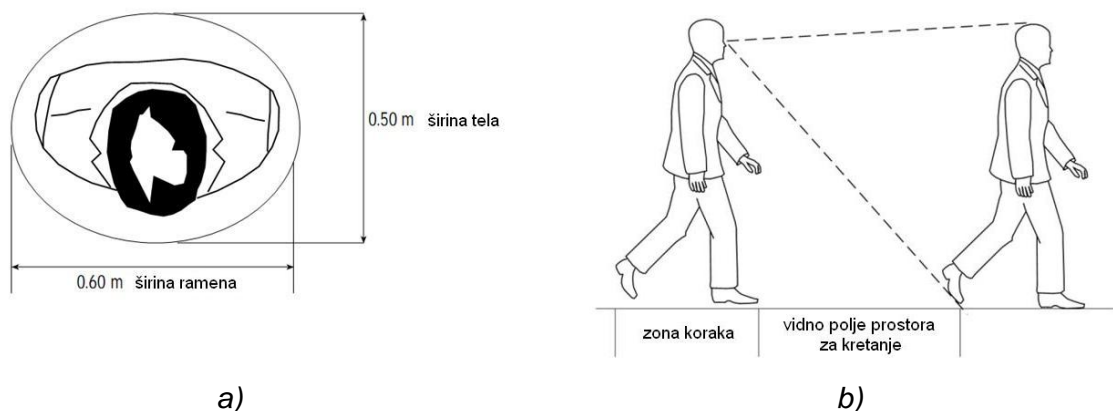
Biciklističko-pešačke staze su namenjene za korišćenje nemotorizovanih vidova prevoza kao što su bicikli, trotineti, skejtbordovi, roleri itd. Ove staze se najčešće koriste u gradskim područjima gde ne postoji mogućnost odvajanja pešačkog od ostalih vidova prevoza ili u sredinama gde je zabranjen saobraćaj motornih vozila. Često se nalaze u okviru univezitetskih kampusa, u žim gradskim jezgrima i svim ostalim prostorima gde je zabranjen pristup motornim vozilima, kao i parkiranje. Prisustvo biciklista i ostalih vidova nemotorizovanog prevoza, zbog njihove veće brzine kretanja može imati negativan uticaj na kapacitet pešaka i njihov kvalitet usluge.

3.2. Karakteristike kretanja pešaka

Kretanje pešaka određeno je sa nekoliko karakterističnih parametara, od kojih su najznačajniji prostorni zahtevi, tj. potreban prostor za stajanje i kretanje pešaka, brzina kretanja, kao i početno (startno) vreme.

3.2.1. Prostorni zahtevi

Prilikom projektovanja elemenata pešačke infrastrukture koriste se određene dimenzije ljudskog tela kako bi se definisali minimalni standardni za prostor neophodan za kretanje pešaka. Iz tog razloga usvaja se minimalni prostor koji odgovara površini koju zauzima telo pešaka, gledano iz ptičije perspektive. Prema HCM-u (2010), minimalna površina koju zauzima pešak je oko $0,3 \text{ m}^2$ što odgovara dimenzijama tela pešaka od $0,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ (Slika 3.2a). Međutim, prilikom evaluacije pešačkih objekata uzima se vrednost od oko $0,75 \text{ m}^2$ kao zaštitna zona za svakog pešaka. Pored pomenute minimalne površine u prostoru, pešak prilikom hodanja zahteva i dodatni prostor koji se pruža u pravcu kretanja. Ovaj prostor je izuzetno značajna dimenzija, jer direktno utiče na brzinu kretanja pešaka, a sastoji se od zone koraka i vidnog polja prostora za kretanje (Slika 3.2b).

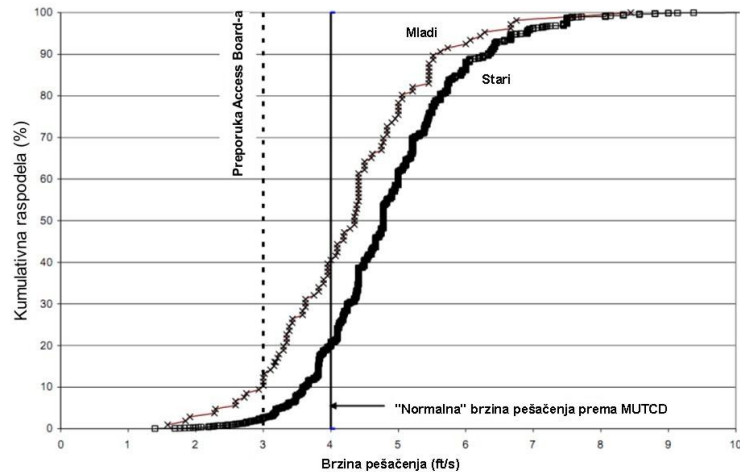


Slika 3.2: Potrebni prostor za a) stajanje i b) kretanje pešaka (Fruin, 1987)

3.2.2. Brzina kretanja

Brzina kretanja u velikoj meri zavisi od karakteristika pešačke populacije. Naime, procenat starijih pešaka (65 godina i više) i dece, kao i svrha putovanja, samo su neka od obeležja koja utiču na brzinu kretanja. Fitzpatrick i dr. (2006) su pokazali da je prilikom prelaska ulice prosečna brzina mlađih pešaka i pešaka srednjeg doba (starosti od 13 do 60 godina) značajno različita nego što je kod starijih pešaka, $1,44 \text{ m/s}$ u odnosu na $1,29 \text{ m/s}$, respektivno. Na osnovu pomenutog istraživanja određene su preporuke za priručnik *The Manual on Uniform Traffic*

Control Devices (MUTCD, 2012) u kojem se kod rada svetlosnih signala za određivanje intervala čišćenja pešaka (eng. **pedestrian clearance interval**) koristi 15-ti percentil brzine: za starije pešake usvojena brzina je 0,92 m/s (3,03 ft/s), a za mlađe je 1,15 m/s (3,77 ft/s) (Slika 3.3).



Slika 3.3: Raspodela posmatranih brzina starijih i mlađih pešaka na nesignalisanim raskrsnicama (Fitzpatrick i dr., 2006)

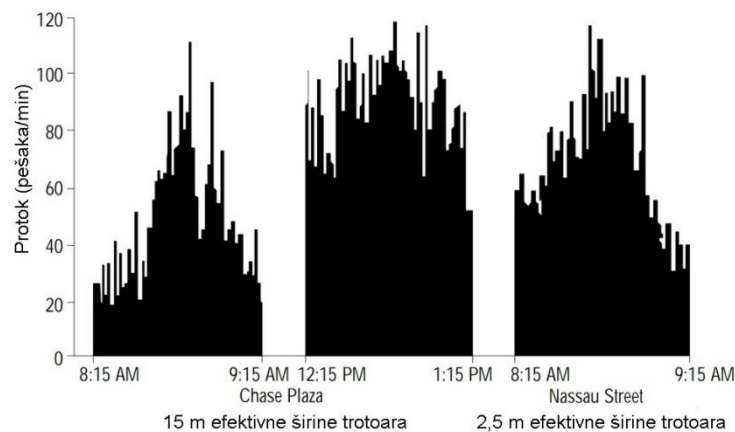
Prilikom proračuna vremena prelaska pešaka preko kolovoza u obzir se takođe uzima starosna struktura. Ukoliko je procenat starijih manji od 20%, brzina prelaska koju bi trebalo uzeti u proračunu je 1 m/s, a ukoliko procenat starijih pešaka prelazi 20% od ukupnog broja pešaka, onda se koristi brzina od 0,9 m/s. Prosečna brzina pešaka na trotoarima i šetalištima je 1,5 m/s (Rouphail i dr., 1998). Postoji još nekoliko faktora koji mogu da utiču na smanjenje prosečne brzine kretanja, kao što su nagibi preko 5% ili veliki procenat dece, što svakako treba uzeti u obzir prilikom proračuna. Takođe, u istraživanjima je utvrđeno da je brzina pešaka prilikom prelaska veća za pešake koji individualno prelaze kolovoz, nego u slučaju da pešaci prelaze kolovoz u grupi (Lobjois i dr., 2013; DiPietro i King, 1970; Gates i dr., 2006).

3.2.3. Početno vreme

Ukoliko se posmatra prelazak pešaka na pešačkom prelazu koji se nalazi na signalisanoj raskrsnici, može se uočiti da pešak neće zakoračiti preko ivice kolovoza u istom trenutku kada mu se pojavi signal za slobodan prelazak. Ta pojava ima veze sa vremenom percepcije i reakcije pešaka, kao i sa vremenom koje je potrebno pešaku da se uveri da nema vozila koja ulaze u zonu namenjenu prelasku pešaka preko kolovoza. Početno vreme za pešake u trajanju od 3 s je najčešća preporučena vrednost koja se koristi za evaluaciju pešačkih prelaza u slučaju raskrsnica.

3.2.4. Plotunsko kretanje pešaka

Prosečna vrednost protoka pešaka pri različitim NU ponekad može da ima ograničen značaj za analizu, osim ako vremenski intervali u kojima se meri protok nisu posebno definisani. Slika 3.4 pokazuje da prosečna vrednost protoka može da dovede u zabludu prilikom tumačenja rezultata istraživanja. Podaci koji su prikazani prikupljeni su na lokacijama u Njujorku (SAD), ali se ovaj slučaj može generalno odnositi na bilo koju lokaciju koja pripada centralnom gradskom distriktu. Sa Slike 3.4 se vidi da protok tokom intervala u trajanju od 1 minuta može da bude duplo veći nego neki drugi protok u nekom sledećem ili prethodnom minutnom intervalu. Čak i tokom 15-minutnog intervala, vršno opterećenje u toku 1 min prelazi prosečnu vrednost protoka za najmanje 20%, a ponekad i za 75% (Pushkarev i Zupan, 1975).



Slika 3.4: Vremenska raspodela protoka pešaka po minutama (Pushkarev i Zupan, 1975)

U zavisnosti od uslova odvijanja saobraćaja, pešački objekti koji su projektovani za vrednosti prosečnog protoka, mogu da dovedu do manjeg kvaliteta usluge za određeni deo pešačke populacije. Međutim, sa druge strane, nije opravdano projektovati objekte za ekstremne, tj. vršne vrednosti protoka koji se pojavljuju u samo 1% ili 2% ukupnog vremena. Relevantni vremenski periodi trebali bi da se odrede kroz bližu procenu kratkoročnih promena protoka pešaka.

Kratkoročne promene su prisutne kod većine nereguliranih pešačkih tokova, jer je dolazak pešaka slučajan događaj. Na trotoarima ove promene postaju uočljivije, jer dolazi do prekida protoka pešaka i formiranja redova čekanja prouzrokovanih regulisanjem saobraćajnim signalima. Takođe, objekti vezani za rad javnog prevoza mogu da dovedu do nastanka velikih talasa u potražnji tako što će se u kratkom vremenskom periodu pojaviti velika grupa pešaka, a nakon toga može nastupiti period u kome nema pešačkih tokova. Sve dok se nakupljeni pešaci ne raziđu, kretaće se u formi plotuna. Primeri plotunskog kretanja pešaka prikazani su na Slici 3.5. Plotuni se takođe mogu formirati i usled otežanog kretanja pešaka koji je nastao zbog nedostatka prostora, odnosno nemogućnosti preticanja. U tom slučaju brži

pešaci su primorani da uspore i kretaće se u koloni čiju brzinu diktiraju pešaci koji se kreću manjom brzinom.



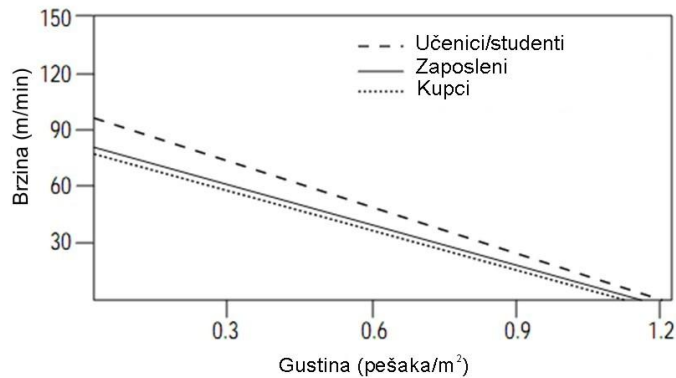
Slika 3.5: Primeri plotunskog kretanja pešaka

3.3. Osnovni parametri pešačkih tokova i njihovi međusobni odnosi

Zakovitost između osnovnih parametara pešačkih tokova (protok, brzina, gustina) definisanih na početku Poglavlja 3 ista je kao i za vozila, pa tako protok pešaka predstavlja proizvod brzine pešačkog toka i gustine pešačkog toka. Povećanjem brzine pešačkih tokova povećava se rastojanje između pešaka, što dovodi do smanjenja gustine. Gustina se smanjuje u zavisnosti od brzine zbog rastojanja koje je potrebno da pešaci imaju prilikom kretanja, kao i zbog potrebe za većim fizičkim prostorom zbog dužeg koraka kod većih brzina. Na povećanje rastojanja između pešaka pored brzine, značajnu ulogu ima i psiha, odnosno doživljavanje intimnog prostora svakog pojedinca kao pešaka. Ovo doživljavanje intimnog prostora oko sebe ima veliki značaj posebno u situacijama kada su pešački tokovi zaustavljeni ili značajno usporeni (brzina oko nule). U ovakvim slučajevima gustina pešačkih tokova je relativno velika, pa je naročito potrebno poznavati parametre toka kod analiziranja masovnih dešavanja i manifestacija koje podrazumevaju okupljanje velikog broja ljudi.

3.3.1. Odnos brzina-gustina

Osnovni odnos između brzine, gustine i protoka kod pešačkih tokova sličan je kao i kod tokova vozila. Kako se protok i gustina povećavaju, brzina pešaka se smanjuje. Povećavanjem gustine smanjuje se raspoloživi pešački prostor, a stepen pokretljivosti pojedinačnih pešaka takođe opada. Slika 3.6 pokazuje vezu između brzine pešaka i gustine za tri različite kategorije pešaka (učenici/studenti, zaposleni, kupci).



Slika 3.6: Odnos između brzine pešaka i gustine (Pushkarev i Zupan, 1975)

3.3.2. Odnos protok-gustina

Sličnost odnosa parametara između pešačkog toka sa odnosima parametara tokova vozila prikazana je i u sledećoj formuli:

$$v_{ped} = S_{ped} \times D_{ped} \quad (3.1)$$

gde je:

v_{ped} - jedinični protok pešaka (pešaka/min/m)

S_{ped} - brzina pešaka (m/min)

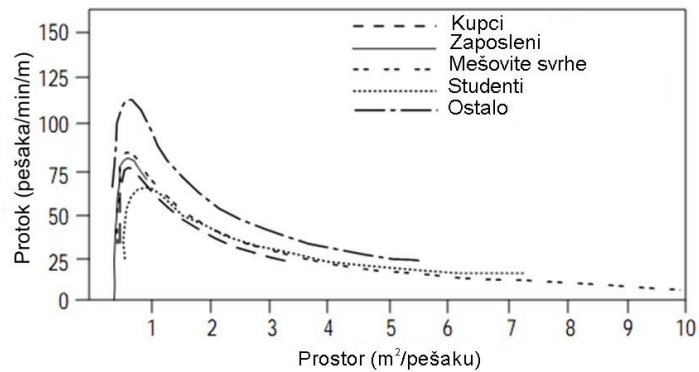
D_{ped} - gustina (pešaka/m²).

U jednačini (3.1) za protok kao promenljivu uzima se protok po jedinici širine prolaza, što je već ranije definisano. Druga, mnogo korisnija jednačina koristi recipročnu vrednost gustine, tj. pešački prostor:

$$v_{ped} = \frac{S_{ped}}{M} \quad (3.2)$$

gde je M - pešački prostor (m²/pešaku).

Osnovna veza između protoka i prostora, uočena od strane nekoliko autora koji se bavili ovom tematikom, prikazana je na Slici 3.7.

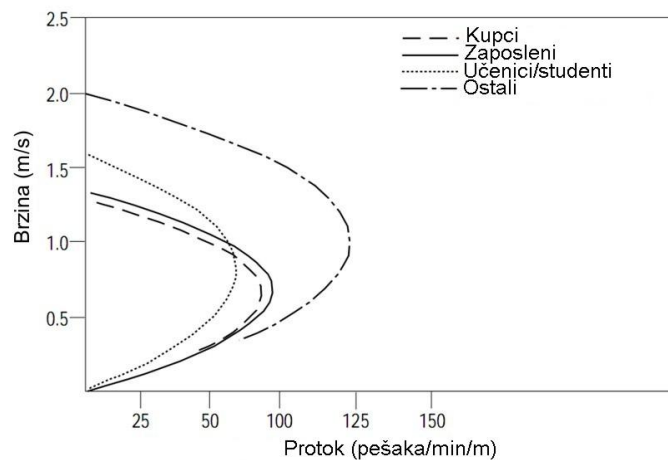


Slika 3.7: Odnos između protoka pešaka i pešačkog prostora (Pushkarev i Zupan, 1975)

Uslovi odvijanja pešačkog saobraćaja pri maksimalnom protoku predstavljaju kapacitet pešačkog objekta. Sa Slike 3.7 se očigledno vidi da za sva posmatranja maksimalni protok ulazi u uski opseg vrednosti gustine, sa prosečnim pešačkim prostorom koji varira između 0,4 i 0,9 m²/pešaku. Upraksi se maksimalan protok pešaka postiže pri gustini oko 2,5 pešaka/m², odnosno pri površini od oko 0,4 m²/pešaku. Ukoliko se prostor smanji ispod 0,4 m²/pešaku, protok počinje naglo da opada, a sva kretanja pešačkih tokova se zaustavljaju ukoliko je raspoloživi prostor između 0,2 i 0,3 m²/pešaku.

3.3.3. Odnos brzina-protok

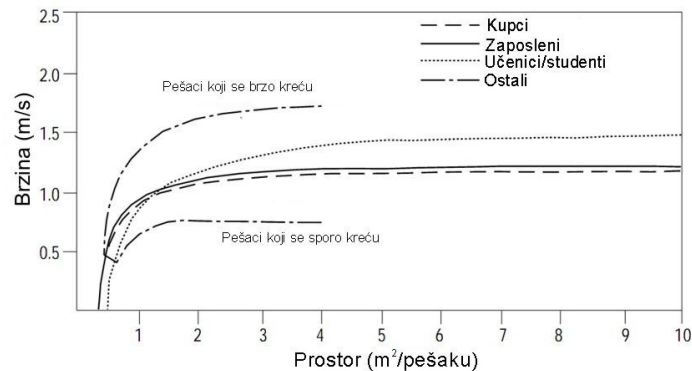
Slika 3.8 pokazuje vezu između brzine i protoka pešaka. Ove krive, slično kao i kod tokova vozila, pokazuju da ako se na šetalištu ili trotoaru nalazi nekoliko pešaka (mali protok), raspoloživi prostor dozvoljava pešacima da ostvaruju veće brzine pešačenja. Kako se protok povećava, brzina opada zbog međusobne interakcije između pešaka. U trenutku dostizanja kritičnog nivoa, kretanje pešaka postaje otežano, a shodno tome brzina i protok se smanjuju.



Slika 3.8: Odnos između brzine i protoka pešaka (Pushkarev i Zupan, 1975)

3.3.4. Odnos brzina-prostor

Slika 3.9 prikazuje vezu između brzine i raspoloživog prostora. Vidi se da prosečan prostor koji je manji od $1,5 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ znatno utiče na smanjenje brzine kretanja pešaka. Pešaci koji se brže kreću, čija brzina kretanja iznosi do $1,8 \text{ m/s}$, nisu u stanju da dostignu tu brzinu sve dok prosečan raspoloživi prostor ne iznosi $4 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ ili više.



Slika 3.9: Odnos između brzine i prostora (Pushkarev i Zupan, 1975)

3.4. Definisanje procesa prelaska pešaka preko kolovoza

Proces prelaska pešaka preko kolovoza je definisan na osnovu subjektivnih, odnosno individualnih osobina pešaka, koji su u interakciji sa objektivnim faktorima. Prilikom analize ponašanja pešaka i vozača koji motornim vozilima prilaze pešačkom prelazu posebna pažnja se usmerava na sledeća obeležja:

- Demografske karakteristike učesnika (pol, starosno doba),
- Vreme čekanja/donošenja odluke za prelazak,
- Brzina pešaka i vozila,
- Kategorija i položaj vozila u odnosu na pešaka,
- Rizično ponašanje pešaka pri prelasku.

Proces prelaska pešaka u slučaju da je interval prihvaćen sastoji se od sledećih postupaka:

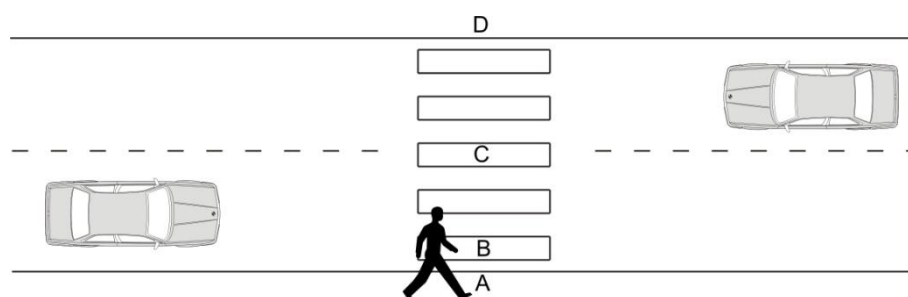
- A. Dolazak pešaka do mesta koje želi preći,
- B. Proces čekanja pogodnog intervala za prelazak,
- C. Proces prelaska kolovoza,
- D. Stupanje na suprotnu ivicu kolovoza.

3. Karakteristike kretanja pešaka i parametri pešačkih tokova

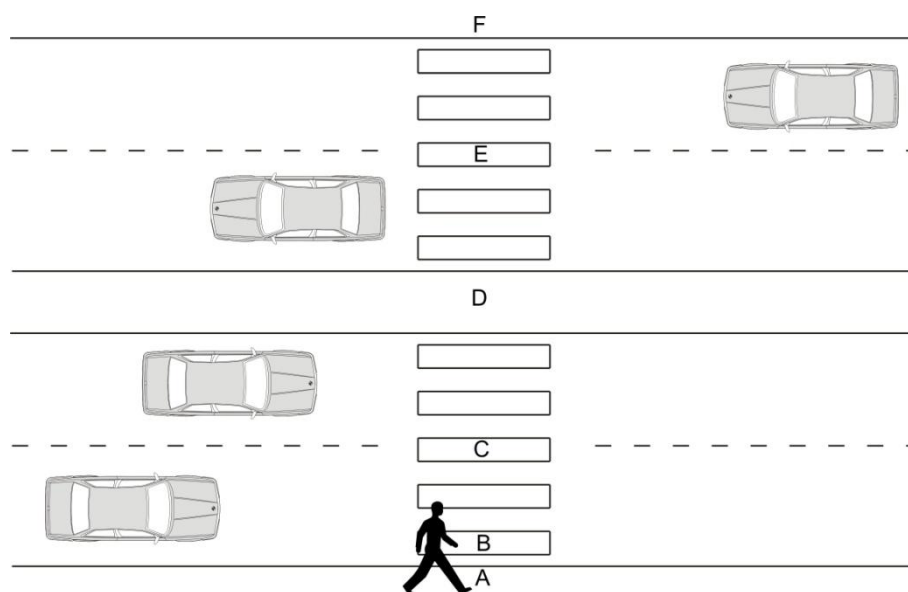
Ovakav proces važi za prelazak kolovoza bez razdelnog ostrva, dok se proces prelaska kolovoza sa razdelnim ostrvom vrši u dve faze, pri čemu se sastoji od sledećih postupaka:

- A. Dolazak pešaka do mesta koje želi preći,
- B. Proces čekanja pogodnog intervala za prelazak,
- C. Proces prelaska kolovoza do razdelnog ostrva,
- D. Proces čekanja na razdelnom ostrvu,
- E. Prelazak drugog segmenta kolovoza,
- F. Stupanje na suprotnu ivicu kolovoza.

Na sledećim slikama je prikazan proces prelaska kolovoza sa i bez razdelnog ostrva (Slika 3.10 i Slika 3.11).



Slika 3.10: Prelezak kolovoza bez razdelnog ostrva



Slika 3.11: Prelezak kolovoza sa razdelnim ostrvom

3.5. Faktori koji utiču na prelazak pešaka preko kolovoza

Jedna od najrizičnijih radnji sa kojom se susreću pešaci u saobraćaju je prelazak preko kolovoza. Prilikom prelaska kolovoza ponašanje pešaka zavisi od objektivnih kao i subjektivnih faktora. Pod objektivnim faktorima se podrazumevaju oni faktori koji su prisutni u saobraćaju bez obzira na prisustvo pešaka, dok su subjektivni faktori oni koji zavise od individualne odluke na osnovu koje se tumači ponašanje pešaka prilikom prelaska kolovoza (WHO, 2013b; Martin, 2006; HCM 2010).

3.5.1. Objektivni faktori

Objektivni faktori ili faktori koji postoje bez obzira na prisustvo pešaka, imaju u određenoj meri uticaj na ponašanje pešaka prilikom prelaska kolovoza. Faktori kao što su lokacija, gustina saobraćajnog toka, interval sleđenja vozila, brzina vozila i način regulisanja saobraćaja značajni su za određivanje NU pešaka na pešačkim prelazima. Ovi faktori gotovo uvek deluju u spregnutoj vezi, a individualni uticaj je veoma teško odrediti što daje jednu složenost tumačenju istih na postupanje učesnika koji prelaze kolovoz. Neki od navedenih faktora se utvrđuju na osnovu empirijskih pretpostavki, jer svaki ima poseban uticaj na pešaka, koji se odlikuje individualnim karakteristikama (pol, starosno doba, nivo edukacije, motiv prelaska).

Lokacija kao objektivni faktor se može posmatrati sa stanovišta geometrije, odnosno tipa i vrste kolovozne konstrukcije. Kad je reč o prelasku kolovoza, postoje dva osnovna tipa lokacije:

- Prelazak na raskrsnici i
- Prelazak na izdvojenom pešačkom prelazu.

Geometrijske karakteristike kolovoza utiču na prelazak sa aspekta prostornog rastojanja koje pešak treba da savlada. Uopšteno, ukoliko pešak kolovoz ne prelazi upravno na uzdužnu osu kolovoza, vreme prelaska kao i vreme čekanja pešaka na prelazak je veće. Broj saobraćajnih traka prilikom prelaska od strane pešaka je takođe veoma značajan zbog rastojanja koje pešak prelazi.

Sa povećanjem broja saobraćajnih traka povećava se potreba za uvođenjem razdelnih ostrva. Prema preporukama, prilikom projektovanja saobraćajnica potrebno je obezbediti da pešak ne prelazi više od pet saobraćajnih traka bez razdelnog ostrva. Razdelno ostrvo omogućava prelazak pešaka u dve faze, pa takav način omogućava i prihvatanje manjih vremenskih intervala između vozila za prelazak jedne kolovozne trake. Razdelno ostrvo omogućava pešacima da percepciju usmere samo na deonicu do razdelnog ostrva, što smanjuje vreme donošenja odluke. Pri prelasku kolovoza na izdvojenom pešačkom prelazu razdelno ostrvo značajno

pomaže pešacima da se prilagode saobraćajnim uslovima i procene brzinu nailazećeg vozila koja je na ovakvim deonicama puta često i veća od dozvoljene.

Gustina saobraćaja predstavlja jedan od osnovnih parametara saobraćajnog toka. Gustina može biti razmatrana po saobraćajnoj traci, po smerovima za jednosmerne saobraćajnice, odnosno u oba smera za dvosmerne saobraćajnice (Kuzović i Bogdanović, 2010). Poznato je da sa povećanjem broja vozila u saobraćajnom toku, dolazi do smanjenja intervala sleđenja između vozila. Prema tome, povećanje gustine dovodi do smanjenja broja intervala koji su pešacima prihvatljivi za prelak kolovoza, što uzrokuje povećanje vremenskih gubitaka i pad NU pešačkog saobraćaja.

Interval sleđenja vozila se može opisati na osnovu vremenskog i prostornog rastojanja. Interval sleđenja vozila u saobraćajnom toku predstavlja vreme između prolaska čela dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presek posmatrane deonice puta. Rastojanje sleđenja predstavlja prostorni razmak između čela dva uzastopna vozila u saobraćajnom toku, koji je izražen u metrima (Kuzović i Bogdanović, 2010). Sa povećanjem brzine dolazi do smanjenja prostornog rastojanja između uzastopnih vozila na posmatranoj deonici puta, odnosno do broja prihvatljivih intervala za prelazak kolovoza od strane pešaka. Pored gustine i brzine toka, na interval sleđenja vozila utiče i sistem kontrole saobraćaja i struktura saobraćajnog toka.

Intervali koji se javljaju prilikom procesa prelaska pešaka preko kolovoza, kao što su prihvaćeni, odbijeni i kritični intervali, biće detaljnije objašnjeni u Poglavlju 5.

Brzina vozila utiče na ostale parametre saobraćajnog toka, a za potrebe analiza koristi se njena srednja vrednost na deonici. Brzina vozila se u urbanim područjima ograničava na niže vrednosti, a naročito na lokacijama gde su izraženi pešački tokovi. Sve više je prisutno formiranje zona usporenog saobraćaja, tzv zone 30, pogotovo u blizini škola, jer deca nisu sposobna da procene brzinu vozila koja im nailaze zbog nedovoljnog životnog i saobraćajnog iskustva.

Način regulisanja saobraćaja bitno utiče na postupke i ponašanje svih učesnika u saobraćaju. Regulisanje se vrši saobraćajnim znakovima, horizontalnim oznakama na kolovozu, svetlosnom saobraćajnom signalizacijom, kao i uz pomoć ovlašćenih lica. Na bezbedan prelazak pešaka preko kolovoza najveći uticaj i efikasnost imaju svetlosni saobraćajni znaci. Nepoštovanje pravila koja su uspostavljena saobraćajnom signalizacijom bilo kojih učesnika u saobraćaju, pa i pešaka, dovodi do stvaranja opasne saobraćajne situacije čije posledice mogu da budu fatalne.

3.5.2. Subjektivni faktori

Subjektivni faktori su oni faktori koji zavise od individualne odluke na osnovu koje se tumači ponašanje pešaka prilikom prelaska kolovoza. Kao i kod objektivnih faktora čiji je pojedinačni uticaj teško utvrditi zbog sinergijskog delovanja i subjektivni faktori (brzina pešaka, pol, starosno doba, vreme čekanja na pešačkom prelazu, individualni ili grupni prelazak pešaka, rizično ponašanje itd.) imaju zajednički uticaj na ponašanje pešaka u saobraćaju, a naročito prilikom prelaska pešaka preko kolovoza.

Rizično ponašanje pešaka je posledica nepoštovanja pravila i propisa. Na signalisanim pešačkim prelazima jasno su utvrđeni vremenski intervali kada je dozvoljen prelazak pešaka preko kolovoza, ali čak i kod ovakvog načina regulisanja pešaci prave propuste, što dovodi do pojave potencijalno opasnih saobraćajnih situacija. Prelazak pešaka na crveno svetlo je posebno opasna radnja. Slična situacija je i na nesignalisanim prelazima, iako ne postoje tačno utvrđeni intervali za prelazak kolovoza kao na signalisanim raskrsnicama. Najčešće se dešava da pešaci biraju izuzetno kratke intervale za prelazak koji ne omogućavaju vozačima zaustavljanje ispred pešačkog prelaza usporavanjem udobnim usporenjem.

Jedna od najrizičnijih radnji u saobraćaju prilikom prelaska pešaka preko kolovoza je tzv. „rolling-gap“ prelazak, odnosno prelaz preko kolovoza u fazama (Fitzpatrick i dr., 2006). Ovakav način prelaska je karakterističan kod višetravnih saobraćajnica. Naime, pešak započinje prelazak, stupa na kolovoz i svoju pažnju usmerava samo na jednu, bližu saobraćajnu traku. Uz takvu pažnju on dolazi do druge saobraćajne trake, čekajući novi prihvatljivi interval za prelazak iz istog ili suprotnog smera. Verovatnoća ovakvog načina prelaska raste sa vremenom čekanja, kao i sa većim brojem prethodno propuštenih prilika.

Na ponašanje pešaka utiče i **broj – grupnost** pešaka koji žele preći kolovoz. U prethodnim poglavljima navedeno je da se u grupi pešaci kreću manjom brzinom. Sa aspekta prihvatanja rizika, pešak koji prelazi kolovoz kao individua, više je sklon prelasku koji nije u skladu sa zakonom, dok se pešak, koji je u grupi, ne izdvaja od okoline. Pored toga, vozači se češće zaustavljaju radi propuštanja pešaka ako se oni nalaze u grupi, bez obzira da li se nalaze na ivici kolovoza ili razdelnom ostrvu.

3.6. Normativna regulativa u oblasti regulisanja pešačkog saobraćaja u Republici Srbiji

U Republici Srbiji iz oblasti regulisanja saobraćaja najznačajniji su:

- Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Službeni glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010 i 101/2011)
- Zakon o javnim putevima ("Službeni glasnik RS", br.101/2005, 123/2007, 101/2011 i 93/2012.) i
- Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji ("Službeni glasnik RS", br.26/2010).

Osim ovih normativnih akata, postoje još i pravilnici koji uređuju razne oblasti vezane za bezbednost i regulisanje saobraćaja, npr. Pravilnik o podeli motornih i priklučnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima, Pravilnik o tehničkim uslovima koje treba da ispunjavaju motorna vozila, Pravilnik o vozačkim dozvolama, Pravilnik o teorijskoj i praktičnoj obuci kandidata za vozače itd. Jedni od najznačajnijih dokumenata su svakako i Priručnici za projektovanje puteva u Republici Srbiji. Izvodi iz navedenih dokumenata koji se odnose na regulisanje pešačkog saobraćaja nalaze se u Prilogu 1.

Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima se uređuju pravila saobraćaja, ponašanje učesnika u saobraćaju na putu, ograničenja saobraćaja, saobraćajna signalizacija, znaci i naredbe kojih se moraju pridržavati učesnici u saobraćaju itd. (Z OBS, 2011). U poglavlju zakona *Pravila saobraćaja (IV)*, u delu *Opšte odredbe (1)*, član 23. propisuju se pravila kojih se mora pridržavati vozač koji nailazi na pešački prelaz. U delu *Kretanje pešaka (21)*, članovima Zakona 96, 97 i 99 regulisano je kretanje pešaka na kolovozu.

Zakonom o javnim putevima uređuju se pravni položaj javnih puteva, uslovi i način upravljanja, zaštite i održavanja javnih puteva, izvori i način finansiranja javnih puteva, posebni uslovi za izgradnju i rekonstrukciju javnih puteva i inspekcijski nadzor (Zakon o javnim putevima, 2012).

Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji propisuju se vrsta, značenje, detalji izrade saobraćajne signalizacije, pravila postavljanja saobraćajne signalizacije na putevima itd. (Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, 2010). *Poglavlje 2* Pravilnika detaljnije definiše *Oznake na kolovozu i trotoaru*, koje mogu biti uzdužne, poprečne i ostale oznake na kolovozu i trotoaru. Članovi 67 i 68 definišu način obeležavanja i podelu poprečnih oznaka, među kojima se nalaze i pešački prelazi, dok član 72. detaljnije reguliše namenu i moguće načine izvođenja i obeležavanja pešačkih prelaza. Prema *Pravilniku* pešački prelazi se označavaju znakom obaveštenja III-6 „označeni pešački prelaz“ koji označava mesto na kome se nalazi obeleženi pešački prelaz (Slika 3.12).



Slika 3.12: Znak III-6 „označeni pešački prelaz“

Detaljne smernice za projektovanje i označavanje pešačkih prelaza date su u **Priručniku za projektovanje puteva u Republici Srbiji (6. Saobraćajna signalizacija i oprema; 6.1 Saobraćajna signalizacija)**, a vođenje pešaka u području raskrsnice detaljno je regulisano u **Priručniku za projektovanje puteva u Republici Srbiji (5. Funkcionalni elementi i površine puteva; 5.1 Raskrsnice i priključci)**. Poseban deo **Priručnika za projektovanje puteva u Republici Srbiji** namenjen pešacima (**5. Funkcionalni elementi i površine puteva, 5.7 Pešačke površine i površine za hendikepirane**) daje smernice za postavljanje, obeležavanje i regulisanje pešačkog saobraćaja na pešačkim prelazima ([JP Putevi Srbije, 2012a,b,c](#)).

U uvodnom delu Priručnika **5.7 Pešačke površine i površine za hendikepirane** definisani su osnovni pojmovi prema kojima je pešak najčešći, najsporiji i najmanje zaštićen učesnik u saobraćaju. Njegovo individualno ponašanje zahteva posebnu zaštitu, naročito u urbanim sredinama, gde se njegovi smerovi kretanja prepliću sa drugim učesnicima u saobraćaju. Iz tog razloga definisani su osnovni pojmovi vezani za kretanje pešaka:

- Pešačka staza je definisana slobodnim i saobraćajnim profilom.
- Slobodni profil čini poprečni presek pešaka, koji je potreban za kretanje pešaka.
- Gustina pešaka je pojam koji se koristi da označi koliko se pešaka nalazi na nekoj površini.
- Pešački prelaz je mesto, na kojim se ukrštaju saobraćaj vozilima i pešački saobraćaj.
- Posebni pešački prelazi su školski prelazi, školski prelaz u sklopu bezbednog puta do škole, prelazi ispred bolnice, prelazi ispred vrtića i sl.

Kod pešaka se definiše osnovni nacrti profil na osnovu dimenzija širine ramena (0,60 m) i širine tela (0,40 m). Svakom pešaku je potreban manevarski prostor za bezbedno, neometano i ugodno kretanje. Taj prostor se razlikuje u

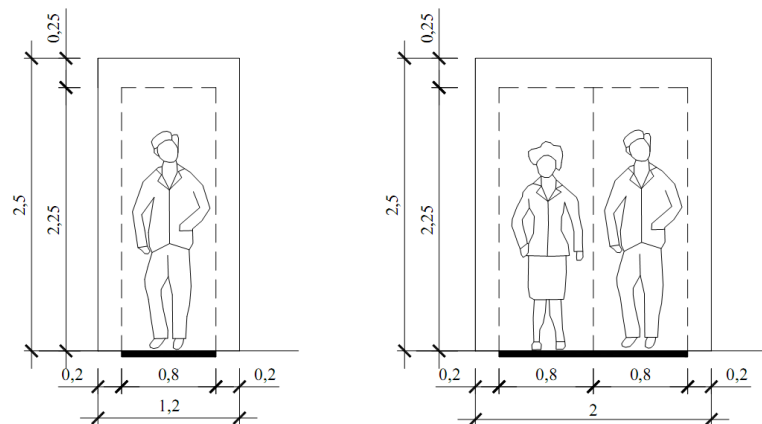
zavisnosti od toga da li pešak stoji ili se kreće (Tabela 3.1), a najbolja definicija se dobija na osnovu razmaka između pešaka.

Tabela 3.1: Razmak između pešaka za definisanje osnovnog nacrtnog profila (JP Putevi Srbije, 2012c)

	Paralelno u odnosu na širinu ramena	Vertikalno u odnosu na širinu ramena
Pešak koji stoji	0,80 m	0,60 m
Pešak koji hoda	0,80 m	1,00 m

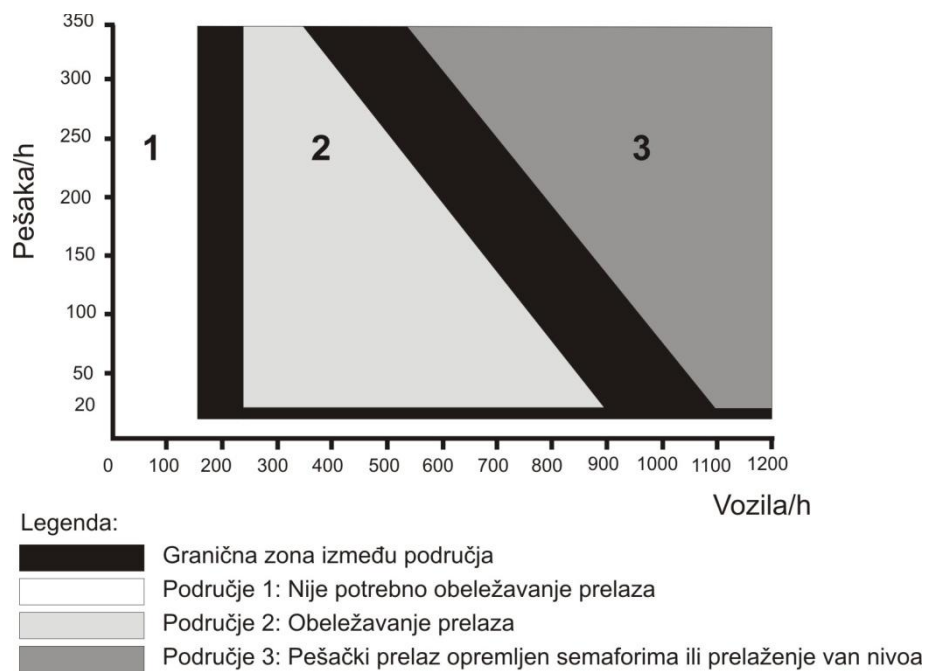
Propusnost, odnosno kapacitet pešačkog prelaza je sposobnost prolaska određenog broja pešaka u jedinici vremena na određenom preseku. Propusnost koja je korišćena kao parametar za određivanje širine prelaza uzima se u obzir samo kada se pojavljuje veliki broj pešaka. Propusnost jednosmernog pešačkog toka iznosi od 39 do 82 pešaka/m/min, a za gradove se primenjuje protok od 66 pešaka/m/min.

Pešačka staza je definisana slobodnim i saobraćajnim profilom pešačke staze (Slika 3.13). Slobodni profil sastoji se od saobraćajnog profila i dve bezbednosne zone. Slobodni profil čini poprečni presek pešaka, koji je potreban za kretanje pešaka, a bezbednosne trake doprinose ugodnijem i bezbednijem kretanju. U slobodni profil ne može da zadire nijedan predmet i on predstavlja nevidljivu graničnu liniju između izgrađene okoline i prostora namenjenog pešacima.



Slika 3.13: Slobodni i saobraćajni profil pešačke staze [m] (JP Putevi Srbije, 2012c)

Prema navedenom priručniku, a pored već postojećih uslova u priručniku **6.1 Saobraćajna signalizacija**, obeležavanje samostalnih pešačkih prelaza obavezno je kada su ispunjeni uslovi da saobraćaj pešaka i vozila mora da bude takvog intenziteta da je opravdano uređenje pešačkog prelaza u skladu sa Slikom 3.14.



Slika 3.14: Dijagram uslova za određivanje nivoa uređenja pešačkih prelaza (JP Putevi Srbije, 2012c)

4. NIVO USLUGE PEŠAČKIH TOKOVA PREMA HCM-U

Prvo izdanje HCM-a izdato je 1950. godine i sastojalo se od samo 147 strana i 8 poglavlja, a predstavljalo je rezultat saradnje između TRB-a (eng. **Transportation Research Board**) i FHWA (eng. **Federal Highway Administration**). Pojam pešačkih tokova i njihov uticaj na saobraćajni sistem nije detaljnije istraživano, a uticaj pešaka na kapacitet saobraćajnica je u tom izdanju samo indirektno pomenut. Naredni HCM je izdat 1965. godine i imao je 411 strana. Autori su prepoznali značaj uticaja pešačkih tokova na saobraćajne trake za desna skretanja, ali i dalje nije bilo posebnih poglavlja koja bi se bavila tematikom pešačkog saobraćaja (HCM, 1965). Tek je u narednom izdanju HCM-a iz 1985. godine (459 strana) predstavljeno posebno poglavlje koje se bavilo isključivo pešačkim tokovima. Tada je po prvi put predstavljen koncept NU za pešake koji se odnosio na površine namenjene za kretanje pešaka (šetališta, trotoari itd.) pri čemu je NU baziran na prosečnoj površini koja se obezbeđuje za svakog pešaka (HCM, 1985). Izdanje iz 1985. godine imalo je dve dopune koje su izašle 1994. i 1997. godine, ali su poglavlja vezana za pešake ostala uglavnom nepromenjena. Naredno izdanje iz 2000. godine, sa preko 1200 strana, donelo je veliki broj promena, novina, dopuna i unapređenih procedura vezanih za pešačke tokove. Naime, poglavlje posvećeno pešacima (*Methodologies - Chapter 18: Pedestrian*) značajno je prošireno i uključivalo je šetališta i trotoare, površine na kojima su se formirali redovi čekanja pešaka, staze za pešake, pešačke prelaze i objekte namenjene pešacima duž gradskih ulica. Po prvi put je predstavljen postupak proračuna NU pešaka na signalisanim i nesignalisanim raskrsnicama. NU za pešačke prelaze na signalisanim raskrsnicama baziran je na prosečnim vremenskim gubicima pešaka (eng. **average pedestrian delay**), sa nižim graničnim vrednostima za nesignalisane raskrsnice, dok je NU na trotoarima duž gradskih ulica određen na osnovu prosečne brzine pešaka (eng. **average travel speed**) (HCM, 2000).

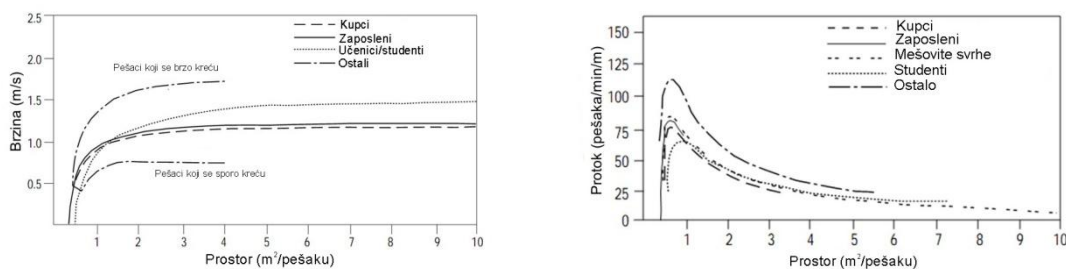
Poslednje izdanje HCM-a objavljeno je 2010. godine, sastoji se od 3 knjige sa ukupno 1650 strana. Za razliku od prethodnih izdanja, ne postoji posebno poglavlje

vezano za pešake, nego su metodi proračuna NU predstavljeni zajedno za sve vidove prevoza, u zavisnosti od toga da li su u pitanju signalisane ili nesignalisane raskrsnice (*Chapter 18: Signalized Intersections; Chapter 19: Two-Way Stop-Controlled Intersections; Chapter 20: All-Way Stop-Controlled Intersections*). Najvažnija promena koja se tiče proračuna NU pešaka na nesignalisanim raskrsnicama je ta što je dopunjen postojeći postupak iz 2000. godine. Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja koja su izvršena u međuvremenu, utvrđeno je da veliki uticaj na NU pešačkih tokova ima broj vozila koja se zaustavljaju i usporavaju kako bi propustila pešake da izvrše prelazak preko kolovoza. U skladu sa tim, uveden je novi parametar, stepen propuštanja pešaka (SPP) od strane vozila, koji se u proračunu označava sa M_y , a postojeći metod, koji se završavao izračunavanjem prosečnih vremenskih gubitaka na osnovu kojih je određivan NU, proširen je za jedan korak u kome su prosečni vremenski gubici dobijeni na osnovu procene smanjenja dužine čekanja zbog propuštanja pešaka od strane motornih vozila (HCM, 2010).

4.1. Kriterijumi nivoa usluge pešačkih tokova

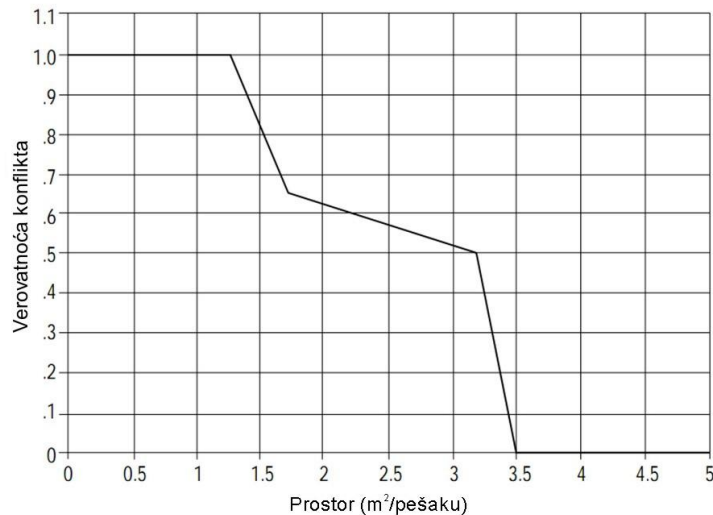
Posmatrano uopšteno, kriterijumi za određivanje NU zasnivaju se na subjektivnim merama, koje mogu biti neprecizne. Međutim, moguće je definisati intervale raspoloživog pešačkog prostora, protoka i brzine, koji se zatim mogu koristiti za razvoj odgovarajućih kriterijuma NU.

Brzina je važan kriterijum NU zato što se lako može posmatrati i meriti. Pri brzinama manjim od 0,7 m/s, većina pešaka pribegava neprirodnom načinu hoda. Na Slici 4.1a (brzina-prostor) vidi se da navedenoj brzini odgovara pešački prostor koji se kreće u rasponu od 0,6 m²/pešaku do 0,7 m²/pešaku. Pri vrednosti 1,5 m²/pešaku ili manjoj, čak su i sporiji pešaci primorani da uspore kretanje. Brži pešaci ne mogu da dostignu željenu brzinu od 1,8 m/s sve dok raspoloživi prostor ne iznosi više od 4 m²/pešaku. Kao što se vidi na Slici 4.1b (protok-prostor) ove tri vrednosti raspoloživog prostora (0,6, 1,5 i 4 m²/pešaku) odgovaraju vrednostima maksimalnog protoka (kapaciteta), dve trećine kapaciteta i jednoj trećini kapaciteta, respektivno.



Slika 4.1: Odnos između a) brzine i prostora i b) protoka i prostora

Postoje i drugi značajni pokazatelji NU. Na primer, sposobnost pešaka da prođe kroz drugi pešački tok se pogoršava sa vrednostima raspoloživog pešačkog prostora koji je manji od $3,5 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ (Slika 4.2). Iznad tog nivoa verovatnoća zaustavljanja normalnog hoda svedena je na nulu. Ispod vrednosti od $1,5 \text{ m}^2/\text{pešaku}$, praktično svakim korakom, nailazi se na konflikt. Slično tome, sposobnost da se običu sporiji pešaci je nesmetana iznad $3,5 \text{ m}^2/\text{pešaku}$.



Slika 4.2: Verovatnoća nastajanja konflikta (Fruin, 1987)

Jedan od indikatora NU je i sposobnost održavanja protoka pešaka u sporednom pravcu kada se on kreće nasuprot glavnom pešačkom toku. Za pešačke tokove koji imaju približno jednak protok u oba smera, postoji malo smanjenje kapaciteta pešačke staze u poređenju sa tokom koji se kreće u samo jednom smeru, zato što usmereni tokovi imaju tendenciju da se razdvoje i zauzmu proporcionalni deo staze. Međutim, ako je npr. podela tokova po smeru kretanja 90% naspram 10%, a raspoloživi prostor po pešaku iznosi $1 \text{ m}^2/\text{pešaku}$, beleži se smanjenje kapaciteta za oko 15%. Ovo smanjenje je rezultat nemogućnosti sporednog, tj. manjeg toka pešaka da koristi proporcionalni deo staze.

Istraživanja su pokazala da je kretanje pešaka na trotoarima i šetalištima pod uticajem drugih pešaka čak i kada je raspoloživi prostor veći od $4 \text{ m}^2/\text{pešaku}$. Pri vrednostima od $6 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ uočeno je da se pešaci kreću slično kao figure na šahovskom polju, tj. često menjaju pravac kretanja, pre nego da se kreću neposredno iza ili jedni pored drugih. Takođe, ista posmatranja su pokazala da je potrebna vrednost od $10 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ kako bi se ostvarilo potpuno slobodno kretanje bez konflikata, a da tek pri vrednosti od $13 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ pojedinac nije više pod uticajem drugih pešaka (Hall, 1966). Plotuni pešaka ne nestaju u potpunosti sve dok vrednost prostora ne iznosi $50 \text{ m}^2/\text{pešaku}$ ili više. Grafički prikaz i opis NU na šetalištima i trotoarima je prikazan na Slici 4.3., a granične vrednosti date su i u

Tabeli 4.1. Ovi kriterijumi NU se baziraju na prosečnom protoku i ne uzimaju u obzir pešačke plotune. Odnos protok/kapacitet je računat pod pretpostavkom da je kapacitet 75 pešaka/min/m.

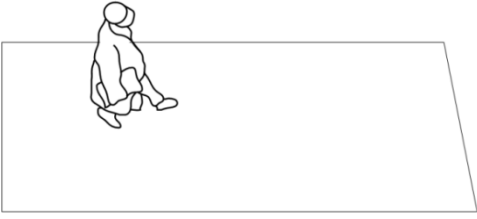
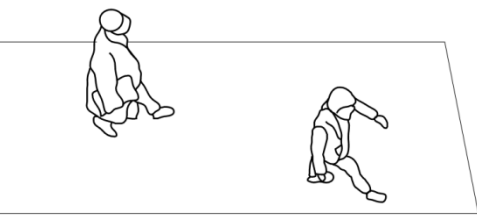
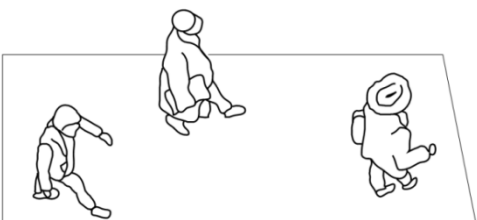
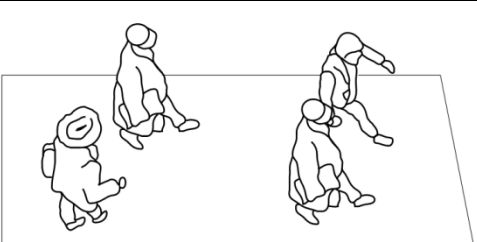


Tabela 4.1: Kriterijumi nivoa usluge pešačkih tokova za šetališta i trotoare

Nivo usluge	Prostor (m ² /pešaku)	Protok (pešaka/min/m)	Brzina (m/s)	Odnos protok/kapacitet
A	> 5,6	≤ 16	> 1,30	≤ 0,21
B	> 3,7 - 5,6	> 16 - 23	> 1,27 - 1,30	> 0,21 - 0,31
C	> 2,2 - 3,7	> 23 - 33	> 1,22 - 1,27	> 0,31 - 0,44
D	> 1,4 - 2,2	> 33 - 49	> 1,14 - 1,22	> 0,44 - 0,65
E	> 0,75 - 1,4	> 49 - 75	> 0,75 - 1,14	> 0,65 - 1,00
F	≤ 0,75	varira	≤ 0,75	varira

Slično kao i kod šetališta i trotoara, smanjenje kapaciteta zbog kretanja dva suprotna toka pešaka može se uočiti i kod kretanja pešaka na stepenicama. Suprotno ponašanju pešaka na ravnoj površini, pešaci na stepeništima imaju tendenciju da hodaju u redovima, jedni iza drugih. Ukoliko sporedni tok zauzima prostor širine jedne pešačke trake (oko 0,75 m), za stepenište širine 1,5 m sporedni tok bi mogao da smanji polovinu kapaciteta stepeništa. U Tabeli 4.2 dati su kriterijumi NU pešačkih tokova na stepenicama. Odnos protok/kapacitet je računat pod pretpostavkom da je kapacitet 49 pešaka/min/m.

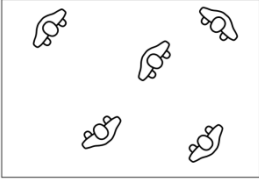
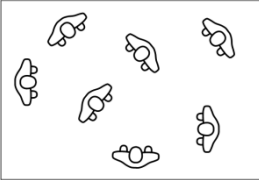
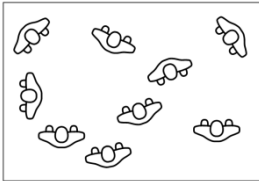
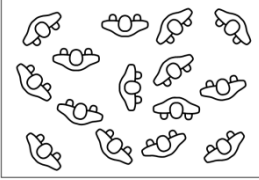
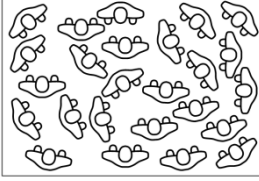
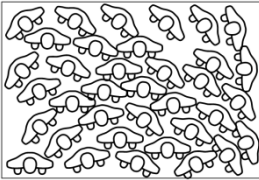
Tabela 4.2: Kriterijumi nivoa usluge pešačkih tokova na stepenicama

Nivo usluge	Prostor (m ² /pešaku)	Protok (pešaka/min/m)	Brzina (m/s)	Odnos protok/kapacitet
A	> 1,9	≤ 16	> 0,53	≤ 0,33
B	> 1,6 - 1,9	> 16 - 20	> 0,53	> 0,33 - 0,41
C	> 1,1 - 1,6	> 20 - 26	> 0,48 - 0,53	> 0,41 - 0,53
D	> 0,7 - 1,1	> 26 - 36	> 0,42 - 0,48	> 0,53 - 0,73
E	> 0,5 - 0,7	> 36 - 49	> 0,40 - 0,42	> 0,73 - 1,00
F	≤ 0,5	varira	≤ 0,40	varira

<p>Nivo usluge A <i>Prostor > 5,6 m²/pešaku</i> <i>Protok ≤ 16 pešaka/min/m</i></p> <p>Pri nivou usluge A pešaci se kreću željenom putanjom bez promene pravca kretanja u odnosu na druge pešake. Pešaci slobodno biraju brzinu kretanja, a sukobi sa drugim pešacima su malo verovatni.</p>	
<p>Nivo usluge B <i>Prostor > 3,7 - 5,6 m²/pešaku</i> <i>Protok > 16 - 23 pešaka/min/m</i></p> <p>Pri nivou usluge B postoji dovoljno prostora za pešake da slobodno izaberu brzinu kretanja, da zaobiđu druge pešake i da izbegnu sukob. Na ovom nivou, pešaci počinju da budu svesni drugih pešaka, kao i da reaguju na njihovo prisustvo prilikom izbora putanje.</p>	
<p>Nivo usluge C <i>Prostor > 2,2 - 3,7 m²/pešaku</i> <i>Protok > 23 - 33 pešaka/min/m</i></p> <p>Pri nivou usluge C prostor je dovoljan za normalnu brzinu kretanja i za zaobilazanje drugih pešaka, pre svega u jednosmernim tokovima. Promena pravca ili pokreti pri kretanju pešaka mogu izazvati manje sukobe, a protok je pri ovom nivou usluge nešto niži.</p>	
<p>Nivo usluge D <i>Prostor > 1,4 - 2,2 m²/pešaku</i> <i>Protok > 33 - 49 pešaka/min/m</i></p> <p>Pri nivou usluge D sloboda izbora brzine kretanja i zaobilazanje drugih pešaka su ograničeni. Promena pravca ili pokreti pri kretanju prouzrokuju veliku verovatnoću sukoba, zahtevajući česte promene brzine i položaja pešaka. Protok je relativno zadovoljavajući, ali postoji velika interakcija između pešaka.</p>	
<p>Nivo usluge E <i>Prostor > 0,75 - 1,4 m²/pešaku</i> <i>Protok > 49 - 75 pešaka/min/m</i></p> <p>Pri nivou usluge E praktično je svim pešacima ograničena normalna brzina kretanja i često moraju da prilagođavaju svoj hod. Promena pravca je moguća samo sa velikim poteškoćama. Protok dostiže granice kapaciteta šetališta/trotoara, sa čestim zastoјima i prekidima kretanja pešaka.</p>	
<p>Nivo usluge F <i>Prostor ≤ 0,75</i> <i>Protok varira</i></p> <p>Pri nivou usluge F sve brzine kretanja su strogo ograničene. Postoje česti i neizbežni kontakti sa ostalim pešacima. Promena pravca kretanja je praktično nemoguća. Protok je sporadičan i nestabilan. Prostor je više namenjen čekanju pešaka nego kretanju.</p>	

Slika 4.3: Nivo usluge pešaka na šetalištima i trotoarima

Koncept koji koristi prosečan prostor po pešaku kao meru NU takođe se može primeniti i na akumulacione zone, tj. mesta u kojima dolazi do nakupljanja pešaka. U ovim zonama pešak privremeno stoji dok čeka da bude uslužen. NU u akumulacionim zonama zavisi od prosečnog raspoloživog prostora po svakom pešaku, ali i od dozvoljenog stepena kretanja pešaka. U velikim gužvama, pešaci imaju jako malo prostora za kretanje, ali ograničeno kretanje je moguće ako se prosečan prostor po pešaku povećava. Grafički prikaz i opis NU u akumulacionim zonama je prikazan na Slici 4.4., a granične vrednosti date su i u Tabeli 4.3.

<p>Nivo usluge A <i>Prosečan prostor za pešaka > 1,2 m²/pešaku</i></p> <p>Stajanje i slobodno kretanje u akumulacionoj zoni je moguće bez uznemiravanja drugih u okviru reda čekanja.</p>	
<p>Nivo usluge B <i>Prosečan prostor za pešaka > 0,9 - 1,2 m²/pešaku</i></p> <p>Moguće je stajanje i delimično ograničeno kretanje bez ometanja drugih u redu čekanja.</p>	
<p>Nivo usluge C <i>Prosečan prostor za pešaka > 0,6 - 0,9 m²/pešaku</i></p> <p>Moguće je stajanje i ograničeno kretanje u akumulacionoj zoni uz ometanje drugih. Gustina pri ovom nivou usluge je u opsegu ličnog komfora.</p>	
<p>Nivo usluge D <i>Prosečan prostor za pešaka > 0,3 - 0,6 m²/pešaku</i></p> <p>Moguće je stajanje bez dodirivanja drugih. Kretanje je ozbiljno ograničeno i kretanje je moguće samo u grupi. Dugotrajno čekanje pri ovoj gustini postaje neprijatno.</p>	
<p>Nivo usluge E <i>Prosečan prostor za pešaka > 0,2 - 0,3 m²/pešaku</i></p> <p>Stajanje i fizički kontakt sa drugima je neizbežan. Kretanje nije moguće. Čekanje može da se podnese samo na kratak period bez ozbiljnih neprijatnosti.</p>	
<p>Nivo usluge F <i>Prosečan prostor za pešaka ≤ 0,2 m²/pešaku</i></p> <p>Praktično sve osobe u akumulacionoj zoni stoje u fizičkom kontaktu jedni sa drugima. Ova gustina je izuzetno neprijatna. Nije moguće kretanje. Pri ovoj gustini postoji velika verovatnoća za panično ponašanje u gužvama.</p>	

Slika 4.4: Nivo usluge pešaka u akumulacionim zonama

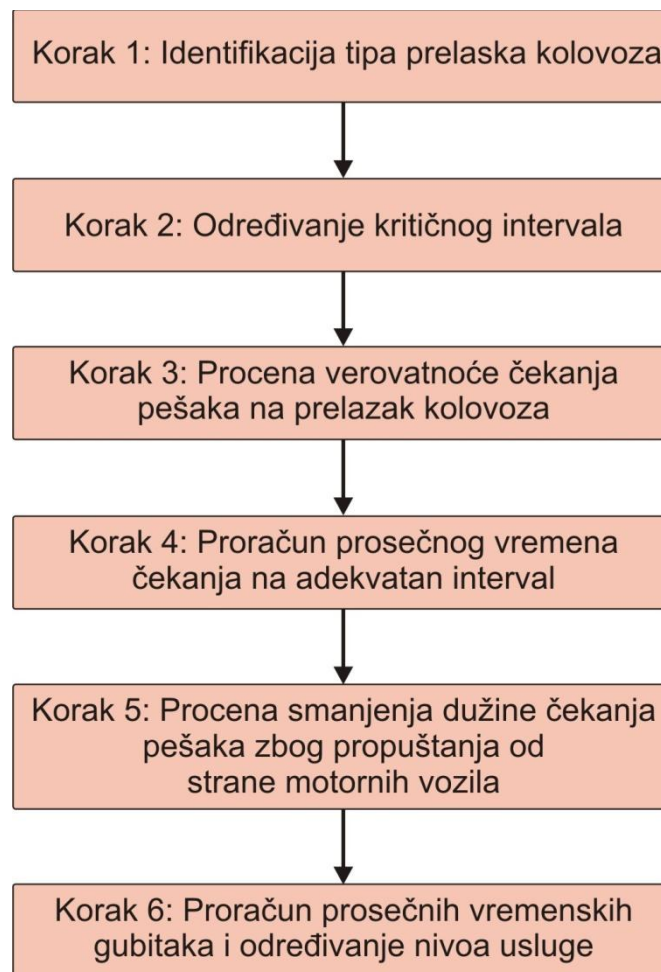
Tabela 4.3: Kriterijumi nivoa usluge pešačkih tokova u akumulacionim zonama

Nivo usluge	Prostor (m ² /pešaku)
A	> 1,2
B	> 0,9 - 1,2
C	> 0,6 - 0,9
D	> 0,3 - 0,6
E	> 0,2 - 0,3
F	≤ 0,2

4.2. Postupak proračuna nivoa usluge pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima prema HCM 2010

Ovo poglavlje prikazuje postupak za utvrđivanje NU za pešačke tokove prema metodu HCM 2010 u postojećim saobraćajnim uslovima. NU za pešake na površinskim prioritetnim raskrsnicama je definisan na pešačkim prelazima na glavnom putnom pravcu gde saobraćajni tok nije regulisan saobraćajnim znakom II-2 "STOP". Tipični predstavnici ovakvih raskrsnica su četvorokrake i trokrake raskrsnice. Za kvalitativno definisanje NU kod pešačkih kretanja koriste se vremenski gubici koji se kao glavni kriterijum odnose na čekanje na prelazak kolovoza. NU označava se klasama, od „A“ do „F“, pri čemu je „A“ najbolji, a „F“ najlošiji NU. NU klase "F" dešava se u situacijama kada ne postoji pogodan interval da pešaci bezbedno pređu kolovoz. Takva situacija je tipična za veoma duga vremena čekanja, kada vremenski gubici premašuju granicu od 45 s. Ova metodologija je zasnovana na fiksnim vremenskim intervalima. Međutim, NU "F" može se javiti i onda kada pešaci biraju interval manji od onog koji garantuje bezbedan prelazak kolovoza. U takvim slučajevima, bezbednost postaje tema za dalja naučna proučavanja.

Metod HCM 2010 za proračun NU za pešake odnosi se na površinske prioritetne raskrsnice gde pešaci na glavnom putnom pravcu prelaze najviše 4 saobraćajne trake. Analiza ne daje relevantne rezultate za saobraćajnice bez fizički razdvojenih kolovoza koje sadrže više od 4 saobraćajne trake, ali se može prilagoditi za slučaj kada svaki od fizički razdvojenih kolovoza sadrži po 4 saobraćajne trake. Primenjen metod pretpostavlja slučajne dolaske vozila i njihovu jednaku distribuciju za svaki smer kretanja i svaku saobraćajnu traku. Uzima u obzir izolovane raskrsnice kod kojih se ne oseća uticaj signalisanih raskrsnica, tj. one koje su na udaljenosti većoj od 400 m od najbliže signalisane raskrsnice. Na Slici 4.5 prikazani su koraci za izračunavanje prosečnih vremenskih gubitaka pešaka po metodi HCM 2010.



Slika 4.5: Koraci za izračunavanje prosečnih vremenskih gubitaka pešaka po metodi HCM 2010

Korak 1: Identifikacija tipa prelaska kolovoza

Metod za proračun NU za pešake obuhvata seriju koraka koji zahtevaju ulazne podatke koji se odnose na intenzitet saobraćajnih i pešačkih tokova, geometrijske uslove i SPP. Ovi podaci se koriste za proračun prosečnih vremenskih gubitaka za pešake prilikom čekanja na prelazak kolovoza.

U slučaju postojanja razdelnog ostrva, pešaci po pravilu prelaze kolovoz u dve faze. Odluku da li će razdelno ostrvo postojati donose inženjeri. Kada pešaci prelaze kolovoz u dve faze, vremenske gubitke bi trebalo računati odvojeno za svaku fazu posebno upotrebom procedure u koracima od 2 do 6. Za određivanje NU, vremenski gubici za svaku fazu služe za proračun ukupnih vremenskih gubitaka koji se odnose na čekanje na prelazak cele saobraćajnice.

Korak 2: Određivanje kritičnog intervala

Kritični interval je vreme ispod kojeg pešak neće pokušati da pređe kolovoz. Pešaci koriste svoje pravo da odrede da li je postojeći interval sleđenja između vozila dovoljno dug za njihov bezbedan prelazak kolovoza. Ako je taj interval duži od kritičnog, pešak će započeti prelazak, u suprotnom, pešak neće započeti prelazak kolovoza.

Za pojedinačnog pešaka, kritični interval se računa po formuli (4.1):

$$t_c = \frac{L}{S_p} + t_s \quad (4.1)$$

gde je:

t_c - kritični interval za pešaka (s)

S_p - prosečna brzina kretanja pešaka (ft¹/s)

L - dužina pešačke putanje (ft)

t_s - zaštitno vreme za pešaka pri prelasku kolovoza (s)

Prema preporukama HCM-a za prosečnu brzinu kretanja pešaka uzima se vrednost od 4 ft/s, odnosno 1,2 m/s, a za zaštitno vreme za pešaka pri prelasku kolovoza uzima se vrednost od 3 s. U slučaju postojanja plotuna pešaka, prostorna distribucija pešaka bi se računala po formuli (4.2a). Ako nema plotuna, prostorna distribucija pešaka bi imala vrednost 1.

$$N_p = \text{Int} \left[\frac{8.0(N_c - 1)}{W_c} \right] + 1 \quad (4.2a)$$

gde je:

N_p - prostorna distribucija pešaka (pešaka)

N_c - ukupan broj pešaka u plotunu (pešaka)

W_c - širina pešačkog prelaza (ft)

¹ 1ft=30,48 cm

8.0 - zaštitna zona za pešaka da izbegne ometanje od strane drugih pešaka koji prelaze kolovoz (ft).

Ukoliko se jednačina 4.2a prilagodi SI sistemu mernih jedinica (širina pešačkog prelaza i zaštitna zona za pešake izraženi u metrima (m)) , onda bi ona imala sledeći oblik:

$$N_p = Int \left[\frac{2.44 (N_c - 1)}{W_c} \right] + 1 \quad (4.2b)$$

Oznaka *Int* u formulama 4.2a i 4.2 b predstavlja oznaku za ceo broj. Da bi se izračunala prostorna distribucija pešaka, potrebno je dobiti podatak o veličini plotuna pešaka putem formule:

$$N_c = \frac{v_p \cdot e^{v_p \cdot t_c} + v \cdot e^{-v \cdot t_c}}{(v_p + v) \cdot e^{(v_p - v) \cdot t_c}} \quad (4.3)$$

gde je:

N_c - ukupan broj pešaka u plotunu (pešaka)

v_p - protok pešaka (pešaka/s)

v - protok vozila (vozila/s)

t_c - kritični interval za pešaka (s)

Kritični interval za grupu pešaka je određen formulom (4.4).

$$t_{c,G} = t_c + 2(N_p - 1) \quad (4.4)$$

gde je:

$t_{c,G}$ - kritični interval za grupu pešaka (s)

t_c - kritični interval za pešaka (s)

N_p - prostorna distribucija pešaka (pešaka)

Korak 3: Procena verovatnoće čekanja pešaka na prelazak kolovoza

Na osnovu proračuna kritičnog intervala, verovatnoća da pešak neće biti izložen čekanju jednaka je verovatnoći da će se pešak odmah nakon dolaska na raskrsnicu susresti sa intervalom dužim ili jednakim kritičnom. Uz pretpostavku da su dolasci vozila slučajni i jednaku distribuciju vozila u svim saobraćajnim trakama, verovatnoća pojave intervala koji premašuje kritični u bilo kojoj traci može biti procenjena Poasonovom raspodelom. Verovatnoća da interval u odgovarajućoj traci ne premašuje kritični interval (verovatnoća blokiranosti trake), prikazana je formulom (4.5). Pošto se saobraćaj u svim trakama odvija nezavisno, formula (4.6) pokazuje verovatnoću da će pešak čekati na prelazak kolovoza kad pristigne na raskrsnicu.

$$P_b = 1 - e^{-\frac{t_{c,G} \cdot v}{L}} \quad (4.5)$$

$$P_d = 1 - (1 - P_b)^L \quad (4.6)$$

gde je:

P_b - verovatnoća da je saobraćajna traka blokirana

P_d - verovatnoća čekanja na prelazak kolovoza

L - broj saobraćajnih traka koje pešak treba da pređe

$t_{c,G}$ - grupni kritični interval (s)

v - protok vozila (vozila/s)

Korak 4: Proračun prosečnog vremena čekanja na adekvatan interval

Istraživanja su pokazala da prosečni vremenski gubici za pešake na nesignalisanom pešačkom prelazu, uz pretpostavku da motorna vozila ne staju da propuste pešake i da je pešak prinuđen da čeka na adekvatan interval, zavise od veličine kritičnog intervala, rastojanja sleđenja vozila i veličine protoka vozila na razmatranom pešačkom prelazu. Prosečna dužina čekanja pešaka na adekvatan interval za prelazak kolovoza data je formulom (4.7).

$$d_g = \frac{1}{v} (e^{v \cdot t_{c,G}} - v \cdot t_{c,G} - 1) \quad (4.7)$$

gde je:

d_g - prosečni vremenski gubici pešaka na čekanje adekvatnog intervala (s)

$t_{c,G}$ - kritični interval za grupu pešaka (s)

v - protok vozila (vozila/s)

Prosečno vreme čekanja za bilo kojeg pešaka, koji nije u mogućnosti da pređe kolovoz odmah nakon pristizanja na raskrnicu, u funkciji je P_d i d_g kao što je prikazano formulom (4.8).

$$d_{gd} = \frac{d_g}{P_d} \quad (4.8)$$

gde je:

d_{gd} - prosečni vremenski gubici pešaka na čekanje da pređe kolovoz (s)

d_g - prosečni vremenski gubici pešaka na čekanje adekvatnog intervala (s)

P_d - verovatnoća čekanja na prelazak kolovoza

Korak 5: Procena smanjenja dužine čekanja zbog propuštanja pešaka od strane motornih vozila

Kada pešak stigne na pešački prelaz i naiđe na neadekvatan interval za prelazak kolovoza, on čeka sve dok se ne dogodi jedan od sledećih događaja:

- a) interval duži od kritičnog
- b) motorna vozila zastaju i propuštaju pešaka

Jednačina (4.7) procenjuje dužinu vremena čekanja pešaka kada se motorna vozila ne zaustavljaju da propuste pešake. Kada je SPP značajno iznad nule, pešaci će iskusiti značajno manje vremenske gubitke od onih procenjenih formulom (4.7).

SPP je uslovljen brojnim faktorima kao što su geometrija puta, brzina kretanja vozila, regulisanje saobraćaja na pešačkim prelazima, lokalna saobraćajna kultura, sprovođenje zakonskih propisa, itd. Zbog propuštanja od strane motornih vozila, pešaci imaju manje gubitke od d_g . Verovatnoća takve situacije javlja se kao funkcija protoka vozila, SPP-a i broja saobraćajnih traka na glavnom putu. Treba imati u vidu da pešaci čekaju priliku da pređu kolovoz, a rastojanje sleđenja između vozila u svakoj traci iznosi h . U proseku, potencijalno propuštanje pešaka desiće se na svakih h sekundi, gde $P(Y)$ predstavlja verovatnoću propuštanja vozila za dati slučaj. Pošto važi pretpostavka da su dolasci vozila slučajni, svako potencijalno propuštanje vozila

se smatra nezavisnim slučajem za sebe. Za bilo koji slučaj propuštanja, svaka saobraćajna traka je u jednom od dva navedena stanja:

1. prazna - nema vozila koja pristižu u okviru kritičnog intervala, ili
2. blokirana - vozilo stiže u okviru kritičnog intervala.

Pešak može preći kolovoz samo ako vozila u svakoj blokiranoj traci odluče da se zaustave i propuste pešaka. Ako ne, pešak mora čekati dodatnih h sekundi za sledeći slučaj propuštanja. U proseku, ovaj proces će se ponavljati sve dok čekanje ne dostigne vreme potrebno da se javi adekvatan interval za prelazak kolovoza koji ne zavisi od toga da li će vozilo stati da propusti pešaka ili ne d_{gd} .

Na ovaj način, prosečno vreme čekanja pešaka može se izračunati u jednačini (4.9), gde se prvi deo jednačine odnosi na očekivane gubitke kada se prelazak kolovoza događa uz propuštanje vozila, a drugi deo kada pešak čeka na adekvatan interval.

$$d_p = \sum_{i=1}^n h(i - 0.5) \cdot P(Y_i) + \left[P_d - \sum_{i=1}^n P(Y_i) \right] \cdot d_{gd} \quad (4.9)$$

gde je:

d_p - prosečni vremenski gubici (s)

i - slučaj prelaska kolovoza ($i=1 \div n$)

h - rastojanje sleđenja vozila za svaku saobraćajnu traku

$P(Y_i)$ - verovatnoća da će motorna vozila propustiti pešaka za događaj i

$n = \text{Int}(d_{gd}/h)$ prosečan broj potencijalnih prilika za prelazak kolovoza pre pojavljivanja adekvatnog intervala.

Jednačina (4.9) zahteva prethodno izračunavanje verovatnoće $P(Y_i)$. Verovatnoće $P(Y_i)$ da će vozila propustiti pešake za dati događaj razmatrane su u nastavku za pešačke prelaze sa jednom, dve, tri i četiri saobraćajne trake.

Jedna saobraćajna traka

Prema scenariju kada pešak prelazi jednu saobraćajnu traku, $P(Y_i)$ lako se nalazi. Kada je $i=1$, $P(Y_i)$ je jednaka verovatnoći čekanja P_d umnoženoj stepenom propuštanja pešaka, M_y . Za $i=2$, $P(Y_i)$ jednaka je M_y umnoženom verovatnoćom da će se propuštanje pešaka desiti u drugom slučaju (tj. pešak neće preći kolovoz

prvom prilikom kada je propuštanje moguće) $P_d(1-M_y)$. Jednačina (4.10) daje verovatnoće $P(Y_i)$ za svako i .

$$P(Y_i) = P_d M_y (1 - M_y)^{i-1} \quad (4.10)$$

gde je:

M_y - stepen propuštanja pešaka (decimalan broj)

i - slučaj prelaska kolovoza ($i=1 \div n$)

Dve saobraćajne trake

Za dve saobraćajne trake na glavnom putu površinske prioritetne raskrsnice, $P(Y_i)$ predviđa ili (a) motorna vozila istovremeno propuštaju pešake ako su obe trake blokirane, ili (b) vozila u jednoj traci se zaustavljaju da propuste pešake (jedna traka blokirana). Pošto su ovi slučajevi međusobno nezavisni, kada je $i=1$, $P(Y_i)$ je iskazana jednačinom (4.11).

$$P(Y_i) = 2P_b(1 - P_b)M_y + P_b^2M_y^2 \quad (4.11)$$

Jednačina (4.12) pokazuje $P(Y_i)$ gde je i veće od 1. Jednačina (4.12) je ekvivalentna jednačini (4.11) ako je $P(Y_0)$ jednaka 0.

$$P(Y_i) = \left[P_d - \sum_{j=0}^{i-1} P(Y_j) \right] \cdot \left[\frac{(2P_b(1 - P_b)M_y) + (P_b^2M_y^2)}{P_d} \right] \quad (4.12)$$

Tri saobraćajne trake

Proračun za tri saobraćajne trake sledi iste principe kao proračun za dve saobraćajne trake. Jednačina (4.13) pokazuje proračun verovatnoća $P(Y_i)$:

$$P(Y_i) = \left[P_d - \sum_{j=0}^{i-1} P(Y_j) \right] \cdot \left[\frac{P_b^3M_y^3 + 3P_b^2(1 - P_b)M_y^2 + 3P_b(1 - P_b)^2M_y}{P_d} \right] \quad (4.13)$$

gde je $P(Y_0)=0$.

Četiri saobraćajne trake

Proračun za četiri saobraćajne trake sledi iste principe koji su prethodno navedeni. Jednačina (4.14) pokazuje proračun verovatnoća $P(Y_i)$:

$$P(Y_i) = \left[P_d - \sum_{j=0}^{i-1} P(Y_j) \right] \cdot \left[\frac{P_b^4 M_y^4 + 4P_b^3 (1 - P_b) M_y^3 + 6P_b^2 (1 - P_b)^2 M_y^2 + 4P_b (1 - P_b^3) M_y}{P_d} \right] \quad (4.14)$$

gde je $P(Y_0)=0$.

Korak 6: Proračun prosečnih vremenskih gubitaka i određivanje nivoa usluge

Tabela 4.4. pokazuje kriterijume za određene klase NU za pešake na pešačkim prelazima površinskih prioritetnih raskrsnica bazirane na vremenima čekanja, kao i opise uslova tokova pešaka. Vremenski gubici na prioritetnim raskrsnicama sa dve faze prelaska kolovoza jednaki su sumi gubitaka za svaku fazu prelaska posebno.

Tabela 4.4: Nivo usluge prema vremenu čekanja na prelazak kolovoza

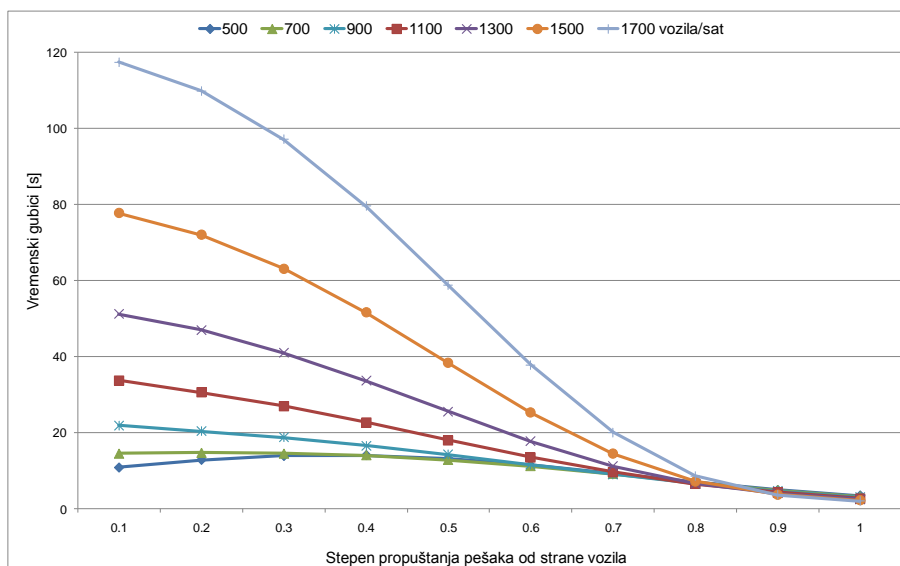
NIVO USLUGE	VREMENSKI GUBICI (s/pešaku)	KOMENTARI
A	0-5	nema konfliktnog saobraćaja
B	5-10	povremeni gubici za pešake zbog konfliktnog saobraćaja
C	10-20	gubici značajni, ali podnošljivi
D	20-30	gubici značajni i iritirajući, povećan rizik u ponašanju pešaka
E	30-45	gubici dostižu nivo tolerancije, rizično ponašanje pešaka verovatno
F	>45	gubici prelaze nivo tolerancije, velika verovatnoća rizičnog ponašanja pešaka

4.3. Uticaj SPP-a na nivo usluge pešaka na nesignalisanim prelazima

Prilikom proračuna vremenskih gubitaka za pešake, HCM 2010 daje preporuke za usvajanje SPP-a samo u zavisnosti od toga da li je pešački prelaz vidno obeležen ili ne: SPP u tim slučajevima uzima jednu od preporučenih vredosti: 0,5 ili 0. S obzirom na to da ovaj parametar teorijski može da ima bilo koju vrednost od 0 do 1, na hipotetičkom primeru će biti pokazano kako različite vrednosti SPP imaju uticaj na krajnji rezultat proračuna, odnosno prosečne vremenske gubitke pešaka i odgovarajuću klasu NU. Da bi se prikazao uticaj ovog parametra na vremenske gubitke izvršena je analiza na osnovu pretpostavljenih vrednosti ovog parametra u situaciji kada su svi drugi uticajni parametri konstantni. Pod pretpostavkom da je uticaj SPP na krajnji rezultat izraženiji kod većeg protoka vozila na pešačkom prelazu, u obzir je uzeto nekoliko različitih vrednosti protoka koji su korišteni u proračunu za vremenske gubitke pešaka.

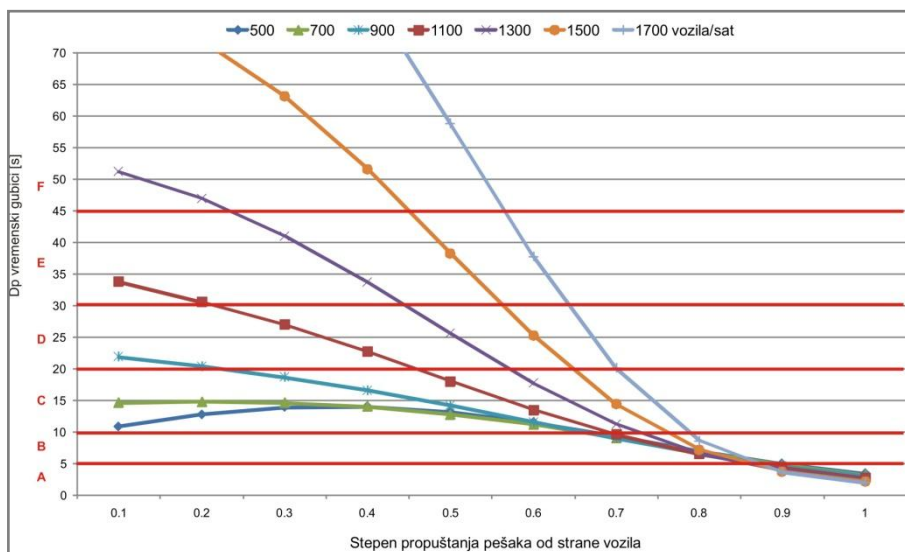
Kao hipotetički primer uzet je nesignalisani obeleženi pešački prelaz ukupne dužine $L=6$ m, sa dve saobraćajne strake ($I=2$), sa dvosmernim kretanjem vozila, bez razdelnog ostrva, na kome u vršnom času prođe od 500 do 1 700 vozila/h. Za prosečnu brzinu kretanja pešaka uzeto je da je $S_p=1,2$ m/s, pod pretpostavkom da nema plotunskog kretanja pešaka ($N_p=1$). Početno vreme pešaka (t_s) je 3 s. Prema postupku prikazanom u Poglavlju 4.2, izračunati su prosečni vremenski gubici za sedam različitih scenarija u zavisnosti od protoka vozila na pešačkom prelazu.

Rezultati analize pokazali su da postoje velike u razlike u izračunatim vremenskim gubicima pešaka u zavisnosti od toga koji SPP se uzme u obzir u proračunu. Zavisnost postaje očiglednija na pešačkim prelazima sa većim protokom vozila (veći od 1000 vozila/h) (Slika 4.6).



Slika 4.6: Zavisnost vremenskih gubitaka pešaka od protoka vozila i SPP-a

Značaj stvarne vrednosti SPP-a prilikom proračuna vremenskih gubitaka, još više može se uočiti ako se prethodna slika prikaže samo za opsege vrednosti vremenskih gubitaka koji su značajni za određivanje klase NU, tj. od 0 do 45 s. U zavisnosti od toga koji je SPP izabran u proračunu vremenskih gubitaka, NU može da varira za nekoliko klasa (Slika 4.7).



Slika 4.7: Zavisnost klasa NU od protoka vozila i SPP-a

Ukoliko se, na primer, određivanje klase NU radi za pešački prelaz sa protokom od 1500 vozila/h, izračunati vremenski gubici sa preporučenom vrednošću SPP-a (koja je za obeležene prelaze $M_{HCM}=0,5$) iznose 38,3 s/pešaku. Prema kriterijumima, klasa NU za taj pešački prelaz je „E“, prema kojoj vremenski gubici dostižu nivo tolerancije pešaka i verovatno će doći do rizičnog ponašanja pešaka

prilikom prelaska kolovoza. Međutim, ukoliko je izmereni SPP na pešačkom prelazu $M_{y_{izm}}=0,7$, onda se dobijaju dosta manji vremenski gubici koji iznose 14,4 s/pešaku. Prema kriterijumima određivanja NU, ovo je NU klase „C“, prema kojoj su gubici na prelazu značajni, ali podnošljivi za pešaka. Situacija može biti i suprotna, odnosno da se za stvarnu, tj. izmerenu vrednost SPP dobije lošiji NU.

S obzirom na to da se NU koristi u planskoj i operativnoj analizi pešačkih prelaza na putnoj mreži kao jedan od glavnih kriterijuma za određivanje uslova odvijanja saobraćaja, veoma je značajno poznavati prave vrednosti parametara koji ulaze u proračun vremenskih gubitaka. U slučaju kada se u proračunu koriste preporučene vrednosti parametra, pre svega SPP-a, dobijaju se nerealne vrednosti vremenskih gubitaka pešaka, odnosno različite klase NU, koje ne odgovaraju stvarnim uslovima odvijanja saobraćaja.

5. ANALIZA POSTOJEĆIH ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju biće dati rezultati najvažnijih istraživanja parametara koji ulaze u proračun NU pešačkih tokova na nesignalisanim raskrsnicama i pešačkim prelazima. U skladu sa polaznim hipotezama istraživanja, kao i samom temom doktorske disertacije, izdvojena su dva parametra: stepen propuštanja pešaka od strane motornih vozila (SPP) i prihvatljivi pešački intervali za prelazak preko pešačkog prelaza. Pregled literature iz ove oblasti pokazuje da je najveći broj istraživanja izvršen na području Severne Amerike i Azije, dok se izuzetno mali broj autora sa područja Evrope bavio ovom problematikom.

5.1. Propuštanje pešaka od strane vozila na nesignalisanim pešačkim prelazima

Propuštanje pešaka od strane motornih vozila je jedna od primarnih mera efikasnosti na nesignalisanim pešačkim prelazima. Vrednost ovog parametra se obično izražava u vrednostima koje se kreću od 0 do 1, ali se u literaturi, naročito sa područja SAD-a, ovaj parametar izražava u procentima, tj. od 0 do 100%. Vrednost stepena od 0,25 odnosno 25%, znači da je samo jedan vozač od četiri vozila koja su mogla da stanu zapravo stao i propustio pešake. U slučaju postojanja razdelnog ostrva, SPP se računa posebno za svaki smer kretanja vozila, a nakon toga i za celi pešački prelaz. Ukoliko se utvrdi da ne postoji značajna razlika između smerova kretanja vozila, onda se u budućim analizama dalje koristi SPP za tu lokaciju, tj. za oba pešačka prelaza.

Istraživanja su pokazala da na ovaj parametar saobraćajnog toka utiče pre svega tip pešačkog prelaza, kao i broj saobraćajnih traka i ograničenje brzine kretanja vozila. U najopsežnijem istraživanju koje se bavilo ovom tematikom čiji je cilj

bilo unapređenje bezbednosti pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima, a koje je objavio TRB (Fitzpatrick i dr., 2006), izvršena je analiza karakteristika ulične mreže i uslova odvijanja saobraćaja (ograničenje brzine, broj saobraćajnih traka, protok vozila) i njihov uticaj na ponašanje vozača i propuštanje pešaka na nesignalisanim raskrsnicama. Procena efikasnosti prilikom prelaska na pešačkim prelazima izvršna je na 42 lokacije u 7 saveznih američkih država.

Na svakoj lokaciji su postavljene video kamere koje su omogućile konstantno snimanje i praćenje ponašanja vozača i pešaka. Prednost video zapisa u ovakvim istraživanjima je ta što se prilikom obrade podataka prelasci pešaka mogu bezbroj puta pregledati kako bi se dobile informacije neophodne za dalju analizu.

Tabela 5.1: Podela pešačkih prelaza na kategorije u zavisnosti od tehničke opremljenosti

Tip pešačkog prelaza u zavisnosti od tehničke opremljenosti	Naziv (eng)	Skraćenica (eng)	Naziv (srpski)
TIP1: Svetlosni signali (Red signal or beacon)	Midblock Signal	Msig	Svetlosni signal na izdvojenom pešačkom prelazu
	Half Signal	Half	Svetlosni signal na prioritetnom pravcu raskrsnice (crveno, žuto i zeleno svetlo za vozila)
	High-intensity Activated cross Walk beacon	Hawk	Svetlosni signal na raskrsnici (crveno i žuto svetlo za vozila)
TIP 2: Signali koji su aktivni u prisustvu pešaka (Active when present)	Pedestrian crossing flags	Flag	Zastave pored pešačkog prelaza
	Overhead Flashing Beacons (pushbutton activation)	OfPb	Upozoravajući signali (treptači) sa aktiviranjem na dugme
	Overhead Flashing Beacons (passive activation)	OfPa	Upozoravajući signali (treptači) sa pasivnim aktiviranjem
TIP 3: Unapređene i dobro vidljive oznake i znakovi na kolovozu (Enhanced and/or "High-Visibility" devices)	In-street crossing signs	InSt	Saobraćajni znaci na/pored kolovoza i na razdelnom ostrvu
	Median Refuge Island	Refu	Razdelno ostrvo
	High visibility signs and markings	Hi-Vi	Dobro vidljivi znaci i oznake na kolovozu

Prilikom istraživanja korišćena su dva pristupa: pristup sa tzv. postavljenim pešacima (eng. **Staged Pedestrian**) gde su pešaci koji su prelazili kolovoz bili deo istraživačkog tima, i drugi pristup koji je podrazumevao analizu ponašanja pešaka iz celokupne populacije (eng. **General Population**) gde su snimani aktuelni pešaci prilikom prelaska kolovoza. Stalno prisustvo pešaka, njihov stav, ponašanje i namera da izvrše prelazak uticali su na odluku vozača da li da stanu i propuste pešake u njihovoj nameri prelaska. Na primer, u slučajevima kada pešaci stoje nekoliko metara

od ivične linije, vozači mnogo manje staju da bi propustili pešake, jer stiču utisak da pešaci stoje pored kolovoza, a ne da imaju nameru da ga pređu.

Dobijeni rezultati su grupisani u tri osnovne kategorije u zavisnosti od tehničke opremljenosti svakog prelaza, tj. tipa pešačkog prelaza kojim je definisan postupak prelaska pešaka: svetlosni signali, signali koji su aktivni u prisustvu pešaka i unapređene i dobro vidljive oznake i znaci na pešačkom prelazu. U Tabeli 5.1 su dati stručni nazivi i skraćenice na engleskom jeziku koji su korišćeni za tabelarni i grafički prikaz podataka u nastavku.

Tabele 5.2 i 5.3 prikazuju izmeren SPP, kao i srednje vrednosti, za oba pristupa koja su se koristila prilikom snimanja prelaska, uključujući i uporednu analizu sa podacima iz literature za slučajeve gde su takvi podaci bili dostupni.

Tabela 5.2. Uporedni prikaz SPP-a u zavisnosti od tipa prešačkog prelaza - svetlosni signali (TIP 1) i signali koji su aktivni u prisustvu pešaka (TIP 2) (Fitzpatrick i dr., 2006)

Tehnička opremljenost prelaza	Istraživanje (Fitzpatrick i dr., 2006)						Ostala istraživanja		
	Postavljeni pešaci			Celokupna populacija			Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]
	Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]	Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]			
Svetlosni signali									
Msig	2	97-100	99	4	91-98	95	NP	NP	NP
Half	6	94-100	97	6	96-100	98	1	99	99
Hawk	5	94-100	97	5	98-100	99	1	93	93
Signali koji su aktivni u prisustvu pešaka									
OfPb	3	29-73	47	4	49	49	10	13-91	66
OfPa	3	25-43	31	3	67	67	NP	NP	74
Flag	6	46-79	65	4	74	74	NP	NP	NP

*NP - podaci nisu prikupljeni ili nisu dostupni u postojećoj literaturi

Iz priloženih rezultata može se zaključiti da je SPP za oba pristupa približno isti za većinu pešačkih prelaza, bez obzira na tip pešačkog prelaza. Na jednoj lokaciji istraživački tim je zabeležio da je veliki broj pešaka prelazio pešački prelaz u grupi. Na taj način se i može objasniti veći SPP, jer vozači radije propuštaju grupu, nego pojedince. Takođe, veće grupe pešaka su samouverenije i pre se odlučuju na prelazak nego pojedinci.

Pešački prelazi sa svetlosnim signalima (TIP 1) su dali izuzetno dobre rezultate, sa SPP-om od preko 94%. Istraživački tim je zaključio da su prelazi sa ovako regulisanim načinom prelaska efikasni zbog toga što šalju jasnu poruku vozačima (crveni signal znači STOP), tako da oni moraju da stanu kako bi propustili pešake.

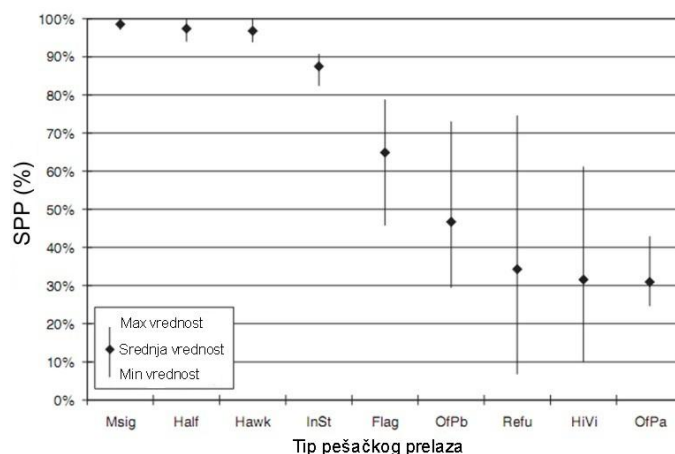
Tabela 5.3. Uporedni prikaz SPP-a u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza - unapređene i dobro vidljive oznake i znakovi na kolovozu (TIP 3) (Fitzpatrick i dr., 2006)

Tehnička opremljenost prelaza	Istraživanje (Fitzpatrick, et al., 2006)						Ostala istraživanja		
	Postavljeni pešaci			Celokupna populacija			Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]
	Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]	Broj lokacija	Raspon [%]	Prosek [%]			
Unapređene i dobro vidljive oznake i znakovi na kolovozu									
InSt (40-48 km/h)	3	82-91	87	3	84-97	90	7	44-97	77
Hi-Vi (55 km/h)	2	10-24	17	2	4-35	20	NP	NP	NP
Hi-Vi (40 km/h)	1	61	61	1	91	91	1	52	52
Refu	6	7-75	34	7	7-54	29	NP	NP	NP

*NP - podaci nisu prikupljeni ili nisu dostupni u postojećoj literaturi

Prelazi sa postavljenim zastavama (TIP 2 - Flag) i saobraćajnim znakovima na/pored kolovoza i na razdelnom ostrvu (TIP 3 - InSt) takođe su dali dobre rezultate, jer je SPP iznosio 65%, odnosno 87%, respektivno. Sugerisano je da vozači radije propuštaju pešake na prelazima koje se nalaze na uskim saobraćajnicama, na kojima nije veliki intenzitet saobraćaja, i gde su dozvoljene brzine niže. Ovo je potvrđeno i rezultatima koji su dobijeni za pešačke prelaze koji su vidljivo obeleženi (TIP 3 - Hi-Vi). Naime, na ulicama sa ograničenjem od 55 km/h prosečna vrednost SPP-a je bila 17%; međutim, na delovima ulične mreže gdje je ograničenje brzine bilo manje i iznosilo 40 km/h, izmerena vrednost SPP-a je iznosila čak 61%.

Izmereni SPP varirao je u širokom rasponu, naročito u okviru kategorije tipa pešačkog prelaza. Istraživački tim je zaključio da su posledice toga drugi faktori koji mogu uticati na SPP, kao što su: obim saobraćaja, širina kolovoza, ulično okruženje itd. Iako srednja vrednost SPP-a može biti veća za neke vrste pešačkih prelaza, njegov širok interval ne znači da je jedan tip prelaza statistički mnogo efikasniji nego ostali tipovi.

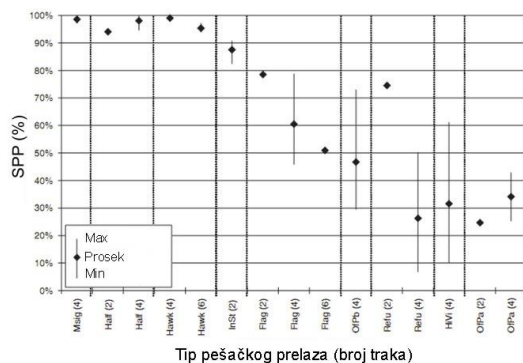


Slika 5.1 Raspon i prosečan SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza (Fitzpatrick i dr., 2006)

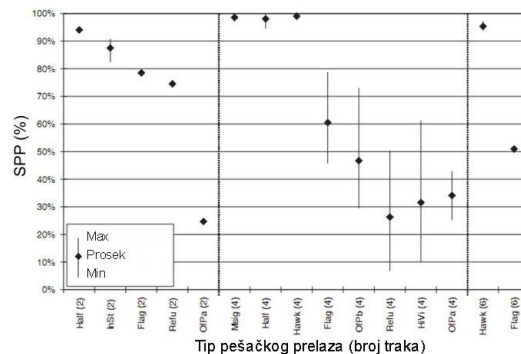
Rezultati statističke analize su pokazali da su tri različita uređaja koja su svrstana u kategoriju TIP 3 (Msig, Half i Hawk) imala statistički slične srednje vrednosti SPP-a (preko 97%). (Slika 5.1).

Sprovedena je kvalitativna i statistička analiza kovarijance kako bi se otkrilo koji faktori najviše utiču na širok interval izmerenog stepena, a najznačajniji rezultati su:

Uticao broj saobraćajnih traka: U prvoj kategoriji pešačkih prelaza sa svetlosnim signalima TIP 1 ne postoji značajna razlika u izmerenom SPP-u u zavisnosti od broja saobraćajnih traka. U okviru istraživanja, svetlosni signali su bili postavljeni na prelaze sa dve, četiri i šest saobraćajnih traka, a bez obzira na broj traka izmerena vrednost SPP-a je iznosila preko 94%. Međutim, kod pešačkih prelaza sa razdelnim ostrvom (TIP 3 - Refu) može se uočiti značajnija razlika u zavisnosti od broja traka (Slika 5.2a). Slika 5.2b prikazuje pregrupisane podatke, gde su sada vrednosti izmerenog SPP-a grupisane po broju saobraćajnih traka. Kao što se vidi na slici, na uličnoj mreži sa četiri saobraćajne trake najbolji rezultati izmereni su kod pešačkih prelaza TIP 1. U slučaju dve saobraćajne trake, skoro svi tipovi prelaza imaju SPP preko 60%.



a) Grupisano po tipu prelaza

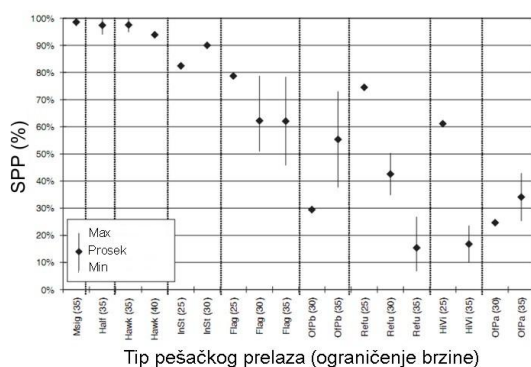


b) Grupisano po broju traka

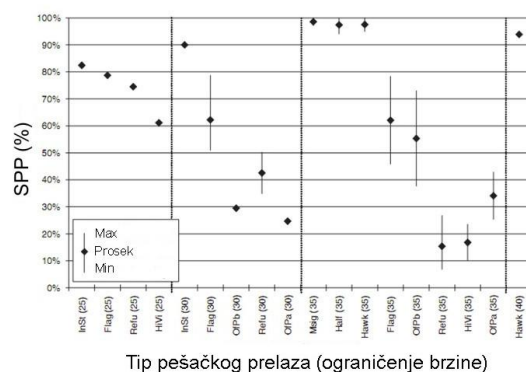
Slika 5.2: SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza i broja saobraćajnih traka (Fitzpatrick i dr., 2006)

Efekat ograničenja brzine: Na pešačkim prelazima TIP 2 (OfPb i OfPa) i TIP 3 (InSt) uočena je razlika u SPP-u između ograničenja od 48 km/h (30 mph) i 55 km/h (35 mph), tako što je na lokacijama sa većom ograničenom brzinom i SPP bio veći. Na svim ostalim tipovima pešačkih prelaza uočeno je smanjenje SPP-a ukoliko se ograničena brzina povećavala, gde se posebno velika razlika može uočiti kod prelaza TIP 3 (Refu i Hi-Vi).

Kada su podaci grupisani po brzinama (Slika 5.3b), za 55 km/h (35 mph) najefikasniji su takođe uređaji sa prelazima TIP 1 (preko 95%), zatim TIP 2 (Flag) (63%), a najmanji SPP od 8% je bio kod prelaza TIP 3 (Refu). Pri ograničenju brzine od 40 km/h (25 mph) svi uređaji su pokazali visoku vrednost izmerenog SPP-a (preko 60%).



a) Grupisano po tipu prelaza



b) Grupisano po ograničenju brzine

Slika 5.3: Stepen propuštanja pešaka u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza i ograničene brzine kretanja (Fitzpatrick i dr., 2006)

Brzina vozila koja je merena na nesignalisanim prelazima na dve kružne raskrsnice u državi Merilend (SAD) takođe je pokazala veoma visoku statističku povezanost sa SPP-om: kako je opadala brzina vozila, tako se povećao broj vozila koja su propuštala pešaka, i obrnuto. Pri najmanjim brzinama (15 mph) SPP je iznosio prosečno oko 75%, a pri brzinama većim od 20 mph, SPP je iznosio oko 50% (Geruschat i Hassan, 2005). Kod kružnih raskrnica je u nekoliko istraživanja dokazano da je veća verovatnoća da će vozači propustiti pešaka na ulazu, nego na izlazu iz raskrnice (Ashmead i dr., 2005; Geruschat i Hassan, 2005; Rodegerts i dr., 2007).

U istraživanju izvršenom u Republici Trinidad i Tobago urađena je evaluacija nesignalisanih pešačkih prelaza na 22 lokacije (Mutabazi, 2008). Zabeleženo je ponašanje 1630 vozača, koji su tokom analize grupisani u tri kategorije: zaustavili su se da propuste pešake na prelazu, usporili su da bi propustili pešake ili se uopšte nisu zaustavili niti usporili. Sva vozila podeljena su po veličini u tri grupe (mala, srednja, velika), a prilikom prelaska pešaka preko kolovoza evidentiran je i njihov smer prelaska. Jedan od ciljeva istraživanja je bio i to da se utvrdi na koji način je moguće povećati procenat vozila koja propuštaju pešake, pa su u tu svrhu analizirani pešački prelazi sa i bez svetlećih signala (tzv. treptača) koji ukazuju vozilima da nailaze na pešački prelaz. Kao što se vidi iz Tabele 5.4, prisustvo svetlećih signala na pešačkom prelazu uticalo je na povećanje procenta vozila koja su se zaustavila ili usporila kako bi propustila pešake. Prilikom analize u obzir je uzeta i pozicija pešaka dok čeka prelazak, gde je uočeno da veći broj vozila propušta pešake ukoliko se oni nalaze na strani kolovoza koja je bliža smeru putanje vozila. Takođe, manja vozila su više propuštala pešake, u odnosu na srednja i velika vozila.

Tabela 5.4: Efekat svetlećih signala, pozicije pešaka i veličine vozila na SPP

	VOZILA SU SE ZAUSTAVILA [%]	VOZILA SU SE ZAUSTAVILA ILI USPORILA [%]
Svetleći signal		
Uključen (n=909)	22,1	83,5
Isključen (n=721)	4,4	75,1
Pozicija pešaka		
Bliža putanji vozila (n=751)	23,6	84,4
Dalja od putanje vozila (n=879)	6,4	75,9
Veličina vozila		
Mala	15,6	76,4
Srednja	12,1	81,0
Velika	5,2	88,3

Iako su rezultati istraživanja (Mutabazi, 2008) pokazali da manja vozila, tj. putnički automobili, više propuštaju pešake, pojedina istraživanja dokazala su suprotno. Istraživanje koje je sprovedla grupa autora (Sun i dr., 2003) definisalo je tri klase vozila: putnički automobili, laka i srednja teretna vozila i teška teretna vozila i

autobuse. Dobijena verovatnoća propuštanja pešaka u periodu vršnog sata je iznosila 0,10, 0,13 i 0,23, respektivno za sve tri klase. To znači da su automobili najmanje propuštali pešake, u odnosu na ostale dve klase. Objašnjenje se nalazi u činjenici da su veliki procenat vozila treće klase činila vozila javnog prevoza, čiji vozači moraju striktno da poštuju saobraćajna pravila, koja se pre svega odnose na propuštanje pešaka na pešačkom prelazu. Pored strukture saobraćajnog toka, značajnu povezanost sa SPP je pokazalo i kretanje vozila u kolonama, tzv. plotunsko kretanje, čijom se pojavom značajno smanjuje procenat vozila koja se zaustavljaju na pešačkom (Schroeder i Roupail, 2011).

Karakteristike pešaka i njihovo ponašanje prilikom prelaska imaju uticaj na donošenje odluke vozača da li će ih propustiti. Naime, SPP je usko povezan sa samopouzdanjem pešaka, kao i sa svetlom bojom odeće koju pešak nosi, što je rezultat istraživanja koje je sproveo Harrel (1993). Naime, uočeno je da je mnogo veća verovatnoća da će vozači da se zaustave i propuste pešake koji su agresivniji i koji svojim nastupom stavljaju do znanja vozačima da žele da pređu kolovoz, u odnosu na pasivne pešake koji stoje na trotoaru. Takođe, veća verovatnoća za propuštanje pešaka javlja se u slučaju kada pešaci nose odeću svetle boje, u odnosu na tamnu. Položaj pešaka i njegova udaljenost od ivične linije utiče na vidljivost pešaka vozačima, a samim tim na odluku o propuštanju. Naime, ukoliko je pešak udaljeniji od ivice kolovoza prilikom čekanja na prelazak time se stvara manja verovatnoća da se vozači zaustaviti i propustiti pešaka (Geruschat i Hassan, 2005). Na vidljivost, odnosno uočljivost pešaka, utiče i to da li pešak prelazi kolovoz individualno, kao pojedinac, ili u grupi. Dokazano je da sa povećanjem broja pešaka u grupi koji čekaju na prelazak, raste i verovatnoća propuštanja pešaka. Naime, ukoliko su u grupi najmanje tri pešaka, verovatnoća da će se vozilo zaustaviti je duplo veća u odnosu na situaciju kada je na prelazu samo jedan pešak (Sun i dr., 2003). Isto istraživanje je pokazalo da i karakteristike pešaka, kao što su pol i starosna kategorija utiču na SPP, pa tako stariji vozači češće propuštaju pešake u odnosu na mlađe vozače, a ista zakonitost je uočena i za žene vozače, u odnosu na muškarce.

U regionu jugoistočne Evrope ne postoje istraživanja koja su vršena za potrebe određivanja NU pešačkih tokova na nesignalisanim raskrscima, kao ni preporuke za vrednost parametara koji se pojavljuju u postupku proračuna. Istraživanja u svetu iz ove oblasti takođe su malobrojna, jer je tek u HCM-u 2010 prezentovan metod za određivanje NU na pešačkim prelazima u kome se kao jedan od parametara pojavljuje SPP. Određivanje ovog parametara prilikom proračuna vremenskih gubitaka i određivanja NU se oslanja na preporuke dobijene na osnovu prethodnih istraživanja, uglavnom iz SAD-a (Fitzpatrick i dr., 2006; Shurbutt i dr., 2008; Turner i dr., 2006). Naime, HCM 2010 je na osnovu inženjerskih istraživanja dao preporuke za vrednosti SPP-a, u smislu da za neobeležene pešačke prelaze

treba usvojiti vrednost 0, a za jasno obeležene pešačke prelaze 0.5. U Tabeli 5.5 je dat pregled utvrđenih vrednosti za SPP u zavisnosti od tipa pešačkog prelaza na osnovu koga je HCM 2010 dao preporuke za vrednost parametra SPP-a (HCM, 2010).

Tabela 5.5. Uticaj tipa pešačkog prelaza na SPP-a

Tip pešačkog prelaza	Eksperimentalni uslovi odvijanja saobraćaja		Realni uslovi odvijanja saobraćaja	
	Broj lokacija	SSP	Broj lokacija	SPP
Upozoravajući signali nad kolovozom (taster za aktiviranje)	3	0.47	4	0.49
Upozoravajući signali nad kolovozom (pasivno aktiviranje)	3	0.31	3	0.67
Zastave pored pešačkog prelaza	6	0.65	4	0.74
Saobraćajni znak za pešački prelaz (40 - 50 km/h)	3	0.87	3	0.90
Dobro vidljive oznake na kolovozu (55 km/h)	2	0.17	2	0.20
Dobro vidljive oznake na kolovozu (40 km/h)	1	0.61	1	0.91
Pravougaoni upozoravajući signal pored kolovoza	N/A	N/A	17	0.81

Rezultati ovih istraživanja, i preporuke proistekle iz njih, ne mogu se bez rezerve primeniti na proračune koji se rade u različitim uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja. Prethodna istraživanja (Mitrović Simić i dr., 2014; Mitrović i Srdić, 2013, Mitrović Simić i Bogdanović, 2015) su pokazala da je vrednost SPP-a u regionu jugoistočne Evrope značajno drugačija od vrednosti ovog parametra koja se preporučuje prema metodi HCM 2010. U slučaju kada se u proračunu koriste vrednosti parametra SPP-a iz HCM 2010, dobijaju se nerealne vrednosti vremenskih gubitaka pešaka, odnosno različite klase NU.

U pogledu izrade modela, sva dosadašnja istraživanja SPP-a bila su usmerena u cilju izrade probablističkih modela, odnosno određivanjem verovatnoće zaustavljanja vozila na pešačkom prelazu u zavisnosti od promenljivih vezanih za karakteristike vozila, pešaka i uslova odvijanja saobraćaja (Mutabazi, 2008; Sun i dr., 2003; Salamati i dr., 2013; Schroeder i Roupail, 2011).

U radu grupe autora (Mutabazi, 2008) izvršena je multivarijantna analiza kako bi se utvrdila verovatnoća SPP-a u zavisnosti od promenljivih koje su evidentirane prilikom obrade podataka. Korišćena je logistička regresiona analiza sa jednom zavisnom promenljivom (SPP) i dve nezavisne promenljive koje su se pokazale statistički značajnim: postojanje svetlećih signala i pozicija pešaka. U radu autora Salamati i dr. (2012) formiran je model za kružne raskrsnice u kome su se kao najznačajnije promenljive izdvojile brzina vozila i pozicija vozila u saobraćajnoj traci, dok je logistički model autora Schroeder i Roupail (2011) uključivao veći broj promenljivih svrstanih u nekoliko kategorija: geometrija pešačkog prelaza, ponašanje

pešaka, ponašanje vozača i dinamika vozila. U modelu nastalom iz rezultata istraživanja [Sun i dr. \(2003\)](#) verovatnoća propuštanja pešaka je računata na osnovu promenljivih koje su podrazumevale karakteristike vozača (pol i starosna kategorija), kategoriju vozila, kao i broj pešaka u grupi koja čeka na pešačkom prelazu.

U dostupnoj literaturi ne postoje istraživanja koja su se bavila problemom izrade modela za vrednosti SPP, dok je tema izbora uticajnih promenljivih koje utiču na SPP bila predmet velikog broja istraživanja, ali uglavnom na području SAD. Čak i u slučaju postojanja takvih modela morala bi se izvršiti njihova kalibracija kako bi se oni prilagodili lokalnim uslovima na prostorima jugoistočne Evrope. Sve ovo su bili razlozi za istraživanje u cilju formiranja jedinstvenog matematičkog modela za izračunavanje SPP-a koji bi u obzir uzimao rezultate lokalnih merenja, jer bi se na taj način vrednovao uticaj specifičnosti lokalne sredine i karakteristika saobraćajnog toka.

Veliki broj autora se u dosadašnjim istraživanjima bavio metodama povećanja SPP na pešačkim prelazima u cilju povećanja NU pešačkih tokova. Većina istraživanja je sprovedena na području SAD-a ([Van Winkle i Neal, 2002](#); [WWT, 1998](#); [Huang i dr., 1999](#); [Van Houten i Malenfant, 2001](#); [FHWA, 2010](#)), gde je izvršena evaluacija primene različitih tehničkih mera, od kojih su najveći uticaj na povećanje SPP-a imali svetleći signali postavljeni iznad kolovoza.

5.2. Prihvatljivi intervali pešaka za prelazak kolovoza

Prelazak pešaka preko kolovoza zavisi od velikog broja faktora koji utiču na njihovu odluku i način prelaska (starost i pol pešaka, ponašanje vozača, karakteristike vozila, geometrija puta, izgrađeno ulično okruženje itd.). Baze podataka o faktorima koji utiču na ponašanje pešaka se formiraju na osnovu video zapisa odvijanja saobraćaja, a često se koriste i eksperimenti sprovedeni u kontrolisanim laboratorijskim uslovima. Posebna pažnja je usmerena na vremensko rastojanje između nailazećeg vozila i pešaka. Prelazak pešaka preko kolovoza obuhvata njegovu odluku da li da prihvati određeni interval između nadolazećih vozila u saobraćajnom toku. Za svaki interval između vozila koji naiđe, pešak mora da donese odluku „da“ ili „ne“, odnosno da ponuđeni interval prihvati ili odbije. Ova odluka daje prihvatljivim intervalima pešaka jedinstven skup uslova koji se mogu koristiti u statističkoj analizi i analizi ponašanja pešaka. Faktori iz formiranih baza podataka predstavljaju zavisne ili nezavisne promenljive koje se uz pomoć statističkih alata koriste za procenu uticaja na odluku pešaka. Na takav način se formiraju odgovarajući modeli kojima se procenjuje verovatnoća prihvatljivog interval prelaska. Za procenu prihvaćenih i odbijenih intervala najčešće se koristi logistička (logit) kriva i ona u stvari predstavlja verovatnoću prihvatanja intervala određene dužine. Na ovaj način za određeni procenat pešačke populacije može se odrediti prihvatljivi pešački interval.

Da bi se predstavile osnove karakteristike prihvatljivih intervala, potrebno je pre svega upoznati se sa pojmovima i razlikovati nekoliko vrsta intervala na koje se nailazi u literaturi ([HCM,2010](#); [MUTCD, 2012](#)). Postoje intervali koji su definisani u odnosu na karakteristike lokacije (u daljem tekstu to su odgovarajući (eng: **adequate**) i kritični (eng: **critical**) intervali), kao i intervali koji zavise od uslova prisutnih u trenutku kada pešak pokušava da izvrši prelazak preko pešačkog prelaza (u daljem tekstu to su raspoloživi (eng: **available**), prihvatljivi (eng: **accepted**) i odbačeni (eng: **rejected**) interval).

Raspoloživi interval je interval koji je dostupan pešaku i predstavlja trenutno vremensko rastojanje između pešaka koji stupa na kolovoz i vozila koje nailazi. Ovaj vremenski interval se koristi kao uporedni kriterijum za odluku pešaka da li će prihvatiti interval ili ne.

Ako pešak prihvati raspoloživi interval, tj. pređe kolovoz u toku tog intervala, onda on postaje prihvatljivi interval. U suprotnom slučaju, raspoloživi interval postaje odbačeni interval. Odgovarajući interval ili kritični interval za svaku lokaciju se određuje tako što se udaljenost koju pešak treba da pređe podeli sa brzinom pešaka, i na tu vrednost se doda odgovarajuće početno vreme. Međutim, treba naglasiti da dok se u proračunu koristi aproksimativna brzina kretanja pešaka, stvarna brzina

svakog pešaka će se razlikovati, što u stvari najviše zavisi od starosti i fizičke sposobnosti, zajedno sa ostalim uslovima koji postoje na posmatranoj lokaciji.

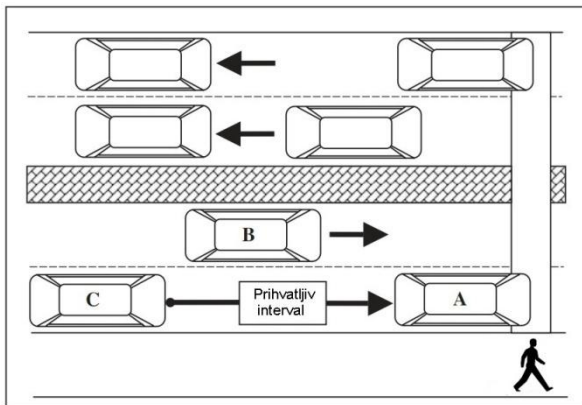
Prihvatljivi pešački intervali se određuju na osnovu dva vremenska preseka: prvi vremenski presek je trenutak kada je pešak spreman da stupi na kolovoz, a drugi vremenski presek je trenutak kada je nailazeće vozilo svojim čeonim delom prošlo kroz liniju koja označava put kretanja pešaka preko kolovoza. Razlika ova dva vremena je predstavljala prihvatljivi pešački interval. Vreme čekanja pešaka se računa od trenutka kada je pešak stao na trotoar čekajući odgovarajući interval, pa do trenutka kada je kročio na kolovoz da izvrši prelazak. Ovo vreme čekanja se računa samo za prihvaćene intervale prelaska. Odbijeni pešački interval se računa kao razlika dva vremenska preseka prolaska dva uzastopna vozila kroz pešački prelaz, dok je pešak čekao na prelazak kolovza.

HCM definiše kritični interval kao vreme izraženo u sekundama ispod kojeg pešak neće započeti prelazak preko pešačkog prelaza (HCM, 2010). Ako je raspoloživi interval veći od kritičnog, pretpostavlja se da će pešak preći kolovoz, ali ako je raspoloživi interval manji od kritičnog, pretpostavlja se da pešak neće započeti prelazak. Termin odgovarajući interval se koristi u priručniku „*Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*“, a u stvari je identičan terminu „kritični interval“ iz HCM-a (MUTCD, 2012).

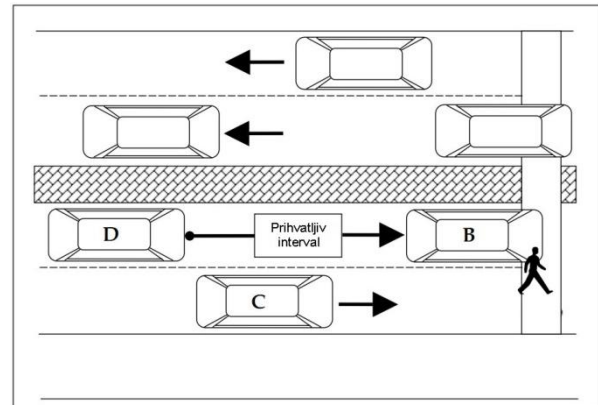
U već pomenutom najopsežnijem istraživanju izvršenom na području SAD-a koje se pored analize SPP-a bavilo i prihvatljivim pešačkim intervalima (Fitzpatrick i dr., 2006), analizirani su prelazi pešaka na 43 lokacije u sedam američkih saveznih država. Uslov da bi lokacija bila prihvaćena za analiziranje intervala je da broj pešaka koji su izvršili prelazak bude minimalno 20. Od ukupnog broja odbijenih intervala jedan deo su bili tzv. nulti intervali koji su trajali od 0 do 1 s. Ovo je prouzrokovano situacijom kada pešak i vozilo stignu približno u istom trenutku na pešački prelaz, ili kada zajedno pristignu dva vozila koja idu jedan pored drugog. Nulti intervali su uklonjeni iz baze za obradu podataka, tako da je nakon toga ostalo ukupno 3060 intervala (605 prihvaćenih i 2455 odbijenih), koji su poslužili za analizu ponašanja pešaka i statističku analizu čiji je rezultat bilo formiranje matematičkog modela za određivanje veličine prihvatljivog intervala pešačke populacije.

Analiza ponašanja pešaka: Jedan od specifičnih oblika ponašanja prilikom prelaska kolovoza je tzv. prelazak u fazama (eng: **rolling gap**). Naime, na određenim lokacijama, naročito sa velikim intenzitetom tokova vozila, pešaci nisu želeli da čekaju da sve trake budu slobodne kako bi prešli kolovoz. Umesto toga oni su pretpostavljali da će trake na koje nailaze biti slobodne i koristili su prelazak u fazama. U ovakvim slučajevima, postojao je poseban prihvatljivi interval za svaku saobraćajnu traku na kolovozu. Kao što se vidi na Slici 5.4, zbog velikog intenziteta vozila koja pristizu ne postoji dovoljan prihvatljivi interval za prelazak preko obe

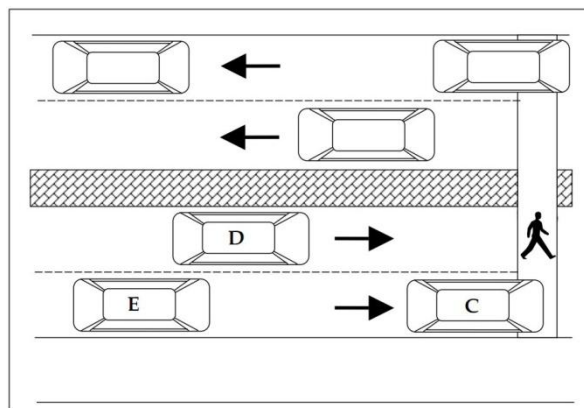
saobraćajne trake od ivične linije do razdelnog ostrva. U slučaju “rolling gap” prelaska, pešak će započeti prelazak kada u blizini ivične linije uoči prihvatljiv interval između vozila A i C, čak iako se vozilo B približava pešačkom prelazu u susednoj traci. Međutim, dok je pešak stigao do susedne trake, vozilo B je već prošlo kroz pešački prelaz, ostavljajući mu slobodnu saobraćajnu traku da završi započeti prelazak. U prethodno opisanim uslovima, u suštini postoji odvojen interval prelaska za svaku saobraćajnu traku, i za koji pešak odlučuje da li da ga prihvati ili ne. Ovi intervali ne moraju da započnu ili da se završe u isto vreme, ali ako se pojave, formiraju kombinovani prihvatljivi interval koji je potreban pešaku da bi prešao celokupan segment. U istraživanju je navedeno da je od 66 prihvaćenih intervala prelaska na lokaciji koja odgovara šemi sa slike, 60% (39 intervala) bilo prelazaka ovog tipa.



Pešak čeka na prelazak preko saobraćajnice sa velikim intenzitetom vozila



Pešak prelazi prvu saobraćajnu traku

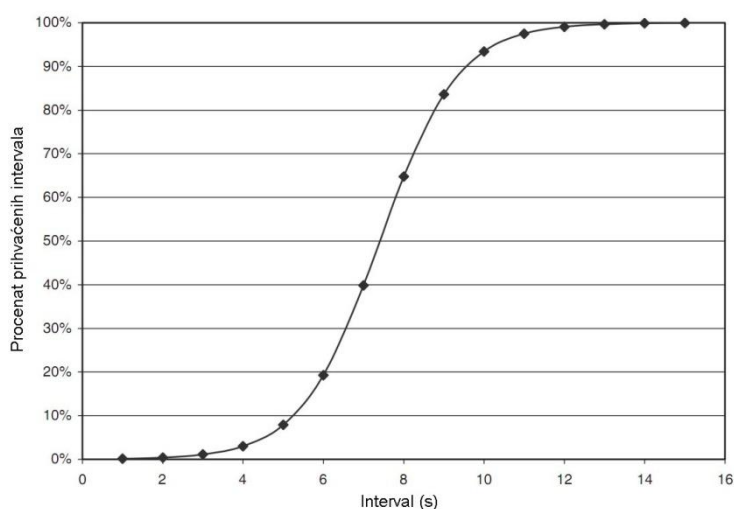


Pešak prelazi drugu saobraćajnu traku

Slika 5.4: Faze „rolling-gap“ prelaska preko kolovoza

Jedan od zaključaka koji se može izvesti iz ove analize je taj da su pešaci kreativni i prilagodljivi na uslove u saobraćaju. Ukoliko pešak oseti da neće moći da čeka previše dugo kako bi sve trake bile slobodne za prelazak, a naročito oni pešaci kojima je posmatrani prelaz poznat, on će jednostavno prilagoditi svoju percepciju tome šta je prihvatljiv interval.

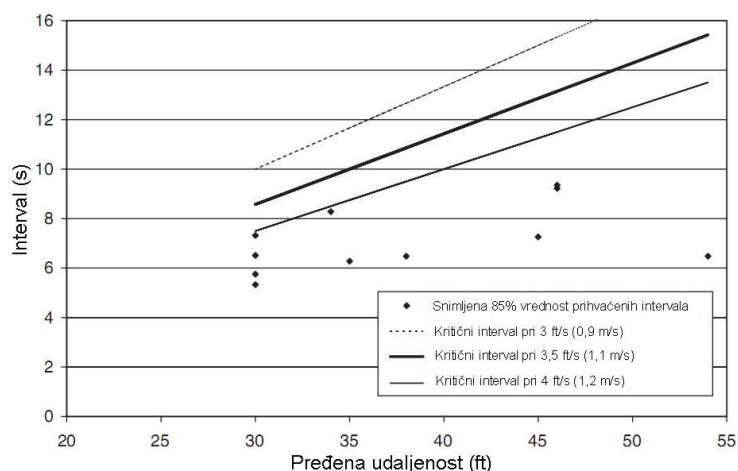
Statistička analiza: Koristeći bazu podataka prihvatljivih intervala za svaku lokaciju, za svaki pešački prelaz posmatrana je dužina intervala i pokušaj prelaska pešaka. Ako je pešak odbio interval, pokušaj prelaska je označen kao „nula“, a ako je interval prihvaćen, pokušaj je označen kao „jedan“. Iz ovih analiza dobijeni su grafici koji prikazuju kumulativnu distribuciju prihvatljivih pešačkih intervala za prelazak kolovoza. Na Slici 5.6 je prikazan jedan primer takvog grafika.



Slika 5.5: Primer kumulativne distribucije prihvatljivih pešačkih intervala

Izračunate su 50% i 85% vrednosti prihvaćenih intervala za 11 prilaza na kojima je bilo više od 20 pešaka ili grupa pešaka koji su vršili prelazak. Prilazi su imali 85% percentil prihvatljivih intervala koji se kretao u rasponu od 5,3 do 9,4 s.

Rezultati logit modela u pomenutom istraživanju ukazuju na to da vrednosti prihvatljivog intervala rastu sa povećanjem udaljenosti koju treba preći. Vrednosti 85% prihvaćenih intervala su upoređene sa kritičnim intervalom pešaka izračunatog za brzinu kretanja od 0,9 m/s (3 ft/s), 1,1 m/s (3,5 ft/s) i 1,2 m/s (4 ft/s) (Slika 5.6). Slika pokazuje da su izmereni intervali bili manji nego izračunati kritični intervali za navedene brzine kretanja pešaka.



Slika 5.6: Poređenje prihvaćenih i kritičnih intervala za različite brzine kretanja pešaka

Određivanje kritičnog intervala za prelazak koji zahteva vrednost brzine kretanja pešaka ukazuje na jaku vezu između brzine kretanja i prihvatljivog intervala. Vrednost koja je izabrana kao prosečna brzina na određenoj lokaciji određuje dužinu kritičnog intervala. Ako se pri proračunu usvoji nerealna brzina hodanja pešaka, onda ni vrednost dobijenog kritičnog intervala neće biti relevantna za dalju analizu. Nasuprot tome, ako se istraživanjem pokaže da su prihvaćeni intervali jednaki ili manji od izračunatih kritičnih intervala, onda se izabrana brzina kretanja pešaka može smatrati opravdanom za određenu lokaciju.

Posmatrajući individualne karakteristike pešaka, kao što je pol, u istraživanjima je dokazano da žene imaju veće vremenske gubitke u odnosu na muškarce, odnosno duže čekaju na ogovarajući interval prelaska (DiPietro i King, 1970; Hamed, 2001). U skladu sa tim, istraživanja su pokazala da žene provedu 27% duže vremena čekajući na pešačkom prelazu (Tiwari i dr., 2007), dok je brzina prelaska veća kod muškaraca u odnosu na žene (Rastogi i dr., 2011; Tarawneh, 2001).

Vreme čekanja pešaka na prelazak kolovoza, kao još jedan od parametara koji se pojavljuje u istraživanjima, pokazuje da pri porastu vremena čekanja, pešaci postaju nestrpljiviji i prihvataju kraće intervale za prelazak (Lobjois i dr, 2013). Isti autori su došli do zaključka da verovatnoća prihvatanja manjeg vremenskog intervala raste sa porastom propuštenih prilika za prelazak.

Sposobnost različitih grupa pešaka da izaberu odgovarajuće intervale zavisi od njihove sposobnosti da procene brzinu nailazećeg vozila i vreme koje im je neophodno da pređu preko pešačkog prelaza. Ova sposobnost zavisi uglavnom od starosti i fizičkih karakteristika pešaka.

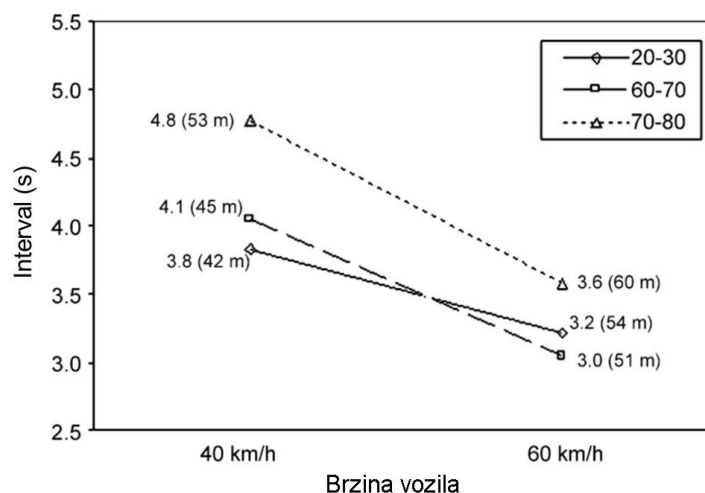
Većina autora koja je istraživala prihvatljivije intervale ili odluke o prelasku pešaka preko kolovoza sprovedila je eksperimente uz pomoć simulacija koje su

vršene u laboratorijskim uslovima. [Simpson i dr. \(2003\)](#) koristili su sistem virtuelne realnosti kojim je simulirana realna slika odvijanja saobraćaja i došli su do zaključka da deca od 5 do 14 godina izvode najveći broj nebezbednih prelazaka, u odnosu na starije grupe ispitanika (više od 19 godina) koji su izvršili najmanji broj rizičnih prelazaka preko kolovoza. Takođe, odluka o prelasku je češće formirana na osnovu udaljenosti, nego na osnovu brzine nailazećeg vozila. [Velde i dr. \(2005\)](#) su sprovedeli istraživanje putem simulacije u laboratorijskim uslovima u kojima su ispitivali ponašanje pešaka i njihovu odluku o prelasku preko kolovoza dok im je nailazio bicikl sa različite udaljenosti i sa različitim ubrzanjem. Učesnicima različitih uzrasta je traženo da se usmeno izjasne o tome da li bi mogli da pređu put, i da ga zapravo i pređu ukoliko je to moguće. Rezultati su pokazali da usmene izjave nisu bile u potpunosti iste kao i konačna odluka da se put pređe ili ne.

[Oxley i dr. \(2005\)](#) su sprovedeli studiju u kojoj su istraživali kako starosna razlika među pešacima može da utiče na izbor bezbednog intervala. Prvi eksperiment je istraživao starosne razlike u izboru intervala prelaska preko kolovoza kroz testove koji su se obavljali u simuliranim uslovima odvijanja saobraćaja i u kojima su se intervali između vozila i njihova brzina sistematski menjali. Učesnici su morali da donesu odluku o prelasku za ograničeno vreme, pa je na taj način vreme odluke bilo mnogo manje nego u studijama koje su izvršena na terenu u uslovima realnog odvijanja saobraćaja. Za informaciju kao što je procena rastojanja do vozila, učesnicima nije bilo potrebno mnogo vremena, za razliku od brzine kretanja dolazećih vozila, gde je bilo potrebno duže vreme procene, naročito kod starijih pešaka. Učesnici su više bazirali svoje odluke na vremenskom intervalu (koji je uključivao udaljenost i brzinu), nego samo na udaljenosti vozila. U drugom eksperimentu se ispitivao uticaj različitih vremena za donošenje odluke u virtuelnom saobraćajnom okruženju na sposobnost da se proceni bezbedan interval u saobraćaju. Kako se ispostavilo, vreme za odluku nije značajno uticalo na odgovore u grupi mlađe populacije. Mlađi učesnici u eksperimentu su bili sposobniji da obrade informacije o udaljenosti i brzini vozila u vrlo kratkom vremenskom periodu, iako su pre svega svoje odluke o prelasku donosili na osnovu udaljenosti. Stariji pešaci su češće donosili pogrešne odluke o dužini odgovarajućeg intervala ako su bili primorani da donesu brzu odluku.

Slično istraživanje koje je uzimalo u obzir starosne razlike u procesu odlučivanja prelaska preko kolovoza, kao i efekte brzine vozila i vremenskog ograničenja u proceni prihvatljivog intervala prelaska, sprovedeno je od strane grupe autora kroz dva eksperimenta ([Lobjois i Cavallo, 2007](#)). U istraživanju je učestvovalo 78 učesnika podeljenih u tri starosne grupe (20-30, 60-70 i 70-80 godina), ravnomerno raspoređenih po svakoj grupi i sa istim brojem muškaraca i žena. Simulacioni uređaj je projektovao sliku i zvuk realnog saobraćajnog okruženja, sa simuliranim nailascima vozila koji su nailazili sa različitim brzinama i sa različitim

vremenskim intervalima između njih. Učesnicima su na raspolaganju bila dva tastera koje pritiskali u slučaju da prihvataju ponuđeni interval za prelazak preko kolovoza ili ne. Sa druge strane, postavljen je i uređaj koji je merio vremena prelaska pešaka preko virtuelne ulice u dva režima: normalan i ubrzan hod. Mereno je i vreme reakcije koje predstavlja vreme koje protekne od trenutka početka prikazivanja virtuelne scene nailaska vozila i odgovora pešaka pritiskom na taster u vezi odluke prelaska ulice. Za svakog pešaka računata je i sigurnosna granica koja odgovara razlici između prihvatljivog vremenskog intervala i kritičnog intervala. Ona je služila za grupisanje prelazaka po kriterijumu bezbednosti, jer su nebezbednim prelascima smatrani oni slučajevi kod kojih je prelazak bio prihvaćen, a sigurnosna granica je bila manja od nule. Konačno, propuštenim prilikama za prelazak smatrali su se odbačeni intervali kod kojih je dostupni interval za prelazak bio veći od vremena prelaska pešaka. Rezultati prvog eksperimenta, u kome su učesnici morali da donesu odluku o prelasku za ograničeno vreme, prikazani su na Slici 5.7.



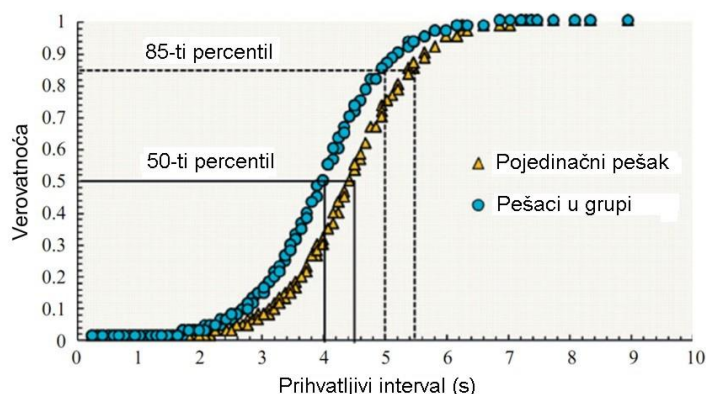
Slika 5.7: Prihvatljivi intervali prelaska u funkciji starosnih grupa i brzine vozila analizirani u prvom eksperimentu, sa odgovarajućim rastojanjima prikazanim u zagradama

Analiza uticaja starosnih grupa pokazala je da grupa od 70 do 80 godina bira veće prihvatljive intervale za prelazak u odnosu na ostale sve grupe, što je i bilo u skladu sa očekivanjem. Interesantno je napomenuti da su nebezbedni prelasci u ovom eksperimentu iznosili 5,8%, 8,2% i 5,9% respektivno po starosnim grupama, što je mnogo manje nego u sličnom istraživanju koje je izvršeno od strane [Oxley-a i dr. \(2005\)](#) gde su ti procenti iznosili 18%, 19% i 70% za starosne grupe 30–45, 60–69 i preko 75 godina, respektivno. Rezultati su takođe pokazali da sve starosne grupe biraju veća rastojanja i kraće prihvatljive intervale za prelazak za brzinu od 60 km/h u odnosu na brzinu od 40 km/h. To je dovelo i do manjih sigurnosnih granica i većeg procenta nebezbednih prelazaka, bez obzira na godine učesnika. Ovim se potvrđuje efekat brzine nailazećeg vozila na prihvatljive intervale kao faktora rizika koji utiče na odluku o prelasku pešaka za sve starosne kategorije u uslovima ograničenog

vremena za donošenje odluke. Rezultati drugog eksperimenta, bez vremenskog ograničenja na odluku, dali su slične rezultate, odnosno da stariji učesnici u odnosu na mlađe biraju veće prihvatljive intervale za prelazak. Kao i u prethodnom slučaju, i ovde je učešće nebezbednih prelazaka mnogo manje nego u istraživanju [Oxley-a i dr. \(2005\)](#) (8,1%, 7% i 6,3% respektivno po starosnim grupama). Što se tiče brzine vozila, rezultati su pokazali da ona utiče na odluku o prelasku čak iako ne postoji vremensko ograničenje. Jedina razlika koja je uočena u odnosu na prvi eksperiment je ta da brzina nema uticaja kod mlađih učesnika po pitanju biranja prihvatljivih intervala, pošto se za sve ispitivane brzine za starosnu grupu od 20 do 30 godina prihvatljivi intervale kreću oko 3,5 s. Biranje kraćih intervala za prelazak prilikom povećanja brzine, kao i biranje dužih intervala za starije pešake je dokazano i u radu autora [Petzoldt \(2014\)](#).

Posmatrajući poziciju vozila i pešaka, analiza učešća pešaka koji su prihvatili intervale koji su trajali manje od 2 s pokazala je da su ovako mali intervale više birani u slučaju kada su pešaci čekali u poziciji koja je bila bliža trajektoriji kretanja vozila ([Wilson i Grayson, 1980](#)). Kod pešačkih prelaza sa razdelnim ostrvom dokazano je da pešaci prihvataju kraće vremenske intervale između vozila za prelazak kad su predhodno prešli deo puta do razdelnog ostrva. Takođe, deo kolovoza od razdelnog ostrva, do suprotne ivice prelaze sa manjim vremenom čekanja. Ovakvo ponašanje pri prelasku se tumači tako da se pešak prilagodio saobraćajnim uslovima i na takav način smanjuje ukupno vreme koje mu je potrebno za prelazak. Nakon prelaska prvog segmenta pešak može proceniti vreme za koje će doći do suprotne ivice kolovoza, i shodno tome on menja svoju brzinu kretanja ([Hamed, 2001; Das i dr., 2005](#)).

Uticaj individualnog prelaska pešaka ili prelaska grupe pešaka već je pomenut u kontekstu brzine. Međutim, takođe je merljiv i uticaj na prihvatanje intervala određene dužine. Istraživanja koja su sprovedena na području Azije, pokazala su da pešaci koji se kreću u grupi biraju kraće intervale, i samim tim, njihovo ponašanje u grupi je agresivnije, a proces prelaska kolovoza je rizičniji (Slika 5.8). Autori ovakav rezultat objašnjavaju činjenicom da pešaci koji se nalaze u grupi se možda osećaju zaštićenijim, pa iz tog razloga nastupaju agresivnije ([Pawari Patil, 2015; Wang i dr., 2010](#)). Uzimajući u obzir činjenicu na potpuno drugačije uslove odvijanja saobraćaja, propise, navike, kao i saobraćajnu kuturu, rezultati istraživanja koje je sprovedeno na području Evrope dali su potpuno drugačije rezultate od istraživanja vršenih u Aziji. Naime, autori [Yanis i dr. \(2010\)](#) su došli do zaključka da pešaci koji su u grupi prilikom prelaska kolovoza biraju veće intervale za prelazak, u odnosu na pešake koji individualno prelaze kolovoz.



Slika 5.8: Kumulativna distribucija prihvaćenih intervala za pojedinačne pešake i pešake u grupi (Pawar i Patil, 2015)

Faktori uticaja iz baza podataka koji se mogu posmatrati kao nezavisne promenljive služe za formiranje različitih matematičkih modela kojima se procenjuje verovatnoća prihvatanja određene dužine intervala prelaska, kao i verovatnoća prelaska pešaka preko kolovoza kao nezavisnog događaja.

Jedno od malobrojnih istraživanja prihvatljivih pešačkih intervala vršenih na području Evrope sprovedeno je u Atini (Yannis i dr., 2010). Faktori koji su analizirani su: vreme čekanja, prisustvo neregularno parkiranih vozila u blizini pešačkog prelaza, karakteristike vozila (brzina, kategorija) i karakteristike pešaka (pol, starost). Na osnovu rezultata istraživanja formiran je lognormalni regresioni model:

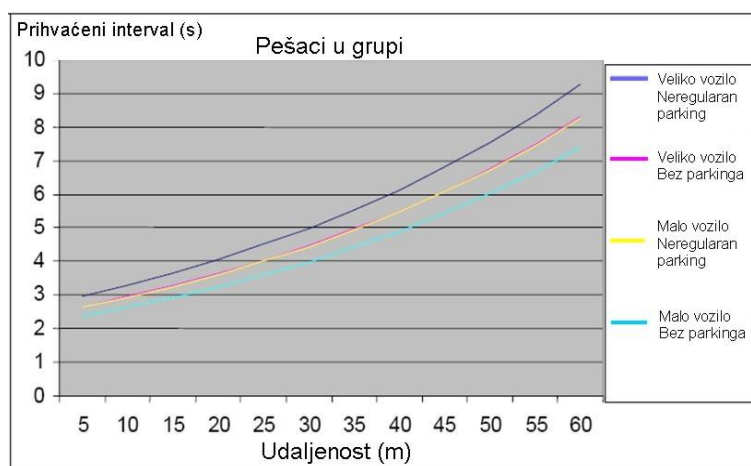
$$\text{Log} - \text{Gap} = 0,262 + 0,009 \cdot x_1 + 0,05 \cdot x_2 + 0,043 \cdot x_3 + 0,048 \cdot x_4 + 0,025 \cdot x_5 \quad (5.1)$$

gde je su nezavisne promenljive redom: udaljenost između vozila i pešaka, veličina vozila (mala ili velika), grupa (pešak je u pratnji drugog pešaka ili nije), prisustvo neregularno parkiranih vozila i pol pešaka.

Rezultati statističke analize elastičnosti su pokazali da rastojanje između vozila i pešaka ima najveći uticaj na prihvatljivi pešački interval. Dominantni uticaj rastojanja je potvrđen činjenicom da povećanje udaljenosti nailazećeg vozila za 1% utiče na povećanje od 42% prihvatljivih intervala. Efekat rastojanja vozila u odnosu na vremenski interval ili brzinu vozila je već ranije utvrđen u prethodnim istraživanjima pomenutih autora (Papadimitriou i dr., 2009; Theofilatos, 2009). Sledeći faktor koji ima veliki uticaj na prihvatljiv interval je prisustvo neregularno parkiranih vozila, jer prisustvo takvih vozila u blizini pešaka čini da oni postaju mnogo oprezniji i samim tim se opredeljuju za duže intervale za prelazak kolovoza. Takođe, i veličina vozila utiče na izbor intervala, jer nailaskom vozila većih gabarita pešaci se opredeljuju za duže

intervale prelaska. Individualne karakteristike pešaka upućuju na to da su muškarci manje skloni riziku od žena, jer se u odnosu na njih opredeljuju se za duže intervale, a slično ponašanje je uočeno i kod situacija kada je zabeleženo prisustvo drugih pešaka, gde su se pešaci takođe opredeljivali za duže intervale, u odnosu na situaciju kada kolovoz prelaze sami.

Kako bi se još detaljnije ispitao efekat nezavisnih promenljivih na zavisnu, izvršena je analiza osetljivosti. Na primer, na Slici 5.9 može se videti uticaj kako osetljivost prihvaćenih intervala u odnosu na udaljenost nailazećeg vozila raste sa veličinom vozila i prisustvom neregularno parkiranih vozila.



Slika 5.9: Osetljivost prihvatljivih intervala u odnosu na udaljenost nailazećeg vozila za pešake u grupi (Yannis i dr., 2010)

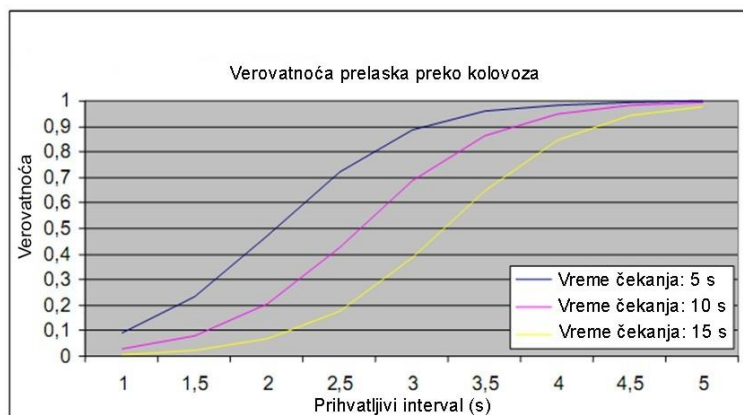
Nakon analize prihvatljivih pešačkih intervala izvršena je analiza i formiran je model za odluku da li će pešak preći kolovoz ili ne. Izabrana je binarna logistička regresija u sledećem obliku:

$$U = -5,241 - 0,25 \cdot x_1 + 2,161 \cdot x_2 + 1,078 \cdot x_3 + 0,969 \cdot x_4 \quad (5.2)$$

gde su nezavisne promenljive redom: vreme čekanja, interval sleđenja vozila, vozilo (ako je tip vozila putnički automobil) i prisustvo neregularno parkiranih vozila.

Analiza elastičnosti je pokazala da interval sleđenja vozila ima najveći uticaj na odluku da li će pešak preći prelaz ili ne. Kao što je bilo i očekivano, veći raspoloživi intervali su omogućavali lakši prelazak preko kolovoza. Vreme čekanja je u analizi pokazalo da što pešaci duže čekaju da pređu kolovoz, verovatnoća prelaska opada. To se može objasniti time da pešaci koji odluče da duže čekaju na prelazu spadaju u grupu onih koji su obazriviji i manje skloni prihvatanju rizika. Prisustvo neregularno parkiranih vozila dovodi do toga da se pešaci češće odlučuju na prelazak. Kada je nailazeće vozilo putnički automobil, verovatnoća prelaska pešaka

se povećava. Mađutim, ova promenljiva ima najslabiji uticaj na odluku pešaka o prelasku preko kolovoza.



Slika 5.10 Osetljivost verovatnoće prelaska pešaka u odnosu na interval vozila za različita vremena čekanja (Yannis i dr., 2010)

Analiza osetljivosti koja je izvršena za ovaj model pokazuje da verovatnoća prelaska opada sa porastom vremena čekanja pešaka (Slika 5.10). Takođe, uočljivo je i to da bi velika većina pešaka prihvatila interval od 6 s, odnosno, verovatnoća prelaska u tom slučaju je skoro 100%.

Snimanjem karakteristika pešaka, vozila i saobraćajnog toka izvršeno je istraživanje u indijskom gradu Hajderbadu (Kadali i Perumal, 2012) čiji je izlazni rezultat bio model ponašanja pešaka prilikom izbora prihvatljivog intervala. Promenljive koje su se pokazale statistički značajne u pomenutom modelu bile su brzina pešaka prilikom prelaska, smer prelaska, prelazak pešaka u fazama, brzina vozila i starost pešaka. Analizirano je ukupno 2230 intervala od kojih je 200 bilo prihvaćenih, a ostali su bili odbijeni. Regresionom analizom došlo se do modela sledećeg oblika:

$$\begin{aligned} \text{Log Gap} = & 1,283 - 0,081 \cdot x_1 - 0,093 \cdot x_2 - 0,09 \cdot x_3 - 0,424 \cdot x_4 + 0,17 \cdot x_5 - \\ & 0,197 \cdot x_6 + 0,383 \cdot x_7 \end{aligned} \quad (5.3)$$

gde su nezavisne promenljive redom: pol pešaka, godine pešaka, broj pokušaja prelaska, prelazak u fazama, brzina vozila, brzina pešaka i smer kretanja pešaka.

Srednja vrednost prihvatljivih intervala dobijenih u ovom istraživanju je 4,149 s, dok su odbijeni intervali iznosili prosečno 1,769 s. Žene su birale veće intervale za prelazak (4,876 s) u odnosu na muškarce (3,422 s). Ipak, promenljiva koja je imala najviše uticaja na prihvatljive intervale je prelazak kolovoza u fazama, tzv. „rolling gap“, pri čemu su pešaci u tim slučajevima birali vrlo male prihvatljive intervale i

menjali brzinu kretanja prilikom prelaska. Do sličnih zaključaka se došlo i prilikom drugog istraživanja u istom gradu, gde je na osnovu 4198 snimljenih intervala definisan model kojim je utvrđeno da prilikom prelaska kolovoza najvažniju ulogu imaju prelazak u fazama, propuštanje pešaka od strane vozila i broj pokušaja prelaska (Kadali i dr., 2013). Pored navedenih radova, veliki broj autora takođe se bavio određivanjem uticajnih faktora i izradom probabilističkih modela koji su zbog specifičnosti uslova odvijanja saobraćaja primenjivi na samo na lokalnom nivou uz određena ograničenja (Kohi Wong, 2014; Brewer i dr., 2006; Kadali i dr., 2014; Cherry i dr., 2012; Serag, 2014).

Pored utvrđivanja uticaja velikog broja faktora na odluku pešaka prilikom prelaska kolovoza i izbora intervala odgovarajuće dužine, cilj analiza u ovom području istraživanja je prvenstveno utvrditi da li su prihvaćeni intervali na posmatranim lokacijama, u stvari, manji od izračunatih kritičnih (ili odgovarajućih) intervala. Dovodeći u vezu NU pešaka na nesignalisanim prelazima i verovatnoću prihvatanja intervala određene dužine koji je analiziran u odnosu na kritični interval prelaska HCM 2000 je dao preporuke prikazane u Tabeli 5.6:

Tabela 5.6: Veza između nivoa usluge pešaka i verovatnoće prihvatanja intervala određene dužine

Nivo usluge	Prosečni vremenski gubici po pešaku	HCM 2000 procena rizika
A	< 5 s	Mala verovatnoća prihvatanja intervala koji su manji od t_c
B	≥ 5 i ≤ 10 s	-
C	>10 i ≤ 20 s	Prosečna verovatnoća prihvatanja intervala koji su manji od t_c
D	>20 i ≤ 30 s	-
E	> 30 i ≤ 45 s	Velika verovatnoća prihvatanja intervala koji su manji od t_c
F	> 45 s	Vrlo velika verovatnoća prihvatanja intervala koji su manji od t_c

Na primer, na nesignalisanom pešačkom prelazu na kome je utvrđen NU pešačkih tokova klase „A“, kod koga su prosečni vremenski gubici manji od 5 s/pešaku, postoji jako mala verovatnoća prihvatanja intervala koji su manji od kritičnog, jer pešaci u takvim uslovima odvijanja saobraćaja nemaju potrebu da izvode rizične prelaske preko kolovoza i da dolaze u konflikt sa nailazećim vozilom. U drugoj krajnosti, ukoliko je pešačkom prelazu vladaju takvi uslovi odvijanja saobraćaja da proračunati NU ima klasu „F“, gde su vremenski gubici preko 45 s/pešaku, onda postoji jako velika verovatnoća da će pešak prihvatiti interval koji je manji od kritičnog. U takvim uslovima odvijanja saobraćaja, pretpostavlja se da će pešaci zbog dugog vremena čekanja birati kraće intervale za rizičniji prelaz preko kolovoza.

6. DEFINISANJE PODRUČJA I METODA ISTRAŽIVANJA

Pešački prelazi, kao saobraćajne površine za koje se definiše kvalitet uslova odvijanja pešačkog saobraćaja, odnosno NU, nude veliki broj mogućnosti za istraživanje i analizu određenih parametara koji se koriste u postupku proračuna prosečnih vremenskih gubitaka. Značaj i uloga SPP, kao jednog od parametara koji se koristi u metodi proračuna, istaknuti su u prethodnim poglavljima disertacije, kao i neophodnost poznavanja njegove tačne vrednosti zbog uticaja na krajnje rezultate analize NU pešačkih prelaza.

Sa NU pešačkih tokova, odnosno sa prosečnim vremenskim gubicima koje pešak ostvari čekajući na prelazak kolovoza, indirektno su povezane vrednosti prihvatljivih pešačkih intervala. Odluka pešaka da li da prihvati određeni interval između nadolazećih vozila u saobraćajnom toku ili da ga odbaci daje intervalima jedinstven skup uslova koji se mogu koristiti u analizi.

Za potrebe disertacije izvršeno je istraživanje u dve zemlje regiona jugoistočne Evrope (Republika Srbija i Bosna i Hercegovina) radi utvrđivanja vrednosti SPP-a u cilju definisanja matematičkog modela u zavisnosti od karakteristika lokacija i karakteristika saobraćajnog toka vozila i pešaka. Za potrebe analize pešačkih intervala sve lokacije su grupisane prema broju saobraćajnih traka i smeru kretanja vozila kako bi se utvrdili obrasci ponašanja pešaka prilikom prelaska kolovoza i analizirali prihvatljivi intervali u odnosu na određena obeležja pešaka.

6.1. Područje istraživanja

U cilju prikupljanja relevantnih podataka koji bi služili za formiranje odgovarajuće baze sprovedeno je istraživanje na 38 lokacija, odnosno nesignalisanih

pešačkih prelazau pet gradova (Novi Sad, Zrenjanin, Subotica, Vrbas, Bijeljina) u dve države (Republika Srbija i Bosna i Hercegovina) (Tabela 6.1 i Tabela 6.2).

Tabela 6.1: Broj pešačkih lokacija po gradovima i državama

Grad	Država	Broj pešačkih prelaza
Novi Sad	Republika Srbija	25
Zrenjanin	Republika Srbija	3
Subotica	Republika Srbija	2
Vrbas	Republika Srbija	2
Bijeljina	Bosna i Hercegovina	6
Ukupno		38

Izabrane lokacije su raznovrsne po pitanju karakteristika, kao što su: tip pešačkog prelaza (pešački prelaz na raskrsnici, izdvojeni pešački prelaz), geometrija pešačkog prelaza (broj saobraćajnih traka, širina i dužina prelaza, prelazi sa razdelnim ostrvom itd.), izgrađeno okruženje (pešačke staze, ulično parkiranje vozila, zona škole), uslovi odvijanja saobraćaja, način regulisanja saobraćaja (primena tehničkih mera za usporavanje saobraćaja, jednosmerno/dvosmerno kretanje vozila) i struktura saobraćajnog toka. Prikaz dela lokacija na kojima je vršeno istraživanje dat je na Slici 6.1.



Zrenjanin (R. Srbija) - Ulica Kralja Petra I



Bijeljina (BiH) - Ulica Gavrila Principa



Novi Sad (R. Srbija) - Ulica Narodnog fronta



Novi Sad (R. Srbija) - Bulevar Cara Lazara

Slika 6.1. Deo lokacija na kojima je sprovedeno istraživanje

Osnovni kriterijum za odabir raskrsnica na kojima je vršeno istraživanje je da su tokovi pešaka i vozila intenzivni, kako bi se ostvario što veći broj dostupnih intervala za prelazak pešaka, i da bi se snimio što veći broj reakcija vozača na prisustvo pešaka na pešačkom prelazu. Sva istraživanja vršena za potrebe izrade disertacije su vezana za realno stanje saobraćajnog toka na pešačkim prelazima, tako da su dobijeni rezultati u istraživanom uzorku dovoljni da se dobijeni model i zaključci proistekli iz analize mogu primeniti u svim uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja i na svim tipovima pešačkih prelaza.

Tabela 6.2: Spisak lokacija na kojima je vršeno istraživanje

Red. br.	Naziv ulice	Država/Grad	Red. br.	Naziv ulice	Država/Grad
1	Kralja Petra I	R. Srbija/Zrenjanin	20	Novosadskog sajma (1)	R. Srbija/Novi Sad
2	Petra Bojovića	R. Srbija/Zrenjanin	21	Novosadskog sajma (2)	R. Srbija/Novi Sad
3	Fruškogorska (1)	R. Srbija/Novi Sad	22	Novosadskog sajma (3)	R. Srbija/Novi Sad
4	Fruškogorska (2)	R. Srbija/Novi Sad	23	Miše Dimitrijevića (1)	R. Srbija/Novi Sad
5	Dr Sime Miloševića	R. Srbija/Novi Sad	24	Miše Dimitrijevića (2)	R. Srbija/Novi Sad
6	Stražilovska (1)	R. Srbija/Novi Sad	25	Bulevar oslobođenja (1)	R. Srbija/Novi Sad
7	Stražilovska (2)	R. Srbija/Novi Sad	26	Bulevar oslobođenja (2)	R. Srbija/Novi Sad
8	Danila Bojovića (1)	R. Srbija/Vrbas	27	Brača Ribnikar (1)	R. Srbija/Novi Sad
9	Danila Bojovića (2)	R. Srbija/Vrbas	28	Brača Ribnikar (2)	R. Srbija/Novi Sad
10	Narodnog fronta (1)	R. Srbija/Novi Sad	29	Narodnog fronta (4)	R. Srbija/Novi Sad
11	Narodnog fronta (2)	R. Srbija/Novi Sad	30	Bulevar cara Lazara (1)	R. Srbija/Novi Sad
12	Narodnog fronta (3)	R. Srbija/Novi Sad	31	Bulevar cara Lazara (2)	R. Srbija/Novi Sad
13	Boška Buhe	R. Srbija/Novi Sad	32	Somborski put (1)	R. Srbija/Subotica
14	Gavrila Principa (1)	BiH/Bijeljina	33	Somborski put (2)	R. Srbija/Subotica
15	Gavrila Principa (2)	BiH/Bijeljina	34	Žitni trg	R. Srbija/Zrenjanin
16	Karađorđeva	BiH/Bijeljina	35	Vuka Karadžića (2)	BiH/Bijeljina
17	Vuka Karadžića (1)	BiH/Bijeljina	36	Bulevar kralja Petra I(3)	R. Srbija/Novi Sad
18	Bulevar kralja Petra I(1)	R. Srbija/Novi Sad	37	Novosadskog sajma (4)	R. Srbija/Novi Sad
19	Bulevar kralja Petra I(2)	R. Srbija/Novi Sad	38	Nušićeva	BiH/Bijeljina

6.2. Metod istraživanja

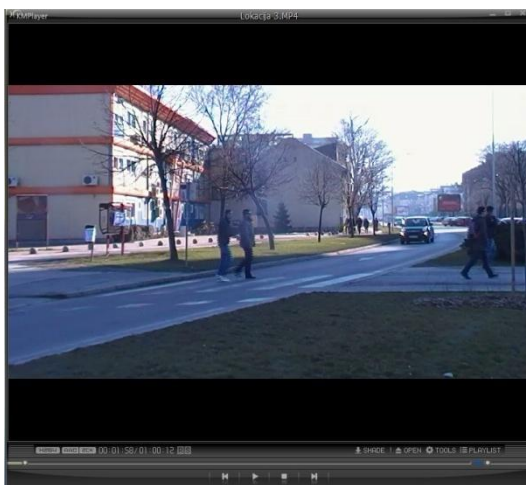
Za potrebe izrade disertacije definisan je metod istraživanja koji je zasnovan na svim poznatim pravilima i metodama naučnog saznanja, koje su opisane u Poglavlju 1. U narednom delu biće opisan metod prikupljanja podataka, obrade podataka, kao i primenjenje metode statističke analize i prikaza rezultata istraživanja.

6.2.1. Prikupljanje podataka

Osnovni parametri potrebni za proračun NU pešačkih tokova su protok vozila, SPP, brzina pešaka, geometrijske karakteristike raskrsnice i pešačkih prelaza, kritični intervali pešaka i prihvatljivi intervali prelaska pešaka preko pešačkog prelaza. Svi navedeni parametri su dobijeni lokalnim merenjem uz uvažavanje svih specifičnosti vezanih za ponašanje učesnika u karakterističnim situacijama. Za potrebe istraživanja odabrane su raskrsnice i izdvojeni pešački prelazi sa različitim protocima pešaka i vozila i uobičajenom vremenskom neravnomernošću protoka, kako bi se analizom odvijanja saobraćaja na pešačkom prelazu mogli istražiti svi potrebni parametri saobraćajnog toka. Takođe, prilikom izbora raskrsnica i pešačkih prelaza vodilo se računa da geometrijske karakteristike raskrsnice budu raznovrsne kako bi se mogla uspostaviti određena zavisnost u odnosu na posmatrane parametre. Prikupljanje podataka o svim analiziranim parametrima vršeno je metodom analize video snimaka koji su sačinjeni na svim izabranim lokacijama u okviru prostora istraživanja.

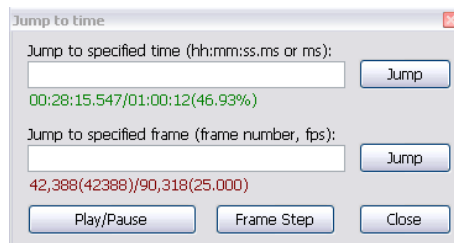
Merenje parametara saobraćajnog toka obradom video snimaka je jedan od najstarijih ([Greenshields, 1935](#)), ali i najsigurnijih metoda, koji se u velikom broju dosadašnjih istraživanja pokazao kao efikasan način prikupljanja podataka potrebnih za analizu ([Bogdanović i dr., 2013](#); [Ivanović i dr. 2014a](#); [Ivanović i dr. 2014b](#)).

Lokacije su snimane tokom februara i marta 2015. godine, u toku vršnog perioda, koji je u zavisnosti od lokacije bio jutarnji (od 07:00 do 11:00) ili popodnevni (od 13:00 do 15:00). Trajanje snimka je za svaku lokaciju iznosilo od 1 do 2 h. Prilikom snimanja korišćena je kamera *SAMSUNG SMX-F33BP/ECD 42x optical zoom*. Snimci su nakon toga analizirani u odgovarajućem softveru koji se koristi za obradu video zapisa (KM Player 3.2.0.0, GOM Player 2.0), a tipičan izgled prikaza u programu za analizu video zapisa dat je na Slici 6.2.



Slika 6.2: Prikaz video zapisa u prozoru programa

Softver za analizu video zapisa omogućava pregled fajlova u vremenskim sekvencama tačnosti od 0,001 s, kao što je prikazano na Slici 6.3. Ovakva preciznost je dovoljna za prikupljanje podataka o potrebnim vremenskim presecima potrebnim za izračunavanje intervala, čija tačnost se zaokružuje na maksimalno dve decimale (0,01 s).



Slika 6.3: Preciznost merenja vremena u korišćenom programu

Obradom prikupljenih video zapisa dobijeni su parametri saobraćajnog toka potrebni za dalju analizu, a to su protok pešaka, protok vozila i struktura saobraćajnog toka (učestće teretnih vozila i autobusa). Analizom video zapisa dobijen je broj vozila koja su stala/usporila da propuste pešake na pešačkom prelazu, što je poslužilo za izračunavanje SPP-a.

Analiza video zapisa je omogućila i prikupljanje podataka o intervalima pešaka prilikom prelaska kolovoza. Za potrebe izrade disertacije beleženi su sledeći vremenski preseki:

- t_1 : vreme dolaska pešaka na pešački prelaz
- t_2 : vreme kada je pešak započeo prelazak preko kolovoza
- t_3 : vreme kada je pešak završio prelazak preko kolovoza
- t_4 : vreme nailaska vozila čeonim delom na pešački prelaz.

Na osnovu prikupljenih podataka izračunati su vremenski gubici pešaka usled čekanja na pešačkom prelazu (t_2-t_1) i vreme koje je potrebno pešaku da pređe kolovoz (t_3-t_2), pomoću koga je izračunata i prosečna brzina kretanja pešaka, jer je za svaku lokaciju bila poznata i dužina pešačkog prelaza. Kritični interval za svaku lokaciju je određen tako što je udaljenost koju pešak treba da pređe podeljena sa brzinom pešaka i na tu vrednost se dodalo odgovarajuće startno vreme. Prihvatljivi interval je računat kao razlika vremena kada je pešak započeo prelazak i vremena nailaska vozila čeonim delom do početka pešakog prelaza. Odbijeni intervali su računati kao razlike vremena prolaska dva vozila koja se slede kroz pešački prelaz, u slučajevima dok je pešak stajao na ivici kolovoza i čekao adekvatan interval za prelazak.

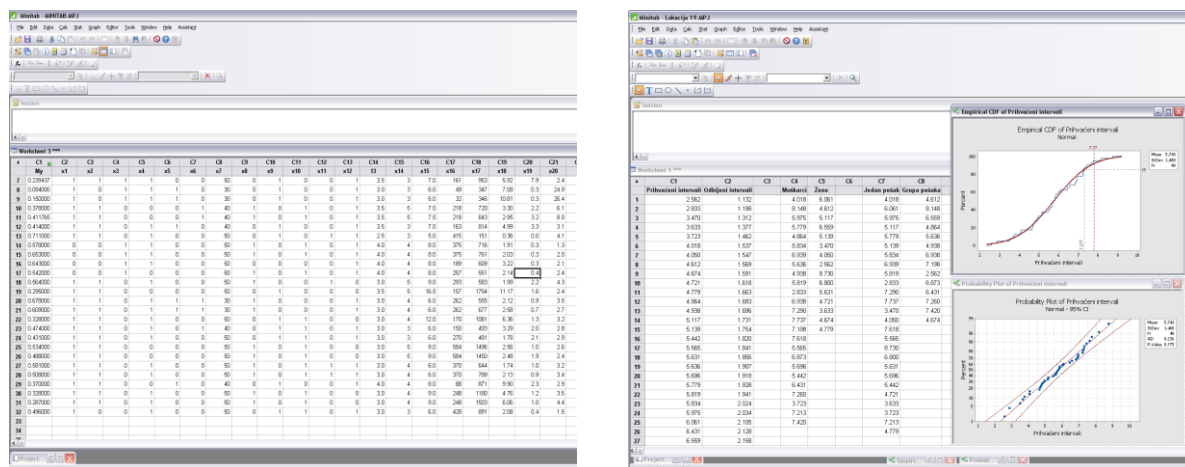
Odbijeni intervali manji od 1 s su prema preporukama iz ranijih istraživanja isključeni iz analize, zbog pretpostavke da ovi intervali nisu prihvatljivi ni za jednog pešaka, jer su nastali u situacijama nailaska vozila i pešaka na pešački prelaz u

približno istom vremenskom trenutku. Analogno tome, svi prihvaćeni intervali veći od 12 s su takođe odbačeni, zbog pretpostavke da su ovi intervali prihvatljivi za svakog pešaka. Za svaki prelazak pešaka evidentirana je činjenica da li je pešak sam na pešačkom prelazu, ili je u pitanju grupa pešaka, pri čemu je zabeležen i broj pešaka u grupi, a od karakteristika pešaka evidentirana je polna pripadnost (muškarci i žene).

Za sve pešačke prelaze prikupljeni su i podaci o karakteristikama lokacija, kao što su: broj i širina saobraćajnih traka, širina i dužina pešačkog prelaza, postojanje razdelnog ostrva, smer kretanja vozila, postojanje uticaja parkiranih vozila i biciklističkog saobraćaja, ali i informacije o primenjenim merama na lokacijama, kao što je ograničenje brzine, primena tehničkih sredstava za umirenje saobraćaja i činjenicu da li se pešački prelaz nalazi u zoni škole. Podaci prikupljeni na 32 lokacije služili su za formiranje baze podataka, kao osnove za formiranje matematičkog modela SPP-a, dok je preostalih 6 lokacija poslužilo za testiranje modela.

6.2.2. Statistička analiza rezultata istraživanja

Baza podataka je formirana i sortirana u programu Microsoft Excel, a statistička obrada podataka izvršena je u programskom paketu Minitab 17.0. uz poštovanje svih kriterijuma statističke analize (Slika 6.4).



Slika 6.4: Prikaz statističke obrade podataka

a) Formiranje modela za proračun stepena propuštanja pešaka na nesignalisanim prelazima

Za izradu modela SPP-a korišćena je višestruka linearna regresija, a za statističko vrednovanje regresionog modela korišćeni su različiti testovi (t test, koeficijent korelacije (r), koeficijent determinacije (R^2), standardna greška (S)...), pri čemu se ukupna ocena valjanosti modela zasnivala na rezultatima pojedinačnih testova zajedno uz ispitivanje logičke povezanosti između promenljivih. Nakon izbora

modela, poređenje vrednosti SPP-a koje su dobijene modelom i stvarnih vrednosti koje su izmerene na lokacijama prikazano je kroz vrednosti apsolutne, relativne i procentualne greške. Model je testiran sa podacima prikupljenim na 6 lokacija.

b) Analiza prihvatljivih pešačkih intervala

Za potrebe analize pešačkih intervala od svih 38 lokacija na kojima je izvršeno snimanje saobraćaja izdvojena su 4 pešačka prelaza na kojima su analizirani pešački intervali. Naime, kriterijumi za odabir lokacija su bili broj saobraćajnih traka i smer kretanja vozila. Sve lokacije su klasifikovane u tri grupe po kriterijumu broja saobraćajnih traka (jedna, dve i više od dve trake) i u dve grupe po kriterijumu smera kretanja vozila (jednosmerno i dvosmerno kretanje). Nakon toga su izabrane četiri karakteristične lokacije koje su predstavljale kombinacije navedenih kriterijuma:

- jedna saobraćajna traka, jednosmerno kretanje vozila,
- dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila,
- dve saobraćajne trake, jednosmerno kretanje vozila i
- više od dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila.

Karakteristične lokacije su poslužile za utvrđivanje obrasca ponašanja pešaka prilikom prelaska kolovoza, dok su prihvatljivi intervali analizirani u odnosu na karakteristike pešaka (pol) i karakteristike prelaska (pešak je sam ili u grupi).

Dobijeni model, rezultati analize i preporuke dati su u narednim poglavljima.

7. FORMIRANJE MODELA ZA STEPEN PROPUŠTANJA PEŠAKA OD STRANE VOZILA

U skladu sa postavljenim hipotezama i u cilju formiranja matematičkog oblika modela za SPP, formirana je baza podataka na osnovu istraživanja koje je sprovedeno na 32 pešačka prelaza. Baza podataka sadrži osnovne karakteristike lokacija, kao što su geometrija, uslovi odvijanja saobraćaja, način regulisanja saobraćaja, kao i karakteristike saobraćajnih tokova (Prilog 2).

Pošto se analizirani pešački prelazi nalaze u pet različitih gradova u dve države, klasifikacija je izvršena u odnosu na državu, veličinu grada, kao i položaj lokacije u odnosu na centralni gradski distrikt. Za sve lokacije prikupljeni su podaci o tipu pešačkog prelaza, broju saobraćajnih traka, širini saobraćane trake, širini i dužini pešačkog prelaza, postojanju razdelnog ostrva, smeru kretanja, kao i o uticaju ulično parkiranih vozila u blizini prelaza i biciklističe staze. Baza podataka sadrži i informacije o primenjenim merama na lokacijama, kao što je ograničenje brzine, primena tehničkih sredstava za umirenje saobraćaja i činjenicu da li se pešački prelaz nalazi u zoni škole.

Na svim snimljenim lokacijama evidentirano je ukupno 12 786 pešaka, odnosno 29 253 vozila, dok je procenat teretnih vozila i autobusa iznosio maksimalno 26,4%, odnosno 8,7%, respektivno.

Protok pešaka se na posmatranim lokacijama kretao u rasponu od 32 do 1129 pešaka/h, dok je protok vozila u svim trakama posmatrano u oba smera iznosio od 151 do 1754 PAJ/h. Analizom strukture saobraćajnog toka dobijen je procenat teretnih vozila (laka, srednja i teška teretna vozila), kao i autobusa, koji je na lokacijama iznosio maksimalno 26,4%, odnosno 8,7% respektivno. U cilju formiranja pokazatelja koji bi objedinio uticaj pešaka i vozila na pešačkom prelazu, izvedena je veličina koja u odnos stavlja ukupan broj vozila, izraženih u PAJ jedinicama, i broj pešaka. Za svaki pešački prelaz je izračunat SPP kao odnos broja vozila koja su

7. Formiranje modela za stepen propuštanja pešaka od strane vozila

stala/usporila da propuste pešaka i broja vozila koja su mogla da se zaustave/uspore.

Sve prikupljene karakteristike su definisane kao polazne veličine za formiranje matematičkog modela, tj. kao nezavisne promenljive. Kao zavisno promenljiva definisana je veličina SPP za koju je u modelu i daljem postupku korišćena oznaka M_y koja je u skladu sa označavanjem navedenog parametra prema HCM-u (Tabela 7.1).

Tabela 7.1: Spisak polaznih zavisno promjenljivih u analizi nezavisno promenljive M_y

Oznaka	Promenljiva	Opis	Vrednost
x_1	Država	Država u kojoj se nalazi lokacija	Republika Srbija = 1 BiH = 0
x_2	Broj stanovnika	Okvirni broj stanovnika u gradu gde se nalazi lokacija	Broj stanovnika preko 100 000 = 1 Ostali gradovi = 0
x_3	Centar grada	Položaj lokacije u odnosu na centar grada	Centar grada = 1 Ostali delovi grada = 0
x_4	Tip pešačkog prelaza	Lokacija pešačkog na raskrsnici ili izdvojenom prelazu	Raskrsnica = 1 Izdvojeni pešački prelaz = 0
x_5	Zona škole	Položaj lokacije u odnosu na zonu škole	Zona škole = 1 Ostale zone = 0
x_6	Tehnička sredstva za usporavanje saobraćaja	Prisustvo navednih sredstava na lokaciji (npr. tzv. „ležeći policajci“)	Usporavanje saobraćaja = 1 Bez usporavanja saobraćaja = 0
x_7	Ograničenje brzine	Ograničenje brzine na delu ulične mreže	km/h
x_8	Razdelno ostrvo	Postojanje razdelnog ostrva na lokaciji	Razdelno ostrvo postoji = 1 Razdelno ostrvo ne postoji = 0
x_9	Smer kretanja	Smer kretanja vozila na lokaciji	Dvosmeran kolski saobraćaj = 1 Jednosmeran kolski saobraćaj = 0
x_{10}	Parkirana vozila	Prisustvo parkiranih vozila u blizini lokacije	Ulično parkiranje postoji = 1 Ulično parkiranje ne postoji = 0
x_{11}	Biciklistička staza	Prisustvo biciklističke staze u blizini lokaciji	Biciklistička staza postoji = 1 Biciklistička staza ne postoji = 0
x_{12}	Saobraćajne trake	Broj saobraćajnih traka	1 ili 2 trake = 1 3 ili više traka = 0
x_{13}	Širina saobraćajne trake	Širina trake na lokaciji	m
x_{14}	Širina pešačkog prelaza	Širina pešačkog prelaza na lokaciji	m
x_{15}	Dužina pešačkog prelaza	Dužina pešačkog prelaza na lokaciji	m
x_{16}	Protok pešaka	Ukupan broj pešaka koji su prešli pešački prelaz (oba smera kretanja)	pešaka/h
x_{17}	Protok vozila	Ukupan broja vozila (oba smera kretanja, sve saobraćajne trake)	PAJ/h
x_{18}	Broj vozila/Broj pešaka	Odnos ukupnog broja vozila i pešaka na lokaciji	-
x_{19}	% BUS	Procenat autobusa u odnosu na ukupan broj vozila na lokaciji	%
x_{20}	% TERETNA	Procenat teretnih vozila u odnosu na ukupan broj vozila na lokaciji	%
y	M_y	Stepen propuštanja pešaka od strane vozila	-

7.1. Izdvajanje polaznih nezavisno promenljivih za formiranje modela

Na osnovu prikupljenih podataka formirana je korelaciona matrica koja sadrži koeficijente korelacije (r) i p vrednost (p) za sve kombinacije promenljivih (Prilog 3).

Koeficijent korelacije r (tzv. Pirsonov koeficijent linearne korelacije) je mera jačine i smera povezanosti između dve promenljive veličine. Vrednost Pirsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do -1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta pokazuje da li je korelacija pozitivna (obe promenljive zajedno i opadaju i rastu) ili negativna (jedna promenljiva opada kada druga raste i obrnuto). Razni autori daju različita tumačenja za vrednost korelacije. Prema [Petzu \(1985\)](#) za grubu aproksimaciju visine povezanosti između dve promenljive može poslužiti sledeća klasifikacija:

- r od 0.00 do +- 0,20 znači nikakvu ili neznatnu povezanost
- r od +-0.20 do +-0,40 znači laku povezanost
- r od +-40 do +-0,70 znači stvarnu značajnu povezanost
- r od +-70 do +-1,00 znači visoku ili vrlo visoku povezanost.

Za svaku korelaciju je izračunata i p -vrednost za statistički nivo značajnosti $\alpha=0,95$. Tumačenje rezultata korelacione matrice je značajno za utvrđivanje veza između podataka, kao i za izbor promenljivih koje će učestvovati u modelu. Analizom rezultata dobijene korelacione matrice izdvojene su nezavisno promenljive koje imaju najjači uticaj na zavisno promenljivu M_y , a to su x_1 (država), x_9 (smer kretanja), x_{16} (protok pešaka), x_{18} (broj vozila/broj pešaka), x_{19} (% autobusa) i x_{20} (% teretnih vozila). Pored izdvojenih nezavisno promenljivih sa najjačim uticajem, daljom analizom korelacione matrice izdvojene su još tri promenljive koje će ući u formiranje modela. Iako je nezavisna promenljiva x_{17} (protok vozila) indirektno izražena preko promenljive x_{18} (broj vozila/broj pešaka), zbog relativno male p -vrednosti ($p < 0.1$) promenljiva x_{17} je izdvojena kao potencijalna promenljiva u modelu. Kao što se vidi iz rezultata korelacione analize, ni jedna od promenljivih koja spada u grupu geometrijskih obeležja pešačkog prelaza nije se pokazala kao statistički značajna pri uticaju na zavisno promenljivu. Analizom ranijih istraživanja koja su se bavila razvojem i primenom metoda za povećanje SPP-a, najveći uticaj imala je primena određenih tehničkih mera na geometriju pešačkog prelaza koje su direktno uticale na režim odvijanja saobraćaja u zonama pešačkih prelaza. Pod pretpostavkom da geometrijske karakteristike ipak utiču na SPP, od svih promenljivih izabrane su one koje je su analizi pokazale najviše uticaja, a to su nezavisno promenljiva x_{15} (dužina pešačkog prelaza) i promenljiva x_8 (razdelno ostrvo). Na ovaj način je od ukupno

7. Formiranje modela za stepen propuštanja pešaka od strane vozila

dvadeset promenljivih izabrano devet nezavisno promenljivih sa najjačim uticajem na zavisno promenljivu M_y (Tabela 7.2).

Tabela 7.2: Nezavisno promenljive izdvojene za formiranje modela

Oznaka	Promenljiva	r	p
x_1	Država	-0,355	0,046
x_8	Razdelno ostrvo	0,306	0,089
x_9	Smer kretanja	-0,361	0,043
x_{15}	Dužina pešačkog prelaza	-0,192	0,292
x_{16}	Protok pešaka	0,621	0,000
x_{17}	Protok vozila	-0,307	0,087
x_{18}	Broj vozila/Broj pešaka	-0,754	0,000
x_{19}	% BUS	-0,353	0,048
x_{20}	% TERETNA	-0,552	0,001

Iz korelacione matrice se takođe uočava intenzitet i smer uticaja različitih nezavisno promenljivih na vrednost zavisno promenljive, pa se mogu uočiti sledeće zakonitosti:

- najznačajnija korelacija postoji između zavisno promenljive M_y i nezavisno promenljivih x_{16} (protok pešaka) i x_{18} (broj vozila/broj pešaka), pri čemu vrednost koeficijenta korelacije iznosi $r=0,621$ i $r=-0,754$, respektivno, dok je p vrednost u oba slučaja $p=0,000$.
- slabija korelacija, ali ipak statistički pouzdana, postoji između zavisno promenljive M_y i nezavisno promenljivih x_1 (država), x_9 (smer kretanja), x_{19} (% autobusa) i x_{20} (% teretnih vozila).
- iako prema rezultatima korelacione matrice ne postoji jaka veza između zavisno promenljive M_y i nezavisno promenljivih x_{15} (dužina pešačkog prelaza) i x_8 (razdelno ostrvo), analiza ranijih istraživanja je pokazala da su to promenljive koje imaju značajan uticaj na povećanje SPP-a, pa se pretpostavlja da će se jedna od ovih promenljivih pojaviti kao moguća nezavisno promenljiva u nekoj od varijanti modela.
- Od svih izdvojenih nezavisno promenljivih, promenljiva x_{16} (protok pešaka) i promenljiva x_8 (razdelno ostrvo) imaju pozitivan koeficijent korelacije u odnosu na M_y . To znači da se sa povećanjem vrednosti nezavisno promenljive x_{16} , tj. povećanjem protoka pešaka, odnosno postojanjem razdelnog ostrva na lokaciji ($x_8=1$) vrednost SPP-a takođe povećava.
- Sve ostale nezavisno promenljive imaju suprotan smer zakonitosti, tj. povećavanjem njihovih vrednosti, SPP se smanjuje. To se pre svega odnosi na promenljive x_{15} (dužina pešačkog prelaza), x_{17} (protok vozila), x_{18} (broj vozila/broj pešaka), x_{19} (% autobusa) i x_{20} (% teretnih vozila), jer su to sve neprekidne slučajne promenljive koje mogu uzeti bilo koju vrednost. Nezavisno promenljive x_1 (država) i x_9 (smer kretanja) su diskretne slučajne promenljive i one mogu imati vrednost 0 ili 1.

To, na primer, znači da postojanje dvosmernog kretanja vozila na lokaciji pešačkog prelaza ($x_9=1$) utiče na smanjenje SPP-a, u odnosu na slučaj kada se vozila kreću u samo jednom smeru ($x_9=0$).

- Iako slučajne promenljive x_8 (razdelno ostrvo) i x_9 (smer kretanja) imaju međusobno visok koeficijent korelacije ($r=-0,882$), što može da dovede do toga da jedna od promenljivih isključi drugu u nekoj od varijanti modela, ipak su obe promenljive izabrane kao polazne promenljive iz razloga što spadaju u istu grupu karakteristika lokacije. One imaju približno isti uticaj na nezavisno promenljivu, pa na krajnji rezultat modela neće mnogo uticati izbor jedne od ove dve promenljive, jer će se statističkim metodama izabrati najpovoljnija kombinacija promenljivih. Slična situacija se javlja i kod nezavisno promenljivih x_{16} (protok pešaka) i x_{18} (broj vozila/broj pešaka) koje su takođe obe izdvojene kao promenljive za formiranje modela, jer predstavljaju promenljive koje karakterišu strukturu saobraćajnog toka, a u obzir uzimaju i broj pešaka. Međutim, njihova međusobna korelacija je $r=-0,652$, što je ipak manje od preporuke da se iz iste analize izbace ili transformišu promenljive koje imaju korelaciju veću od $r=|0,700|$.

7.2. Rezultati regresione analize

Prva faza u razvoju modela jeste primena statističkih tehnika regresije za određivanje jednačina koje na najbolji mogući način opisuju promene između zavisne i nezavisnih promenljivih, tj. traži se jednačina koja razliku između realnih (empirijskih) i modelskih vrednosti svodi na minimum. Za izradu modela SPP-a korišćena je višestruka linearna regresija. U ovom pristupu se pretpostavlja da postoji linearna veza između zavisno promenljive (y) i jedne ili više nezavisno promenljivih (x_1, x_2, \dots, x_n) koja se može izraziti u obliku:

$$y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + b_n.x_n \quad (7.1)$$

gde $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ predstavljaju parametre modela, tj. regresione koeficijente.

Za statističko vrednovanje regresionog modela koriste se različiti testovi (t test, koeficijent korelacije (r), koeficijent determinacije (R^2), standardna greška (S)...), pri čemu se ukupna ocena valjanosti modela zasniva na rezultatima pojedinačnih testova zajedno.

Test regresionih koeficijenata, tzv. **t-test** služi za ocenu statističke valjanosti pojedinih promenljivih, a vrednosti t-testa regresionih koeficijenata koje su veće od

tabličnih vrednosti ($t > 2$) pokazuju da odgovarajuća nezavisno promenljiva ima značaja u regresionoj jednačini.

Koeficijent determinacije R^2 se kreće u intervalu od 0 do 1, i dobija se kvadriranjem koeficijenta korelacije r . Najčešće se izražava u procentima (%) i pokazuje koliko je promena zavisno promenljive objašnjeno promenama nezavisno promenljivih. U analizi se često izračunava i prikazuje korigovani koeficijent determinacije $R^2(\text{adj})$ sa ciljem dobijanja pokazatelja koji se neće neopravdano povećavati sa rastom broja objašnjavajućih promenljivih.

Standardna greška (S) označava stepen odstupanja od podataka oko uspostavljene regresione linije. Matematički, to je mera greške koju treba očekivati u proceni zavisno promenljive iz nezavisno promenljivih u jednačini.

Takođe, ispitivanje logičke povezanosti između promenljivih je kod primene regresijskih analiza od velike važnosti, jer statistički ispravno postavljen model ne mora dati dobre rezultate u daljoj primeni.

U tu svrhu za formiranje i ocenu regresionih modela korišćen je softverski paket MINITAB 17.1.0, a pored statističkih testova izvršene su i provere logičnosti i opravdanosti uspostavljenih zakonitosti koje su dobijene kao izlazni rezultat statističke analize.

Formiranje modela vršeno je primenom regresione analize metodama „*Best subsets*“ i „*Stepwise*“, a formirana je i varijanta modela koja je uključivala sve izdvojene promenljive za formiranje modela. Metoda „*Best subsets*“ je automatska procedura koja identifikuje i izdvaja najbolje regresione modele sa izabranim brojem promenljivih, dok „*Stepwise*“ metoda, odnosno regresiona analiza u koracima, selektivno vrši izbor nezavisno promenljivih koje značajno objašnjavaju zavisnu promenljivu. Naime, kada je međusobna kolinearnost nezavisno promenljivih velika, onda mnoge promenljive imaju slično značenje, pa nije potrebno da sve one budu uključene u model. „*Stepwise*“ regresija omogućava da se eliminišu promenljive koje se preklapaju sa drugima i zbog toga malo ili uopšte ne doprinose tačnosti u predviđanju modela. Kao rezultat ovog pristupa dobija se novi model sa manjim brojem nezavisno promenljivih koji je isto toliko dobar koliko i model u kojem se nalaze sve nezavisne promenljive. Za obe metode je izdvojeno devet nezavisno promenljivih (Tabela 7.2), a zavisna promenljiva je bila M_y .

U skladu sa prethodno navedenim formirano je šest varijanti modela:

1. Kompletan model koji sadrži sve izdvojene nezavisne promenljive;
2. „*Best subsets*“ metoda: model sa najvećim stepenom determinacije ($\max R^2$) za varijantu sa tri nezavisno promenljive;
3. „*Best subsets*“ metoda: model sa najvećim stepenom determinacije ($\max R^2$) za varijante sa četiri nezavisno promenljive;

4. „Best subsets“ metoda: model sa najvećim stepenom determinacije (max R^2) za varijante sa pet nezavisno promenljivih;
5. „Best subsets“ metoda: model sa najvećim stepenom determinacije (max R^2) za varijante sa šest nezavisno promenljivih;
6. „Stepwise“ metoda.

Kompletni izlazni rezultati statističke analize prikazani su u Prilogu 4.

7.2.1. Varijanta 1: kompletan model

Kompletan model formiran je primenom regresione analize u kojoj su bile uključene sve promenljive izdvojene za formiranje modela. Na ovaj način su identifikovane najznačajnije promenljive, jer se većina promenljivih koja je pokazala značajnu korelaciju sa nezavisnom promenljivom, pokazala i statistički značajnom u kompletnom modelu (x_{16} , x_{17} , x_{19} , x_{20}). Iako model u Varijanti 1 ima izuzetno visok koeficijent determinacije R^2 (89,78) i malu p-vrednost ($p < 0,000$), što je i očekivano za model u koji su uključene sve promenljive, vrednosti t-testa i p-vrednosti za ostale nezavisno promenljive ($x_1, x_8, x_9, x_{15}, x_{18}$) ne pokazuju značajnu statističku vezu.

Tabela 7.3: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 1 - kompletan model

My = 0,6902 + 0,0027 x ₁ - 0,0128 x ₈ - 0,0710 x ₉ + 0,00502 x ₁₅ + 0,000244 x ₁₆ - 0,000222 x ₁₇ - 0,00054 x ₁₈ - 0,02485 x ₁₉ - 0,01770 x ₂₀				
S	0,0612439			
R ²	89,78			
R ² (adj)	85,60			
p - vrednost	0,000			
Član	Koeficijent	Standardna greška	t - vrednost	p - vrednost
Konstanta	0,6902	0,0713	9,68	0,000
x ₁	0,0027	0,0423	0,06	0,950
x ₈	-0,0128	0,0544	-0,23	0,817
x ₉	-0,0710	0,0537	-1,32	0,200
x ₁₅	0,00502	0,00830	0,60	0,552
x ₁₆	0,000244	0,000080	3,07	0,006
x ₁₇	-0,000222	0,000057	-3,88	0,001
x ₁₈	-0,00054	0,00876	-0,06	0,951
x ₁₉	-0,02485	0,00579	-4,29	0,000
x ₂₀	-0,01770	0,00299	-5,91	0,000

Ovakvi rezultati kompletnog modela uzrok su visoke međusobne korelacije između pojedinih nezavisnih promenljivih, što je rezultiralo prikazivanjem navedenih promenljivih statistički slabo značajnim u modelu, u odnosu na rezultate koji su dobijeni korelacionom analizom.

Problem međusobne visoke korelacije pojedinih promenljivih biće rešen primenom drugih statističkih metoda u formiranju regresionog modela, kao što je „Stepwise“ analiza. U Tabeli 7.3 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize za Varijantu 1.

7.2.2. Varijanta 2: best subsets, max R^2 , 3 promenljive

Prilikom formiranja modela za Varijantu 2 korišćena je metoda „Best subset“ za tri nezavisno promenljive. Iz izlaznih rezultata analize (Prilog 4) izdvojen je najoptimalniji model sa najvećim stepenom determinacije R^2 koji u sebi sadrži tri nezavisno promenljive. Vrednost za R^2 u izdvojenom modelu je 78,64, dok je p-vrednost $p=0,000$. Nezavisne promenljive koje su ušle u model su x_{17} (protok vozila), x_{19} (% autobusa) i x_{20} (% teretnih vozila). Iako statistički testovi pokazuju dobru ocenu predloženog modela, njegov glavni nedostatak je u tome što od izabranih promenljivih figurišu samo one promenljive koje predstavljaju karakteristike strukture saobraćajnog toka, dok ni jedna promenljiva ne predstavlja meru broja pešaka ili drugih karakteristika lokacije. Iz navedenih razloga, dobijeni model je odbačen i formirana je naredna varijanta. U Tabeli 7.4 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize za Varijantu 2.

Tabela 7.4: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 2

$M_y = 0,8110 - 0,000230 x_{17} - 0,03166 x_{19} - 0,02316 x_{20}$				
S	0,0784921			
R^2	78,64			
R^2 (adj)	76,35			
p - vrednost	0,000			
Član	Koeficijent	Standardna greška	t - vrednost	p - vrednost
Konstanta	0,8110	0,0417	19,47	0,000
x_{17}	-0,000230	0,000039	-5,89	0,000
x_{19}	-0,03166	0,00597	-5,30	0,000
x_{20}	-0,02316	0,00265	-8,73	0,000

7.2.3. Varijanta 3: best subsets, max R^2 , 4 promenljive

Iz izlaznih rezultata regresione analize metodom „Best subsets“ (Prilog 4) izdvojen je najoptimalniji model sa najvećim stepenom determinacije R^2 koji u sebi sadrži četiri nezavisno promenljive. Vrednost za R^2 u izdvojenom modelu je 86,81, dok je p-vrednost $p=0,000$. Nezavisne promenljive koje su ušle u model su iste kao i u Varijanti 2, sa još jednom dodatnom nezavisno promenljivom x_{16} (protok pešaka). Nedostatak prethodnog modela dobijenog u Varijanti 2 delimično je ispravljen u

Varijanti 3 dodavanjem nezavisne promenljive koja reprezentuje broj pešaka na pešačkom prelazu. Međutim, u modelu i dalje ne figuriše nijedna promenljiva koja bi predstavljala karakteristike lokacije, koje su se na osnovu prethodnih istraživanja pokazale kao izuzetno značajne u uticaju na SPP, što je u svim modelima zavisno promenljiva veličina. Iz navedenih razloga, dobijeni model je odbačen i formirana je naredna varijanta. U Tabeli 7.5 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize za Varijantu 3.

Tabela 7.5: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 3

$My = 0,6872 + 0,000240 x_{16} - 0,000201 x_{17} - 0,02837 x_{19} - 0,01930 x_{20}$				
S	0,0628175			
R ²	86,81			
R ² (adj)	84,85			
p - vrednost	0,000			
Član	Koeficijent	Standardna greška	t - vrednost	p - vrednost
Konstanta	0,6872	0,0450	15,26	0,000
x ₁₆	0,000240	0,000059	4,09	0,000
x ₁₇	-0,000201	0,000032	-6,26	0,000
x ₁₉	-0,02837	0,00485	-5,85	0,000
x ₂₀	-0,01930	0,00232	-8,30	0,000

7.2.4. Varijanta 4: best subsets, max R², 5 promenljivih

Metodom „Best subsets“ izdvojen je najoptimalniji model sa najvećim stepenom determinacije R² koji u sebi sadrži pet nezavisno promenljivih. Vrednost za R² u izdvojenom modelu je 89,56, dok je p-vrednost p=0,000. Nezavisne promenljive koje su ušle u model su iste kao i u Varijanti 3, sa još jednom dodatnom nezavisno promenljivom x₉ (smer kretanja). Nedostatak prethodnih modela dobijenih u Varijanti 2 i Varijanti 3 potpuno je ispravljen u Varijanti 4 dodavanjem nezavisne promenljive koja karakteriše smer kretanja vozila na pešačkom prelazu.

Iako Varijanta 4 zadovoljava sve kriterijume statističkih ocena i kriterijume izbora nezavisno promenljivih, formirane su i ostale varijante modela kako bi se potvrdio izbor Varijante 4 kao najoptimalnijeg modela. U Tabeli 7.6 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize za Varijantu 4.

Tabela 7.6: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 4

$M_y = 0,7029 - 0,0562 x_9 + 0,000246 x_{16} - 0,000204 x_{17} - 0,02533 x_{19} - 0,01787 x_{20}$				
S	0,0569512			
R ²	89,56			
R ² (adj)	87,55			
p - vrednost	0,000			
Član	Koeficijent	Standardna greška	t - vrednost	p - vrednost
Konstanta	0,7029	0,0413	17,04	0,000
x ₉	-0,0562	0,0215	-2,62	0,015
x ₁₆	0,000246	0,000053	4,62	0,000
x ₁₇	-0,000204	0,000029	-7,01	0,000
x ₁₉	-0,02533	0,00455	-5,57	0,000
x ₂₀	-0,01787	0,00218	-8,21	0,000

7.2.5. Varijanta 5: best subsets, max R², 6 promenljivih

Metodom „Best subsets“ izdvojen je najoptimalniji model sa najvećim stepenom determinacije R² koji u sebi sadrži šest nezavisno promenljivih. Vrednost za R² u izdvojenom modelu je 89,76, dok je p vrednost p=0,000. Nezavisne promenljive koje su ušle u model su iste kao i u Varijanti 4, sa još jednom dodatnom nezavisno promenljivom x₁₅ (dužina pešačkog prelaza). Međutim, analizom rezultata regresione analize uočava se da promenljiva x₁₅ (dužina pešačkog prelaza) koja je dodata u Varijanti 5, ne zadovoljava uslove statističkog vrednovanja (p=0,493, tj. p>0,05 i t=0,70, tj. vrednost t je manja od granične tablične vrednosti). Iz navedenih razloga, dobijeni model je odbačen, čime se potvrđuje činjenica je najoptimalniji model dobijen u Varijanti 4. U Tabeli 7.7 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize za Varijantu 5.

Tabela 7.7: Osnovni izlazni rezultati višestruke regresije za Varijantu 4

$M_y = 0,6813 - 0,0608 x_9 + 0,00497 x_{15} + 0,000248 x_{16} - 0,000226 x_{17} - 0,02430 x_{19} - 0,01778 x_{20}$				
S	0,0575249			
R ²	89,76			
R ² (adj)	87,30			
p - vrednost	0,000			
Član	Koeficijent	Standardna greška	t - vrednost	p - vrednost
Konstanta	0,6813	0,0520	13,11	0,000
x ₉	-0,0608	0,0227	-2,68	0,013
x ₁₅	0,00497	0,00714	0,70	0,493
x ₁₆	0,000248	0,000054	4,60	0,000
x ₁₇	-0,000226	0,000043	-5,25	0,000
x ₁₉	-0,02430	0,00483	-5,04	0,000
x ₂₀	-0,01778	0,00220	-8,07	0,000

7.2.6. Varijanta 6: Stepwise analiza

Da bi se potvrdio izbor Varijante 4 kao najoptimalnijeg modela, izvršena je i „Stepwise“ analiza, tj. regresiona analiza u koracima.

Tabela 7.8: Osnovni izlazni rezultati „Stepwise“ analize (višestruke regresije u koracima) za Varijantu 6

1. korak			2. korak		
	Koeficijent	p - vrednost		Koeficijent	p - vrednost
Konstanta	0,6110		Konstanta	0,6530	
X ₁₈	-0,04227	0,000	X ₁₈	-0,04147	0,000
X ₁₉			X ₁₉	-0,02144	0,006
X ₂₀			X ₂₀		
X ₁₇			X ₁₇		
X ₁₆			X ₁₆		
X ₉			X ₉		
R ²	56,80		R ²	66,98	
R ² (adj)	55,36		R ² (adj)	64,70	
S	0,107844		S	0,0959054	
3. korak			4. korak		
	Koeficijent	p - vrednost		Koeficijent	p - vrednost
Konstanta	0,6811		Konstanta	0,7766	
X ₁₈	-0,03204	0,000	X ₁₈	-0,01921	0,005
X ₁₉	-0,02682	0,000	X ₁₉	-0,02872	0,000
X ₂₀	-0,01081	0,001	X ₂₀	-0,01683	0,000
X ₁₇			X ₁₇	-0,000141	0,004
X ₁₆			X ₁₆		
X ₉			X ₉		
R ²	78,28		R ²	84,10	
R ² (adj)	75,95		R ² (adj)	81,74	
S	0,0791519		S	0,0689734	
5. korak			6. korak		
	Koeficijent	p - vrednost		Koeficijent	p - vrednost
Konstanta	0,6981		Konstanta	0,6872	
X ₁₈	-0,00804	0,270	X ₁₈		
X ₁₉	-0,02781	0,000	X ₁₉	-0,02837	0,000
X ₂₀	-0,01744	0,000	X ₂₀	-0,01930	0,000
X ₁₇	-0,000170	0,000	X ₁₇	-0,000201	0,000
X ₁₆	0,000191	0,014	X ₁₆	0,000240	0,000
X ₉			X ₉		
R ²	87,42		R ²	86,81	
R ² (adj)	85,01		R ² (adj)	84,85	
S	0,0625034		S	0,0628175	
7. korak					
	Koeficijent	p - vrednost			
Konstanta	0,7029				
X ₁₈					
X ₁₉	-0,02533	0,000			
X ₂₀	-0,01787	0,000			
X ₁₇	-0,000204	0,000			
X ₁₆	0,000246	0,000			
X ₉	-0,0562	0,015			
R ²	89,56				
R ² (adj)	87,55				
S	0,0569512				

Promenljive koje učestvuju u formiranju modela „Stepwise“ metodom su sve promenljive koje su izabrane iz skupa početnih promenljivih za formiranje modela ($x_1, x_8, x_9, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$). „Stepwise“ analiza izvršena je kroz sedam koraka, a u Tabeli 7.8 prikazan je dobijeni model i najvažniji rezultati regresione analize „Stepwise“ metodom za Varijantu 6.

U Tabeli 7.8 je takođe prikazan i redosled uvođenja i izbacivanja pojedinačnih nezavisno promenljivih primenom metodom regresije. U poslednjem koraku (7) je formiran najoptimalniji model koji sadrži pet nezavisno promenljivih, a rezultati „Stepwise“ analize se u potpunosti poklapaju sa Varijantom 4, jer su izabrane iste promenljive: x_9 (smer kretanja), x_{16} (protok pešaka), x_{17} (protok vozila), x_{19} (% autobusa) i x_{20} (% teretnih vozila).

7.3. Izbor modela

Nakon primenjenih metoda regresione analize koja je podrazumevala formiranje šest varijanti modela, analizirani su dobijeni rezultati u cilju izbora najoptimalnijeg modela. Svi potencijalni modeli i njihove najznačajnije statističke vrednosti prikazani su u Tabeli 7.9.

Tabela 7.9. Uporedni prikaz rezultata za šest varijanti modela

Model	Metoda	Nezavisno promenljive	p	R ²	R ² (adj)	S
Varijanta 1	Kompletan model	$x_1 x_8 x_9 x_{15} x_{16} x_{17} x_{18} x_{19} x_{20}$	0,000	89,78	85,60	0,0612439
Varijanta 2	Best subsets, 3 promenljive	$x_{17} x_{19} x_{20}$	0,000	78,64	76,35	0,0784921
Varijanta 3	Best subsets, 4 promenljive	$x_{16} x_{17} x_{19} x_{20}$	0,000	86,81	84,85	0,0628175
Varijanta 4	Best subsets, 5 promenljivih	$x_9 x_{16} x_{17} x_{19} x_{20}$	0,000	89,56	87,55	0,0569512
Varijanta 5	Best subsets, 6 promenljivih	$x_9 x_{15} x_{16} x_{17} x_{19} x_{20}$	0,000	89,76	87,30	0,0575249
Varijanta 6	Stepwise	$x_9 x_{16} x_{17} x_{19} x_{20}$	0,000	89,56	87,55	0,0569512

Formiranje modela u Varijanti 6 metodom regresione analize u koracima je potvrdilo izbor modela formiranog u Varijanti 4 metodom „Subset“ kao najoptimalnijeg modela koji će se koristiti u modelovanju SPP-a. Naime, uvidom u statističke rezultate za Varijantu 4, odnosno za Varijantu 6 koja je dala isti izbor promenljivih, može se zaključiti da model sa jako visokom vrednošću koeficijenta determinacije $R^2=89,56$ izuzetno dobro reprezentuje emirijske podatke, sa najmanjom standardnom greškom ocene od svih potencijalnih modela ($S=0,0569512$). Pored statističkog vrednovanja, analizirana je i logička povezanost između promenljivih u

modelu, kao i izbor promenljivih koje su ušle u izabrani model, a koji je u skladu sa polaznim hipotezama rada.

Osnovni statistički podaci o nezavisnim promenljivim koje su ušle u izabrani model (Varijanta 4, odnosno Varijanta 6), kao i podaci o izabranom modelu iprikazani su u Tabeli 7.10. Formalni oblik modela je:

$$M_y = 0.7029 - 0.0562 \cdot x_9 + 0.000246 \cdot x_{16} - 0.000204 \cdot x_{17} - 0.02533 \cdot x_{19} - 0.01787 \cdot x_{20} \quad (7.2)$$

gde su:

x_9 - smer kretanja (1= dvosmerno kretanje vozila, 0 = jednosmerno kretanje vozila)

x_{16} - protok pešaka (pešaka/h)

x_{17} - protok vozila (PAJ/h)

x_{19} - učešće autobusa u strukturi saobraćajnog toka (%)

x_{20} - učešće teretnih vozila u strukturi saobraćajnog toka (%)

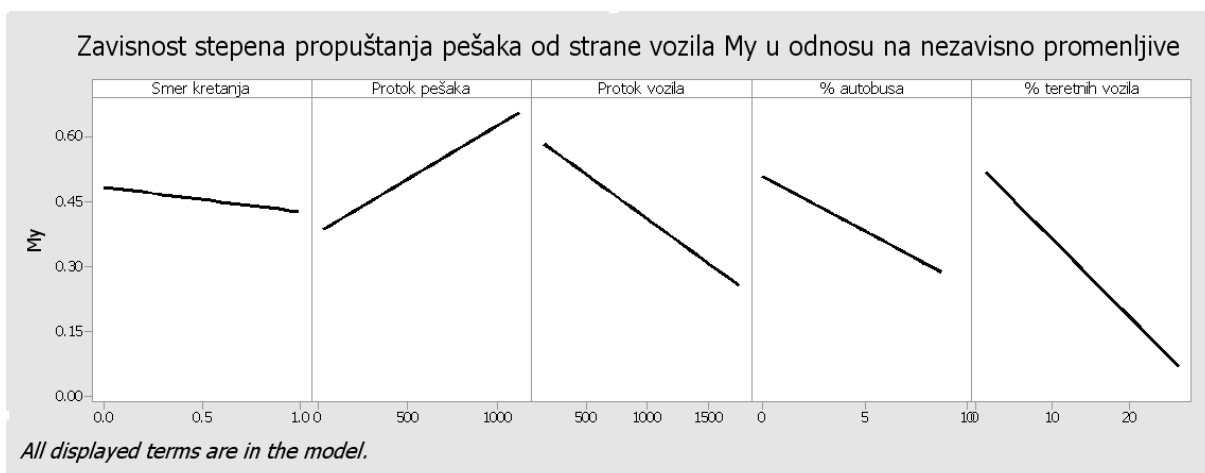
M_y - stepen propuštanja pešaka od strane vozila.

Tabela 7.10: Osnovni statistički podaci i nezavisne promenljive koje su ušle u izabrani model

Nezavisne promenljive	Koeficijent	t - vrednost	p vrednost
Slobodni član	0,7029	17,4	0,000
Smer kretanja	-0,0562	-2,62	0,015
Protok pešaka	0,000246	4,62	0,000
Protok vozila	-0,000204	-7,01	0,000
% autobusa	-0,02533	-5,57	0,000
% teretnih vozila	-0,01787	-8,21	0,000
R^2	89,56		
R^2 (adj)	87,55		
S	0,0569512		
N (veličina uzorka)	32		

Za izabrani model Varijanta 4, odnosno Varijanta 6, formirani su dijagrami (Slika 7.1) koji prikazuju zavisnosti M_y u funkciji jedne od nezavisnih promenljivih u modelu (pretpostavljajući da ostale promenljive imaju konstantnu vrednost).

7. Formiranje modela za stepen propuštanja pešaka od strane vozila



Slika 7.1: Odnos stepena propuštanja pešaka od strane vozila i nezavisnih promenljivih koje su uključene u model

Softverski paket MINITAB 17.1.0 pruža mogućnost izrade velikog broja grafika koji daju detaljniju analizu rezultata dobijenih regresionom analizom. Kompletan grafički prikaz izvršenih regresionih analiza, kao i detaljna analiza reziduala modelovanih i stvarnih vrednosti za svih šest varijanti modela nalazi se u Prilogu 4.

Nakon izvršenog izbora modela, regresiona jednačina je primenjena za proračun SPP-a na 32 lokacije koje su bile izvor podataka za formiranje modela. Na taj način su upoređene vrednosti dobijene modelom ($M_{y_{mod}}$) i stvarne vrednosti ($M_{y_{izm}}$) koje su izmerene na lokacijama. U tu svrhu izračunate su vrednosti apsolutne, relativne i procentualne greške, kao i srednja apsolutna i srednja procentualna greška. Apsolutna greška predstavlja vrednost razlike modelovane i izmerene vrednosti, dok odnos apsolutne greške i izmerene vrednosti predstavlja relativnu grešku. Ukoliko se relativna greška izrazi u procentima, u tom slučaju se dobija procentualna greška.

Srednja apsolutna greška (eng. **Mean absolut error - MAE**) odnosi se na srednju vrednost apsolutnih vrednosti razlika modelovanih i realnih (izmerenih) vrednosti, odnosno:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (7.3)$$

Srednja apsolutna greška je praktična za evaluaciju modela, s obzirom da prati intuiciju korisnika izražavajući vrednost greške u istim jedinicama kao i

promenljiva koja je predmet modelovanja. MAE teži kao nuli, što se dešava u idealnom slučaju kada ne postoji razlika između modelovanih i realnih vrednosti.

Srednja apsolutna procentualna greška (eng. **Mean absolute percentage error - MAPE**) predstavlja meru tačnosti predviđenih vrednosti u odnosu na izmerene, izraženu u procentima, odnosno:

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|f_i - y_i|}{|y_i|} \quad (7.4)$$

Za razliku od prethodno opisane greške (MAE), MAPE se ne izražava u jedinicama promenljive, već se posmatra srednja vrednost procentualne razlike između svih realnih i modelovanih vrednosti. Srednja apsolutna procentualna greška teži da ima vrednost nula kada su modelovane vrednosti bliže izmerenim vrednostima.

U Tabeli 7.11 prikazano je poređenje izmerenih i modelovanih vrednosti, kao i veličine apsolutne, relativne i procentualne greške. Sve izračunate i prikazane greške su predstavljene sa predznacima „+“ i „-“.

Standardna greška regresije izabranog modela pokazala je najmanju grešku od svih potencijalnih modela koja iznosi $S=0,0569512 \approx 0,06$, što matematički znači da je to mera greške koju treba očekivati u proceni M_y iz nezavisno promenljivih koje figurišu u modelu. Apsolutna greška je izračunata za svaku od lokacija kao razlika između vrednosti dobijene modelom $M_{y_{mod}}$ i izmerene vrednosti $M_{y_{izm}}$. Na 40% posto lokacija model je dao vrednost manju od stvarne, dok je na 60% lokacija modelovana vrednost veća od izmerene. Vrednost apsolutne greške se kreće u granicama od 0,00 do 0,11 što znači da je u slučaju maksimalne vrednosti apsolutne greške model predvideo da će na toj lokaciji SPP razlikovati od stvarne vrednostiza 11%. Taj slučaj se javlja na lokaciji 20 gde je $M_{y_{izm}}=0,678$, a $M_{y_{mod}}=0,568$.

Na preko 60% lokacija vrednost apsolutne greške je manja od 0,05, a na preko 90% lokacija apsolutna greška maksimalno iznosi do 0,10. Srednja vrednost apsolutne greške za sve lokacije iznosi 0,044. Pored apsolutne greške, u Tabeli 7.11. prikazane su i relativne greške za sve slučajeve posmatranja, koje su dobijene kao odnos apsolutne greške i izmerenih vrednosti $M_{y_{izm}}$. Relativna greška se kreće u granicama od 0,000 do 0,654, što znači da je u slučaju najveće vrednosti relativne greške (za lokaciju 9) vrednost $M_{y_{mod}}=0,104$ veća za 65,4% u odnosu na stvarnu, tj. izmerenu vrednost $M_{y_{izm}}=0,063$. Apsolutna greška u ovom slučaju najveće izmerene

7. Formiranje modela za stepen propuštanja pešaka od strane vozila

relativne greške iznosi svega 0,041. Na skoro 90% lokacija vrednost relativne greške je ispod 0,20, dok na samo četiri lokacije ova greška iznosi preko 0,20.

Tabela 7.11: Izmerene vrednosti My_{izm} i vrednosti dobijene modelom My_{mod}

R. br. lokacije	My_{izm}	My_{mod}	Apsolutna greška	Relativna greška	Procentualna greška
1	0,487	0,464	-0,023	-0,048	-4,79
2	0,525	0,551	0,026	0,049	4,93
3	0,413	0,455	0,042	0,102	10,17
4	0,255	0,260	0,005	0,021	2,12
5	0,763	0,786	0,023	0,030	2,99
6	0,329	0,263	-0,066	-0,201	-20,12
7	0,239	0,248	0,009	0,037	3,65
8	0,094	0,134	0,040	0,427	42,65
9	0,063	0,104	0,041	0,645	64,48
10	0,378	0,445	0,067	0,178	17,80
11	0,412	0,402	-0,010	-0,024	-2,42
12	0,414	0,382	-0,032	-0,078	-7,75
13	0,711	0,646	-0,065	-0,092	-9,21
14	0,578	0,619	0,041	0,072	7,17
15	0,653	0,598	-0,055	-0,085	-8,47
16	0,643	0,579	-0,064	-0,100	-9,98
17	0,542	0,602	0,060	0,111	11,05
18	0,564	0,524	-0,040	-0,072	-7,18
19	0,295	0,243	-0,052	-0,178	-17,77
20	0,678	0,568	-0,110	-0,162	-16,16
21	0,609	0,562	-0,047	-0,077	-7,66
22	0,328	0,377	0,049	0,148	14,80
23	0,474	0,482	0,008	0,018	1,76
24	0,431	0,510	0,079	0,183	18,32
25	0,534	0,470	-0,064	-0,119	-11,91
26	0,488	0,459	-0,029	-0,059	-5,89
27	0,581	0,581	0,000	0,000	-0,02
28	0,508	0,549	0,041	0,081	8,08
29	0,370	0,381	0,011	0,030	3,01
30	0,328	0,430	0,102	0,312	31,17
31	0,287	0,353	0,066	0,231	23,11
32	0,496	0,533	0,037	0,075	7,52

Srednja vrednost relativne greške iznosi 0,126. Relativna greška se često izražava u procentima i u tom slučaju se naziva procentualna greška, a njene vrednosti su prikazane u poslednjoj koloni Tabele 12. Srednja vrednost procentualne greške iznosi 12,6% što znači da se modelovane i stvarne vrednosti SPP-a prosečno razlikuju za 12,6%. Navedene razlike nalaze se u prihvatljivim granicama za modelovane vrednosti parametara saobraćajnih tokova na mikrolokacijama (TAH, 2014; Milam i Choa, 2001).

7.4. Testiranje modela

Nakon što je izvršen izbor i analiza izabranog modela, izvršeno je i testiranje izabranog modela na šest lokacija. Lokacije se, kao i one iz osnovnog skupa na osnovu kojih je formiran model, nalaze u dve različite države i u četiri različita grada. Kriterijum za odabir lokacija za testiranje je bio taj da lokacije budu raznovrsne po pitanju strukture saobraćajnog toka, broja pešaka, geometrijskih obeležja pešačkog prelaza, kao i načina regulisanja i odvijanja saobraćaja.

Osnovne karakteristike lokacija koje su korišćene za testiranje modela su date u Prilogu 5, dok su u Tabeli 7.12. prikazane lokacije i vrednosti nezavisno promenljivih koje su korišćene za proračun u testiranju izabranog modela. Nakon primene izabrane varijante modela sa pet nezavisno promenljivih na šest lokacija za testiranje modela, dobijene su vrednosti SPP-a My_{mod} koje su prikazane u Tabeli 7.13. uporedo sa stvarnim, tj. izmerenim vrednostima My_{izm} na lokacijama. Kao i za prethodno izvršenu analizu modela, izračunate su apsolutne, relativne i procentualne greške, kao i njihove srednje vrednosti.

Tabela 7.12. Lokacije i vrednosti nezavisno promenljivih potrebnih za testiranje modela

Lokacija	Smer kretanja (1-dvosmerno; 0-jednosmerno)	Protok pešaka (pešaka/h)	Protok vozila (PAJ/h)	Učešće autobusa (%)	Učešće teretnih vozila (%)
	x_9	x_{16}	x_{17}	x_{19}	x_{20}
T1 (Subotica - Somborski put)	1	710	752	0,8	1,5
T2 (Zrenjanin, Žitni trg)	1	446	834	0,9	8,0
T3 (Bijeljina - Ulica Vuka Karadžića)	0	257	485	0,0	1,2
T4 (Novi Sad - Ulica Kralja Petra I)	0	293	588	2,5	3,0
T5 (Novi Sad - Novosadskog sajma)	1	124	1042	1,4	3,0
T6 (Bijeljina - Nušićeva ulica)	1	867	644	0,0	2,2

Tabela 7.13. Testiranje modela: Izmerene vrednosti My_{izm} i vrednosti dobijene modelom My_{mod}

Lokacija	My_{izm}	My_{mod}	Apsolutna greška	Relativna greška	Procentualna greška [%]
T1 (Subotica - Somborski put)	0,659	0,621	0,038	-0,058	5,78
T2 (Zrenjanin, Žitni trg)	0,412	0,421	0,009	0,021	2,07
T3 (Bijeljina - Ulica Vuka Karadžića)	0,595	0,645	0,050	0,084	8,45
T4 (Novi Sad - Ulica Kralja Petra I)	0,449	0,537	0,088	0,197	19,70
T5 (Novi Sad - Novosadskog sajma)	0,354	0,377	0,023	0,065	6,46
T6 (Bijeljina - Nušićeva ulica)	0,630	0,689	0,059	0,094	9,42

Na samo jednoj, od šest lokacija, model je dao vrednost manju od stvarne, dok je na svim ostalim lokacijama modelovana vrednost veća od izmerene. Vrednost apsolutne greške se kreće u granicama od 0,009 do 0,088 što znači da je u slučaju maksimalne vrednosti apsolutne greške model predvideo da će na toj lokaciji SPP biti 9% različit u odnosu na stvarne vrednosti. Taj slučaj se javlja na lokaciji 4 gde je $My_{izm} = 0,449$, a $My_{mod} = 0,537$. Na četiri od šest lokacija vrednost apsolutne greške je manja od 5%, a na svim lokacijama je manja od 10%. Srednja vrednost apsolutne greške za sve lokacije iznosi 0,045. Relativna greška se kreće u granicama od 0,021 do 0,197, što znači da je u slučaju najveće vrednosti relativne greške (za lokaciju 4) vrednost $My_{mod} = 0,537$ veća za 19,7% u odnosu na stvarnu, tj. izmerenu vrednost $My_{izm} = 0,449$. Apsolutna greška u ovom slučaju najveće izmerene relativne greške je takođe najveća na svim lokacijama i iznosi svega 9%. Na pet lokacija vrednost greške je manja od 10%, dok je na svim lokacijama manja od 20%. Srednja vrednost relativne greške iznosi 0,086, odnosno srednja vrednost procentualne greške iznosi 8,65% što znači da se modelovane i stvarne vrednosti SPP-a prosečno razlikuju za 8,65%. Sve izračunate i prikazane greške su predstavljene sa predznacima „+“ i „-“.

S obzirom na statističke analize rezultata izabranog modela, kao i na osnovu rezultata testiranja modela na šest lokacija, može se zaključiti da izabrani model veoma dobro opisuje empirijske podatke, tj. vrednost SPP-a koja je izmerena na pešačkim prelazima. Naime, posmatrajući 32 lokacije koje su služile za prikupljanje podataka i formiranje modela, na skoro 90% lokacija relativna greška između modelovanih i stvarnih vrednosti je manja od 20%, dok je na svih šest lokacija koje su služile za testiranje modela relativna greška takođe manja od 20%, što je u skladu sa preporukama (TAH, 2014; Milam i Choa, 2001).

8. NIVO USLUGE NA NESIGNALISANIM PEŠAČKIM PRELAZIMA

Primenom metoda HCM za proračun vremenskih gubitaka pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima i određivanje NU, koji je prikazan u Poglavlju 4, izračunati su vremenski gubici za tri karakteristična slučaja:

1. u postupak proračuna d_p za parametar M_y uzeta je stvarna vrednost utvrđena merenjem na pešačkom prelazu ($M_{y_{izm}}$)
2. u postupak proračuna d_p za parametar M_y uzeta je vrednost dobijena modelom ($M_{y_{mod}}$)
3. u postupak proračuna d_p za parametar M_y uzeta je vrednost koja se po metodi HCM-a preporučuje za nesignalisane pešačke prelaze ($M_{y_{HCM}}=0,5$).

Prvi i drugi slučaj proračuna vremenskih gubitaka se koriste u cilju kako bi se još jednom dokazala valjanost modela, tj. da bi se pokazalo da se i sa modelovanim i stvarnim vrednostima dobijaju slični vremenski gubici za pešake, na osnovu kojih se kasnije određuje NU nesignalisanog pešačkog prelaza. Treći proračun vremenskih gubitaka je izvršen u cilju pokazivanja da postoje značajne razlike u dobijenim vremenskim gubicima i klasama NU ukoliko se koriste preporučene vrednosti HCM-a za M_y , u o odnosu na prvi i drugi postupak. Vremenski gubici su izračunati za svih 38 lokacija, odnosno na 32 lokacije koje su služile za izradu modela SPP-a i 6 lokacija koje su služile za testiranje modela, a na osnovu dobijenih prosečnih vremenskih gubitaka određene su klase NU. Na svim lokacijama na kojima su izračunati vremenski gubici bili veći od poslednje granične vrednosti za određivanje klase NU (NU klase „F“ = 45 s) samo je navedena oznaka „>45“, bez navođenja konkretne vrednosti. Isti princip je važio i kod vrednosti apsolutne razlike između vrednosti koje su poređene. Slično prethodno navedenom, na lokacijama na kojima je procentualna

razlika iznosila više od 20% navedena je oznaka „>20“ bez prikazivanja konkretne procentualne razlike.

8.1. Vremenski gubici na pešačkim prelazima u zavisnosti od SPP-a

U Tabeli 8.1 prikazani su izračunati vremenski gubici za 38 lokacija pešačkih prelaza, gde su:

- d_{pizm} vremenski gubici izračunati sa izmerenim SPP-om (My_{izm})
- d_{pmod} vremenski gubici izračunati sa SPP-om dobijenim modelom (My_{mod}) i
- d_{pHCM} vremenski gubici izračunati sa preporučenim vrednostima SPP-a po HCM-u (My_{HCM}).

Tabela 8.1: Vremenski gubici [s] izračunati primenom HCM metode za tri različite vrednosti stepena propuštanja pešaka (My_{izm} , My_{mod} , My_{HCM})

Lokacija	d_{pizm}	d_{pmod}	d_{pHCM}
1	19,03	19,53	18,74
2	6,89	6,8	6,97
3	2,33	2,33	2,34
4	34,89	34,79	24,97
5	5,65	5,7	5,04
6	26,31	27,73	20,98
7	24,52	24,4	18,55
8	4,09	4,14	4,68
9	4,03	4,09	4,67
10	11,41	10,67	10,05
11	10,86	10,94	10,04
12	12,68	13,2	11,26
13	4,63	4,3	3,56
14	10,57	10	11,83
15	11,99	13,36	15,62
16	8,98	9,64	10,42
17	8,9	8,45	9,2
18	12,7	13,07	13,29
19	>45	>45	>45
20	5,74	6,1	6,3
21	7,08	7,39	7,79
22	22,77	14,08	6,5
23	5,75	5,74	5,71
24	5,69	5,59	5,61
25	>45	>45	>45
26	>45	>45	>45
27	6,9	6,9	7,34
28	8,98	8,56	9,06
29	24,24	23,96	20,29
30	>45	52,61	46,13
31	>45	>45	>45
32	10,17	10	10,11
T1	7,33	7,68	8,76
T2	15,89	15,74	14,3
T3	7,56	7,32	8,01
T4	8,47	7,95	8,17
T5	17	13,67	6,51
T6	6,62	6,27	7,34

8. Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima

Kako bi se prikazala sličnost u dobijenim vremenskim gubicima u slučaju upotrebe stvarnih, tj. izmerenih vrednosti My_{izm} i vrednosti dobijenih modelom My_{mod} , u Tabeli 8.2 prikazane su vrednosti vremenskih gubitaka, razlike, kao i klase određene na osnovu vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih za 38 lokacija. Radi lakšeg uočavanja i poređenja, klase nivoa usluge su prikazane bojama i slovnim oznakama, gde je su klase nivoa usluge „A“, „B“, „C“, „D“, „E“ i „F“ označene žutom, narandžastom, crvenom, plavom, zelenom i sivom bojom, respektivno.

Tabela 8.2: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka [s] izračunatih sa izmerenim (My_{izm}) i modelovanim (My_{mod}) vrednostima SPP-a

Lokacija	d_{pizm}	d_{pmod}	Razlika $ d_{pmod}-d_{pizm} $	Procentualna razlika	NU (d_{pizm})	NU (d_{pmod})
1	19,03	19,53	0,5	2,63	C	C
2	6,89	6,8	0,09	1,31	B	B
3	2,33	2,33	0	0,00	A	A
4	34,89	34,79	0,1	0,29	E	E
5	5,65	5,7	0,05	0,88	B	B
6	26,31	27,73	1,42	5,40	D	D
7	24,52	24,4	0,12	0,49	D	D
8	4,09	4,14	0,05	1,22	A	A
9	4,03	4,09	0,06	1,49	A	A
10	11,41	10,67	0,74	6,49	C	C
11	10,86	10,94	0,08	0,74	C	C
12	12,68	13,2	0,52	4,10	C	C
13	4,63	4,3	0,33	7,13	A	A
14	10,57	10	0,57	5,39	C	C
15	11,99	13,36	1,37	11,43	C	C
16	8,98	9,64	0,66	7,35	B	B
17	8,9	8,45	0,45	5,06	B	B
18	12,7	13,07	0,37	2,91	C	C
19	>45	>45	>45	>20	F	F
20	5,74	6,1	0,36	6,27	B	B
21	7,08	7,39	0,31	4,38	B	B
22	22,77	14,08	8,69	38,16	D	C
23	5,75	5,74	0,01	0,17	B	B
24	5,69	5,59	0,1	1,76	B	B
25	>45	>45	11,88	12,21	F	F
26	>45	>45	5,5	5,88	F	F
27	6,9	6,9	0	0,00	B	B
28	8,98	8,56	0,42	4,68	B	B
29	24,24	23,96	0,28	1,16	D	D
30	>45	>45	8,42	13,80	F	F
31	>45	>45	10,41	7,22	F	F
32	10,17	10	0,17	1,67	C	C
T1	7,33	7,68	0,35	4,77	B	B
T2	15,89	15,74	0,15	0,94	C	C
T3	7,56	7,32	0,24	3,17	B	B
T4	8,47	7,95	0,52	6,14	B	B
T5	17	13,67	3,33	19,59	C	C
T6	6,62	6,27	0,35	5,29	B	B

Analiza izračunatih vremenskih gubitaka, predstavljenih u Tabeli 8.2, je pokazala da je najveća razlika između vremenskih gubitaka d_{pizm} i d_{pmod} na lokaciji 19, gde procentualna razlika iznosi više od 20%. S obzirom na to da je u pitanju lokacija sa izuzetno velikim vremenskim gubicima i najlošijim NU (klasa „F“), može se izuzeti iz dalje analize proračuna prosečne razlike. U tom slučaju prosečna razlika vremenskih gubitaka iznosi 1,59 s, dok na oko 76% lokacija posmatrana razlika iznosi manje od 1 s. Srednja vrednost procentualne razlike iznosi svega 5,94%, dok na oko 85% lokacija ima vrednost manju od 10%. Najznačajniji pokazatelj od svih navedenih u Tabeli 8.2 jeste klasa NU određena prema vrednosti izračunatih vremenskih gubitaka. Kao što se može videti, na skoro svim lokacijama, klasa vremenskih gubitaka određena na jedan i drugi način se poklapa, što je u skladu sa prethodno navedenom malom razlikom između dva načina određivanja vremenskih gubitaka. Jedina, od 38 lokacija, na kojoj se pojavila različita klasa, je lokacija 22. Naime, metodom koja je u proračunu vremenskih gubitaka koristila izmerenu vrednost M_{yizm} , vremenski gubici su iznosili $d_{pizm}=22,77$ s, što je prema metodi određivanja NU po HCM-u klasa „D“. U drugom slučaju, kada se u proračunu koristila modelovana vrednost M_{ymod} , vremenski gubici su iznosili $d_{pmod}=14,08$ s, što odgovara klasi C. Ovakav slučaj različitih klasa NU pešačkih prelaza može se objasniti činjenicom koja je pokazana na hipotetičkom primeru, da vrednost parametra M_y ima veći uticaj na vremenske gubitke i određivanje klasa NU kod lokacija na kojima je protok vozila preko 1000 vozila/h, što u slučaju lokacije 22 iznosi 1081 vozila/h. U skladu sa navedenim, proračun vremenskih gubitaka i određivanje klasa NU koji je izvršen za 38 lokacija, još jednom potvrđuje izbor modela za proračun M_y kao validnog metoda koji se može koristiti u postupku proračuna po metodi HCM-a u slučaju kada nisu dostupne stvarne vrednosti za parametar M_y .

Kako bi se prikazala razlika u vremenskim gubicima u slučaju upotrebe izmerenih vrednosti M_{yizm} i preporučenih vrednosti po HCM-u M_{yHCM} , u Tabeli 8.3 prikazane su vrednosti vremenskih gubitaka, razlike, kao i klase određene na osnovu vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih za 38 lokacija.

Analiza izračunatih vremenskih gubitaka, predstavljenih u Tabeli 8.3 je pokazala da je najveća razlika između vremenskih gubitaka, dobijenih uvrštavanjem parametara M_{yizm} i M_{yHCM} , takođe na lokaciji 19, gde procentualna razlika takođe iznosi više od 20%. Kao što je već pomenuto, to je lokacija sa izuzetno velikim vremenskim gubicima, dobijenim na oba načina i najlošijim NU (klasa „F“), i zbog reda veličine vremenskih gubitaka može se izuzeti iz analize proračuna prosečne razlike. U tom slučaju prosečna razlika vremenskih gubitaka iznosi 3,64 s. Na oko 50% lokacija posmatrana razlika iznosi manje od 1 s. Srednja vrednost procentualne razlike iznosi 16%, dok na oko 42% lokacija ima vrednost manju od 10%. Najznačajniji pokazatelj od svih navedenih u Tabeli 8.13 jeste klasa NU određena

8. Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima

prema vrednosti izračunatih vremenskih gubitaka. Iako se na većini lokacija, određene klase NU poklapaju bez obzira na primenjeni parametar u proračunu, na 5 lokacija dolazi do neslaganja. Naime, na lokacijama 4, 17, 16, 22 i T5, određeni NU dobijen na osnovu vremenskih gubitaka nije isti za slučaj primene izmerene vrednosti $M_{y_{izm}}$ i vrednosti $M_{y_{HCM}}$. Na četiri lokacije (4, 7, 16, T5) razlika je u jednoj klasi NU, dok je na lokaciji 22 razlika čak u dve klase NU.

Tabela 8.3: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka [s] izračunatih sa izmerenim ($M_{y_{izm}}$) i preporučenim ($M_{y_{HCM}}$) vrednostima SPP-a

Lokacija	$d_{p_{izm}}$	$d_{p_{HCM}}$	Razlika $ d_{p_{HCM}} - d_{p_{izm}} $	Procentualna razlika	NU ($d_{p_{izm}}$)	NU ($d_{p_{HCM}}$)
1	19,03	18,74	0,29	1,52	C	C
2	6,89	6,97	0,08	1,16	B	B
3	2,33	2,34	0,01	0,43	A	A
4	34,89	24,97	9,92	>20	E	D
5	5,65	5,04	0,61	10,80	B	B
6	26,31	20,98	5,33	>20	D	D
7	24,52	18,55	5,97	>20	D	C
8	4,09	4,68	0,59	14,43	A	A
9	4,03	4,67	0,64	15,88	A	A
10	11,41	10,05	1,36	11,92	C	C
11	10,86	10,04	0,82	7,55	C	C
12	12,68	11,26	1,42	11,20	C	C
13	4,63	3,56	1,07	>20	A	A
14	10,57	11,83	1,26	11,92	C	C
15	11,99	15,62	3,63	>20	C	C
16	8,98	10,42	1,44	16,04	B	C
17	8,9	9,2	0,3	3,37	B	B
18	12,7	13,29	0,59	4,65	C	C
19	>45	>45	>45	>20	F	F
20	5,74	6,3	0,56	9,76	B	B
21	7,08	7,79	0,71	10,03	B	B
22	22,77	6,5	16,27	>20	D	B
23	5,75	5,71	0,04	0,70	B	B
24	5,69	5,61	0,08	1,41	B	B
25	>45	>45	5,39	5,54	F	F
26	>45	>45	2,34	2,50	F	F
27	6,9	7,34	0,44	6,38	B	B
28	8,98	9,06	0,08	0,89	B	B
29	24,24	20,29	3,95	16,30	D	D
30	>45	>45	14,9	>20	F	F
31	>45	>45	39,7	>20	F	F
32	10,17	10,11	0,06	0,59	C	C
T1	7,33	8,76	1,43	19,51	B	B
T2	15,89	14,3	1,59	10,01	C	C
T3	7,56	8,01	0,45	5,95	B	B
T4	8,47	8,17	0,3	3,54	B	B
T5	17	6,51	10,49	>20	C	B
T6	6,62	7,34	0,72	10,88	B	B

8. Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima

Kako bi se prikazala razlika u vremenskim gubicima u slučaju upotrebe modelovanih vrednosti $M_{y_{mod}}$ i preporučenih vrednosti $M_{y_{HCM}}$, u Tabeli 8.4 prikazane su vrednosti vremenskih gubitaka, razlike, kao i klase određene na osnovu vrednosti vremenskih gubitaka izračunatih za 38 lokacija.

Analiza izračunatih vremenskih gubitaka, predstavljenih u Tabeli 8.4 je pokazala da je najveća razlika između vremenskih gubitaka, dobijenih uvrštavanjem parametara $M_{y_{mod}}$ i $M_{y_{HCM}}$, takođe na lokaciji 19, gde ta razlika iznosi čak >45 s/pešaku, odnosno procentualna razlika je takođe veća od 20%, kao i u prethodnim slučajevima.

Tabela 8.4: Poređenje vrednosti vremenskih gubitaka [s] izračunatih sa modelovanim ($M_{y_{mod}}$) i preporučenim ($M_{y_{HCM}}$) vrednostima SPP-a

Lokacija	d_{pmod}	d_{pHCM}	Razlika $ d_{pmod}-d_{pHCM} $	Procentualna razlika	NU (d_{pmod})	NU (d_{pHCM})
1	19,53	18,74	0,79	4,05	C	C
2	6,8	6,97	0,17	2,50	B	B
3	2,33	2,34	0,01	0,43	A	A
4	34,79	24,97	9,82	>20	E	D
5	5,7	5,04	0,66	11,58	B	B
6	27,73	20,98	6,75	>20	D	D
7	24,4	18,55	5,85	>20	D	C
8	4,14	4,68	0,54	13,04	A	A
9	4,09	4,67	0,58	14,18	A	A
10	10,67	10,05	0,62	5,81	C	C
11	10,94	10,04	0,90	8,23	C	C
12	13,2	11,26	1,94	14,70	C	C
13	4,3	3,56	0,74	17,21	A	A
14	10	11,83	1,83	18,30	C	C
15	13,36	15,62	2,26	16,92	C	C
16	9,64	10,42	0,78	8,09	B	C
17	8,45	9,2	0,75	8,88	B	B
18	13,07	13,29	0,22	1,68	C	C
19	>45	>45	>45	>20	F	F
20	6,1	6,3	0,20	3,28	B	B
21	7,39	7,79	0,40	5,41	B	B
22	14,08	6,5	7,58	>20	C	B
23	5,74	5,71	0,03	0,52	B	B
24	5,59	5,61	0,02	0,36	B	B
25	>45	>45	6,49	5,95	F	F
26	>45	>45	7,84	7,91	F	F
27	6,9	7,34	0,44	6,38	B	B
28	8,56	9,06	0,50	5,84	B	B
29	23,96	20,29	3,67	15,32	D	D
30	>45	>45	6,48	12,32	F	F
31	>45	>45	29,29	>20	F	F
32	10	10,11	0,11	1,10	C	C
T1	7,68	8,76	1,08	14,06	B	B
T2	15,74	14,3	1,44	9,15	C	C
T3	7,32	8,01	0,69	9,43	B	B
T4	7,95	8,17	0,22	2,77	B	B
T5	13,67	6,51	7,16	>20	C	B
T6	6,27	7,34	1,07	17,07	B	B

Kao što je već ranije napomenuto, zbog reda veličine vremenskih gubitaka može se izuzeti iz analize proračuna prosečne razlike. U tom slučaju prosečna razlika vremenskih gubitaka iznosi 3 s. Na oko 55% lokacija posmatrana razlika iznosi manje od 1 s. Srednja vrednost procentualne razlike iznosi 14,5%, dok na oko 50% lokacija ima vrednost manju od 10%. Kao i u slučaju određivanja klasa NU na osnovu izmerenih i vrednosti preporučenih HCM-om, na 5 prethodno navedenih lokacija dolazi do neslaganja. Naime, na lokacijama 4, 17, 16, 22 i T5, određeni NU dobijen na osnovu vremenskih gubitaka nije isti za slučaj primene modelovanih vrednosti $M_{y_{mod}}$ i vrednosti $M_{y_{HCM}}$ koja je koristi kao preporuka HCM-a. Na svim lokacijama razlika je u jednoj klasi NU.

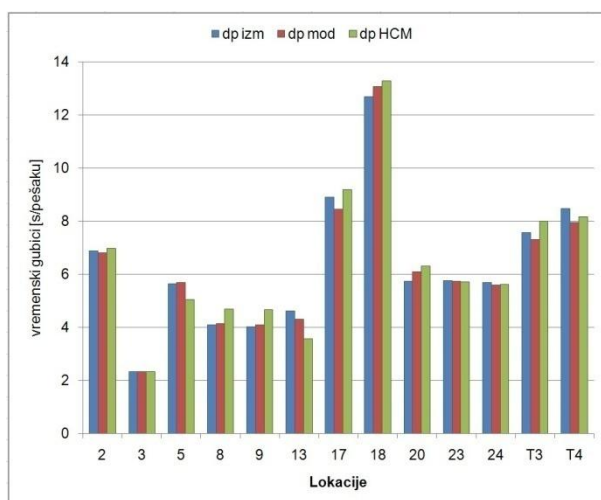
8.2. Vremenski gubici na pešačkim prelazima u zavisnosti od protoka vozila

Analiza vremenskih gubitaka i NU izvršena je uzimajući u obzir protok vozila (PAJ/h), kao jedan od parametara koji se pokazao značajnim prilikom analize SPP. Naime, pri protocima većim od 800 vozila/h, hipotetički primer je pokazao mnogo veći uticaj parametra M_y na dobijene vremenske gubitke, koji su zatim služili kao osnova za određivanje NU nesignalisanog pešačkog prelaza. U skladu sa navedenim, svih 38 lokacija pešačkih prelazaje grupisano u tri kategorije u zavisnosti od broja vozila u toku vršnog sata kada je vršeno snimanje (do 600 PAJ/h, od 600 do 1100 PAJ/h i preko 1100 PAJ/h) (Tabela 8.5). Za svaku lokaciju izračunati su prosečni vremenski gubici po pešaku (d_p), na osnovu kojih su određene klase NU. Vremenski gubici su računati na tri načina, odnosno sa tri različite vrednosti SPP-a: izmerene vrednosti, vrednosti dobijene modelom i vrednosti koje preporučuje HCM 2010.

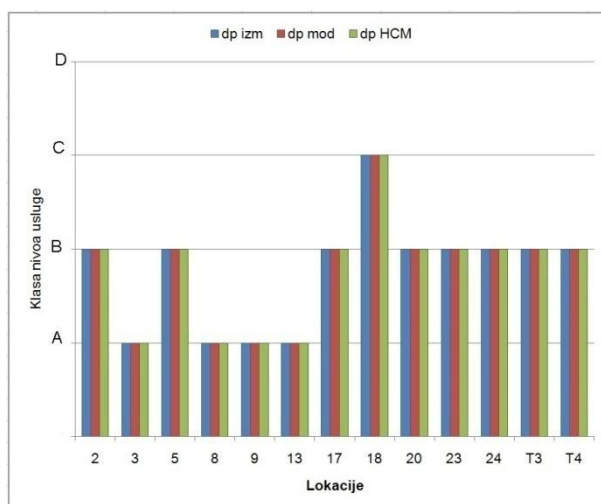
Tabela 8.5: Grupisanje lokacija po kriterijumu vrednosti protoka vozila na pešačkom prelazu

	Protok < 600 PAJ/h	Protok od 600 do 1100 PAJ/h	Protok > 1100 PAJ/h
LOKACIJE	2, 3, 5, 8, 9, 13, 17, 18, 20, 23, 24, T3, T4	1, 4, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 21, 22, 27, 28, 29, 32, T1, T2, T5, T6	25, 26, 30, 31, 19

Na Slici 8.1 prikazane su vrednosti prosečnih vremenskih gubitaka izračunatih za lokacije na kojima je protok vozila do 600 PAJ/h. Vremenski gubici izračunati sa tri različite vrednosti SPP-a su približno isti, dok su klase NU određene na osnovu vremenskih gubitaka identične bez obzira na način proračuna vremenskih gubitaka (izmerene, modelovane ili preporučene vrednosti SPP-a) (Slika 8.2).



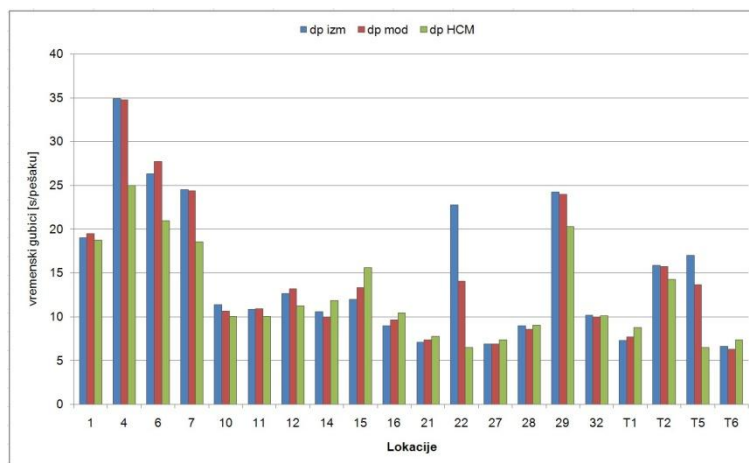
Slika 8.1: Prosečni vremenski gubici za lokacije sa protokom do 600 PAJ/h



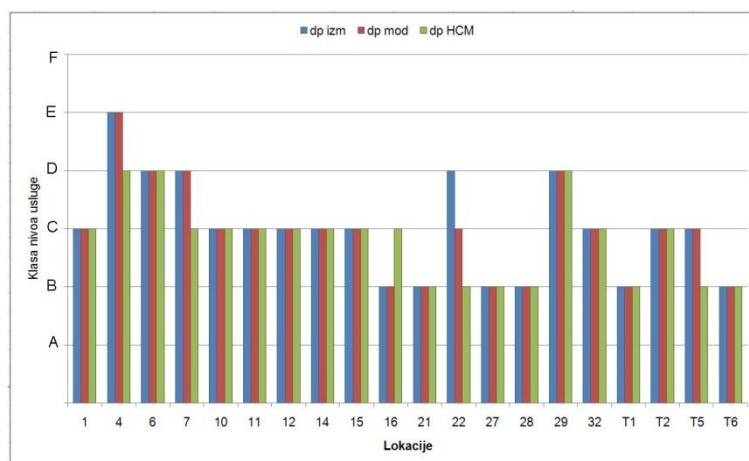
Slika 8.2: Klase nivoa usluge za lokacije sa protokom do 600 PAJ/h

Analiza pešačkih prelaza na kojima je zabeležen veći protok vozila, tj. od 600 do 1100 PAJ/h, pokazala je malo drugačije rezultate. Naime, u pojedinim slučajevima vrednosti prosečnih vremenskih gubitaka značajno se razlikuju za različite načine proračuna (Slika 8.3), a u skladu sa tim i određene klase NU (Slika 8.4). Od 20 lokacija pešačkih prelaza, na 5 lokacija dolazi do neslaganja klase NU (lokacije 4, 7, 16, 22 i T5). Od svih navedenih, na lokacijama 4, 7, 16 i T5 klase NU dobijene na osnovu proračuna vremenskih gubitaka sa preporučenim vrednostima SPP-a nisu iste kao klase NU dobijene na osnovu izmerenih i modelovanih vrednosti SPP-a. Jedina lokacija na kojoj su za sve dobijene vremenske gubitke različite i klase NU je lokacija 22.

8. Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima



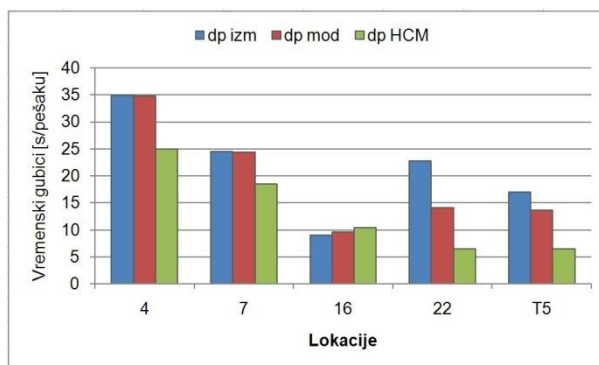
Slika 8.3: Vremenski gubici za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h



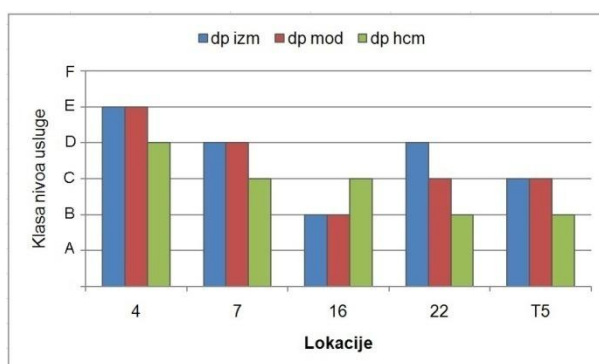
Slika 8.5: Klase nivoa usluge za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h

Na Slici 8.5 i Slici 8.6 su izdvojene lokacije na kojima su dobijene različite klase NU izračunate upotrebom stvarnih i modelovanih vrednosti M_y u odnosu na vrednost M_y koja je preporučena po HCM-u. Na četiri od pet lokacija NU se razlikuje za jednu klasu, dok je kod jedne lokacija ta razlika čak dve klase: na lokaciji 22 primenom preporučenih vrednosti SPP-a dobija se NU klase „B“, dok se primenom izmerenih vrednosti dobija NU klase „D“. Na četiri lokacije (4, 7, 22 i T5) protok vozila je približno ili preko 1000 vozila/h.

8. Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima

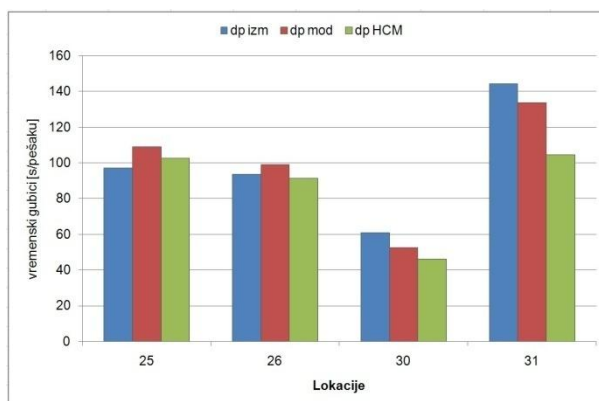


Slika 8.5: Vremenski gubici za lokacije sa protokom od 600 do 1100 PAJ/h sa različitim klasama nivoa usluge



Slika 8.6: Razlika u određivanju klasa za lokacije na kojima je protok od 600 do 1100 vozila/h

Što se tiče lokacija na kojima je protok vozila preko 1100 PAJ/h, uočava se razlika u izračunatim vremenskim gubicima korišćenjem različitih vrijednosti SPP-a (Slika 8.7). Međutim, to su sve lokacije sa jako velikim vrednostima vremenskih gubitaka i za sve lokacije određen je NU klase „F“, bez obzira koji se SPP uzima u obzir prilikom proračuna prosečnih vremenskih gubitaka. Na Slici 8.7 nisu prikazani podaci za lokaciju 19, zbog reda veličine vremenskih gubitaka u odnosu na ostale dobijene rezultate.



Slika 8.7: Vremenski gubici za lokacije sa protokom preko 1100 PAJ/h

8.3. Osvrt na rezultate analize

Metod za proračun vremenskih gubitaka pešaka na nesignalisanim prelazima po HCM-u 2010 je primenjen na 38 lokacija pešačkih prelaza. Postojeći metod, u kome se preporučuje vrednost parametra SPP-a, modifikovan je tako da su izračunati vremenski gubici i u slučaju kada je za SPP uzeta izmerena vrednost na lokaciji, kao i vrednost dobijena modelom, koji je opisan u Poglavlju 7.

Uporedna analiza vremenskih gubitaka pokazala je da između vremenskih gubitaka sa izmerenim i modelovanim vrednostima SPP ne postoji značajna razlika i da su dobijeni rezultati približno isti, a takođe nije bilo ni razlike u klasama NU koje su određene za pešačke prelaze na osnovu dobijenih vremenskih gubitaka.

Poređenje vremenskih gubitaka dobijenih sa izmerenim, odnosno modelovanim vrednostima SPP i vremenskih gubitaka sa preporučenim vrednostima SPP-a iz HCM-a 2010 pokazalo je da postoje značajne razlike na pojedinim lokacijama. U slučaju izmerenih i preporučenih vrednosti, na četvrtini lokacija razlika između izračunatih vremenskih gubitaka je iznosila preko 20%, što je za rezultat dovelo do različitih klasa NU koje su prema kriterijumu veličine vremenskih gubitaka određene za pešačke prelaze. Do istih rezultata se došlo i u slučaju primene modelovanih i preporučenih vrednosti SPP-a u proračunu.

Odstupanje u klasama NU za različite vrednosti parametra SPP-a je karakteristično za lokacije na kojima se javlja veći protok vozila (veći od 1000 vozila/h), što je u skladu sa hipotezama disertacije navednim u Poglavlju 1 i hipotetičkim primerom o uticaju SPP na NU iznetim u Poglavlju 4.

9. INTERVALI PEŠAKA PRILIKOM PRELASKA KOLOVOZA

Na osnovu polaznih pretpostavki, područja istraživanja, izbora lokacija pešačkih prelaza i metoda prikupljanja podataka opisanih u Poglavlju 6, formirana je baza podataka pešačkih intervala za 4 karakteristična tipa pešačkih prelaza. Kriterijumi za izbor pešačkih prelaza bili su broj saobraćajnih traka koje pešak treba da pređe, kao i smer kretanja vozila, odnosno da li vozilo nailazi iz jednog ili oba smera. Na osnovu toga odabrane su lokacije koje su predstavljale kombinacije navedenih kriterijuma. Na Slici 9.1 dat je prikaz dela baze podataka za jednu od lokacija na kojoj su analizirani intervali prilikom prelaska pešaka preko kolovoza.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
	R.br	Lokacija	t1 pristigao	m	s	ms	t2 krenuo	m	s	ms	t3 prešao	m	s	ms	Broj pešaka u grupi	Pol [1 - M; 2 - Ž]	t4 Vreme nailaska vozila	m	s	ms	GAP [s]	Vrsta intervala	Brzina pešaka [m/s]	Vreme prelaska [s]	Vreme čekanja [s]
1																									
2	1	27	20.708	0	20	708	20.708	0	20	708	24.745	0	24	745	2	2	26.858	0	26	858	6.15	p	1.49	4.037	0
3	2	27	43.99	0	43	990	43.99	0	43	990	47.998	0	47	998	1	2	47.278	0	47	278	3.288	p	1.50	4.008	0
4	3	27	71.248	1	11	248	74.486	1	14	486	78.588	1	18	588	1	1	73.463	1	13	463	2.221	o	1.46	4.102	3.238
5							0				0						75.366	1	15	366	1.897	o			
6	4	27	97.684	1	37	684	97.684	1	37	684	102.028	1	42	28	1	1	99.936	1	39	936	2.252	p	1.38	4.344	0
7	5	27	116.972	1	56	972	121.61	2	1	607	126.298	2	6	298	1	1	118.196	1	58	196	1.224	o	1.28	4.691	4.635
8							0				0						120.931	2	0	31	1.835	o			
9							0				0						125.994	2	5	994	4.377	p			
10	6	27	123.345	2	3	345	123.35	2	3	345	127.768	2	7	768	1	2	126.404	2	6	404	3.059	p	1.36	4.423	0
11	7	27	147.847	2	27	847	152.87	2	32	870	157.164	2	37	764	1	1	151.734	2	31	734	3.787	o	1.23	4.894	4.923
12	8	27	195.749	3	15	749	198.36	3	18	363	203.325	3	23	325	2	1	193.615	3	19	615	1.252	p	1.21	4.972	2.614
13	9	27	200.97	3	20	970	200.97	3	20	970	205.717	3	25	717	1	1	205.29	3	25	390	4.42	p	1.26	4.747	0
14	10	27	242.953	4	2	953	245.53	4	5	525	249.867	4	9	867	2	2	249.5	4	9	500	3.975	p	1.38	4.342	2.572
15	11	27	341.435	5	41	435	341.44	5	41	435	346.252	5	46	252	1	2	344.093	5	44	93	2.658	p	1.25	4.817	0
16	12	27	346.427	5	46	427	346.43	5	46	427	350.994	5	50	994	1	2	349.833	5	49	833	3.406	p	1.31	4.567	0
17	13	27	350.988	5	50	988	350.98	5	50	988	355.009	5	55	9	1	1	354.171	5	54	171	3.183	p	1.49	4.021	0
18	14	27	439.327	7	19	327	439.33	7	19	327	444.994	7	24	994	1	2	446.79	7	26	790	7.463	p	1.06	5.667	0
19	15	27	456.605	7	36	605	460.27	7	40	265	464.787	7	44	787	1	2	459.187	7	39	187	2.582	o	1.33	4.522	3.66
20	16	27	477.772	7	57	772	477.77	7	57	772	481.826	8	1	826	2	1	481.346	8	1	346	3.574	p	1.48	4.054	0
21	17	27	477.772	7	57	772	477.77	7	57	772	481.826	8	1	826	2	1	481.764	8	1	764	3.992	p	1.48	4.054	0
22	18	27	592.974	9	52	974	592.97	9	52	974	597.034	9	57	34	2	2	596.467	9	56	467	3.493	p	1.48	4.06	0
23	19	27	589.219	9	49	219	589.22	9	49	219	593.822	9	53	822	1	1	596.467	9	56	467	7.248	p	1.30	4.403	0
24	20	27	627.757	10	27	757	629.68	10	29	680	634.123	10	34	123	1	2	630.798	10	30	798	1.118	p	1.35	4.443	1.923
25	21	27	640.583	10	40	583	640.58	10	40	583	644.364	10	44	364	1	1	645.103	10	45	103	4.52	p	1.59	3.781	0
26	22	27	657.351	10	57	351	657.35	10	57	351	660.563	11	0	563	1	1	663.058	11	3	58	5.707	p	1.87	3.212	0
27	23	27	696.891	11	36	891	696.89	11	36	891	700.489	11	40	489	1	2	702.134	11	42	134	5.243	p	1.67	3.598	0
28	24	27	733.17	12	13	170	738.19	12	18	194	743.47	12	23	470	3	1	734.273	12	14	273	1.103	o	1.14	5.276	5.024
29							0				0						736.406	12	16	406	2.133	o			
30							0				0						736.406	12	16	406	2.133	o			

Slika 9.1: Prikaz dela baze podataka intervala pešaka prilikom prelaska preko kolovoza

9.1. Analiza pešačkih intervala na karakterističnim pešačkim prelazima

Od 38 lokacija na kojima je vršeno istraživanje izdvojena su 4 karakteristična pešačka prelaza na kojima su analizirani pešački intervali. Svi pešački prelazi nalaze se u Novom Sadu (Republika Srbija). Kriterijum za odabir je bio broj saobraćajnih traka i smer kretanja vozila, tako da su analizirana četiri tipa lokacija:

- a) jedna saobraćajna traka, jednosmerno kretanje vozila;
- b) dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila;
- c) dve saobraćajne trake, jednosmerno kretanje vozila i
- d) više od dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila.

U Tabeli 9.1 je dat spisak lokacija na kojima se nalaze analizirani pešački prelazi, kao i karakteristike lokacije, protok vozila i pešaka i uslovi odvijanja saobraćaja. Kao i prilikom određivanja parametra M_y , intervali su dobijeni analizom video zapisa odvijanja saobraćaja na pešačkom prelazu u trajanju od 1 h. Za svaki pešački prelaz izračunati su prihvaćeni i odbijeni intervali prilikom prelaska pešaka prema postupku opisanom u Poglavlju 6, na osnovu čega je formirana baza sa oko 450 intervala. Na osnovu vremena prelaska i dužine pešačkog prelaza izračunata je prosečna brzina pešaka, kao i vreme čekanja pešaka. Prihvatljivi intervali, brzine pešaka i vremenski gubici potom su analizirani u odnosu na karakteristike pešaka (pol) i vrstu prelaska (individualni prelazak pešaka ili u prelazak grupe pešaka). Prilikom prelaska pešaka u grupi, pol kao karakteristika pešaka određen je za vodećeg pešaka, tj. onog ko je prvi ispred grupe započeo proces prelaska preko kolovoza. Za svaku lokaciju izračunata je i vrednost kritičnog intervala, koja je dobijena na osnovu udaljenosti koju pešak treba da pređe prilikom prelaska kolovoza, srednje brzine kretanja pešaka koja je utvrđena da toj lokaciji i startnog vremena pešaka, koja po preporukama HCM-a iznosi 3 s.

Tabela 9.1: Karakteristike lokacija za analizu pešačkih intervala

Oznaka	Naziv lokacije	Broj saobr. traka	Smer kretanja vozila	Dužina pešačkog prelaza [m]	Protok pešaka [peš/h]	Protok vozila [PAJ/h]	Nivo usluge
K1	Fruškogorska (1)	1	jednosmerno	4	418	342	A
K2	Fruškogorska (2)	2	dvosmerno	7	199	1092	E
K3	Brača Ribnikar (1)	2	jednosmerno	6	370	644	B
K4	Bulevar kralja Petra I (2)	5	jednosmerno	16,5	157	1754	F

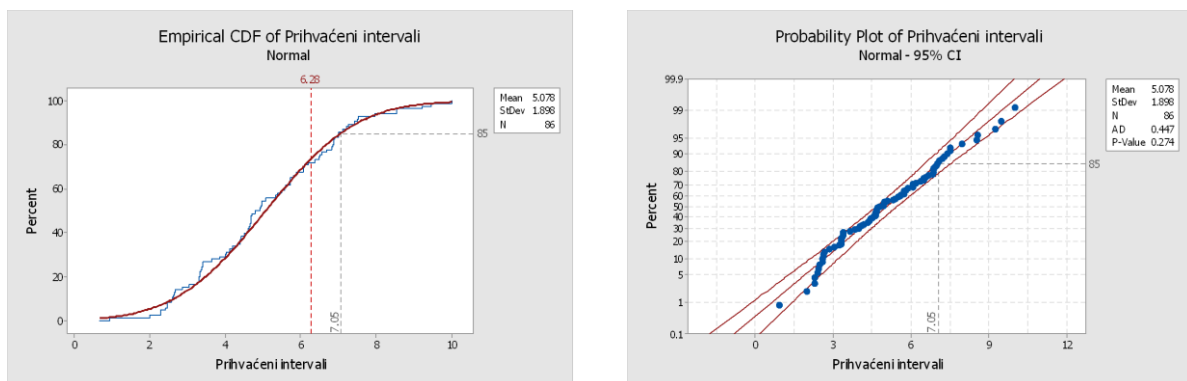
9.1.1. Pešački prelaz sa jednom saobraćajnom trakom, jednosmerno kretanje vozila – K1

Na pešačkom prelazu Fruškogorskoj ulici u toku jutarnjeg vršnog sata (od 10:00-11:00) zabeleženo je ukupno 418 pešaka i 342 PAJ/h. Sa snimka u trajanju od 1 h zabeleženo je 95 prelazaka, od čega su 62 prelaska bila od strane pešaka koji su prelazili sami, dok su ostali prelasci (33) bili prelasci grupe pešaka. Prilikom prelazaka evidentirano je ukupno 111 intervala, od čega 86 prihvaćenih i 25 odbijenih. Vrednost kritičnog intervala dobijenog sa izmerenom prosečnom brzinom kretanja pešaka na lokaciji iznosila je 6,28 s. U Tabeli 9.2 su dati svi podaci dobijeni nakon prikupljanja i formiranja baze podataka na osnovu kojih je vršena dalja analiza.

Tabela 9.2: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K1

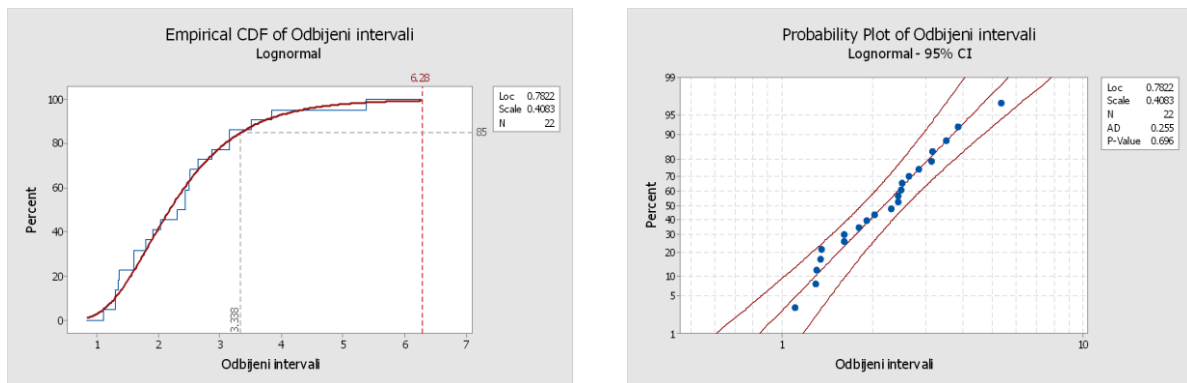
	Muškarci	Žene	Jedan pešak	Grupa pešaka	Prosečno
Vreme čekanja [s]	1,49	0,83	1,2	1,02	1,14
Vreme prelaska [s]	3,61	3,24	3,32	3,58	3,41
Brzina prelaska [m/s]	1,13	1,29	1,25	1,16	1,22
85% prihvaćeni [s]	7,35	6,79	7,03	7,1	7,05
85% odbijeni [s]	3,16	4,31	3,6	3,5	3,338
t_c (My po HCM-u) [s]					6,33
t_c (My izmeren) [s]					6,28

Na Slici 9.1 je prikazana kumulativna raspodela prihvaćenih intervala, pri čemu 85% vrednost iznosi 7,05 s. Prihvaćeni intervali imaju normalnu raspodelu ($p=0,274$).



Slika 9.1: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K1

Od 25 odbijenih intervala, 3 intervala su bila manja od 1 s, tako da su oni izuzeti iz dalje analize. Na Slici 9.2 prikazana je kumulativna raspodela odbijenih intervala, pri čemu je 85% vrednost odbijenih intervala 3,338 s. Statistička analiza je pokazala da se odbijeni intervali ponašaju po lognormalnoj raspodeli ($p=0,696$).



Slika 9.2: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K1

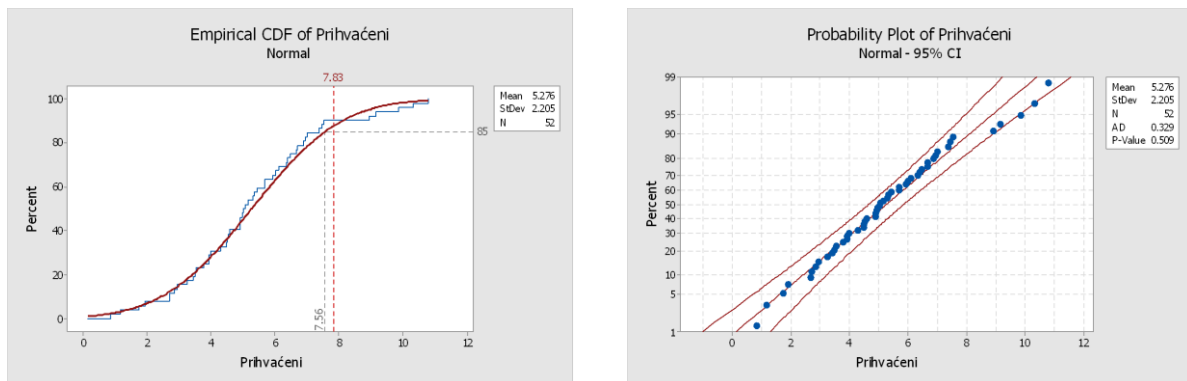
9.1.2. Pešački prelaz sa dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila – K2

Drugi karakteristični pešački prelaz takođe se nalazi u Fruškogorskoj ulici, ali na delu gde je dozvoljeno dvosmerno kretanja vozila. U toku jutarnjeg vršnog sata (od 10:00-11:00) evidentirano je 199 pešaka i 1092 PAJ/h. Analizom video zapisa za jedan čas zabeleženo je 56 prelazaka, od čega su 43 prelaska bila od strane pešaka koji su prelazili sami, dok su ostali prelasci (13) bili prelasci grupe pešaka. Evidentirano je ukupno 109 intervala, od čega 52 prihvaćena i 57 odbijenih. Vrednost kritičnog intervala dobijenog izmerenom prosečnom brzinom kretanja pešaka na lokaciji iznosila je 7,83 s. U Tabeli 9.3 su dati svi podaci dobijeni nakon prikupljanja i sortiranja podataka na osnovu kojih je vršena dalja analiza.

Tabela 9.3: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K2

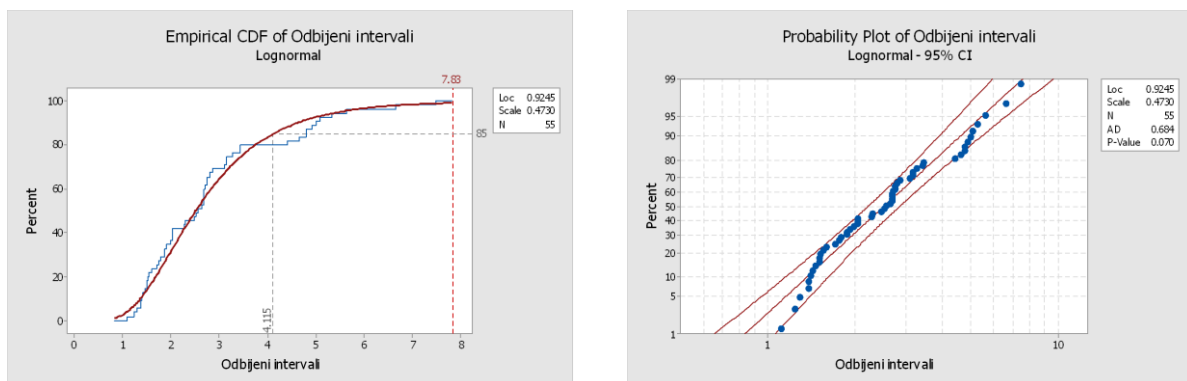
	Muškarci	Žene	Jedan pešak	Grupa pešaka	Prosečno
Vreme čekanja [s]	4,06	3,9	3,24	6,41	3,98
Vreme prelaska [s]	5,02	5,37	5,12	5,39	5,2
Brzina prelaska [m/s]	1,5	1,4	1,48	1,34	1,45
85% prihvaćeni [s]	8,11	6,88	7,41	8,01	7,56
85% odbijeni [s]	3,797	4,66	3,79	4,67	4,115
t_c (My po HCM-u) [s]					8,83
t_c (My izmeren) [s]					7,83

Na Slici 9.3 je prikazana kumulativna raspodela prihvaćenih intervala, pri čemu 85% vrednost iznosi 7,83 s. Prihvaćeni intervali imaju normalnu raspodelu ($p=0,509$).



Slika 9.3: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K2

Od 57 odbijenih intervala, 2 intervala su bila manja od 1 s, tako da su oni izuzeti iz dalje analize. Na Slici 9.4 je prikazana kumulativna raspodela odbijenih intervala, pri čemu je 85% vrednost odbijenih intervala 4,115 s. Statistička analiza je pokazala da se odbijeni intervali ponašaju po lognormalnoj raspodeli ($p=0,070$).



Slika 9.4: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K2

9.1.3. Pešački prelaz sa dve saobraćajne trake, jednosmerno kretanje vozila – K3

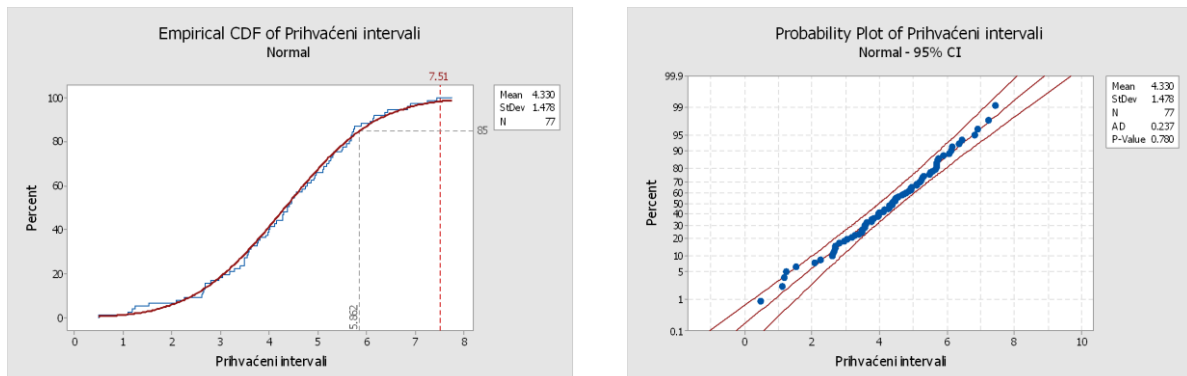
Treći karakteristični pešački prelaz se nalazi u ulici Braće Ribnikar. Profil ulice je takav da postoje dve kolovozne trake razdvojene razdelnim ostrvom sa dva pešačka prelaza, tako da pešaci prelaze kolovoz u dve faze. Za svaku fazu se posebno utvrđuju parametri saobraćajnog toka (protok pešaka, protok vozila, vremenski gubici, NU, SPP), pa je i analiza intervala izvršena samo za jednu fazu. U tom slučaju pešaci prelaze jednu jednosmernu kolovoznu traku sa dve saobraćajne trake. U toku jutarnjeg vršnog sata (od 10:00-11:00) zabeleženo je ukupno 370 pešaka i 644 PAJ/h. Analizom video zapisa u navedenom periodu je zabeleženo 87 prelazaka, od čega su 62 prelaska bila od strane pešaka koji su prelazili sami, dok su

ostali prelasci (25) bili grupni. Prilikom prelaska evidentirano je ukupno 117 intervala, od čega 77 prihvaćenih i 40 odbijenih. Vrednost kritičnog intervala dobijenog izmerenom prosečnom brzinom kretanja pešaka na lokaciji iznosila je 7,51 s. U Tabeli 9.4 su dati svi podaci dobijeni nakon prikupljanja i sortiranja na osnovu kojih je vršena dalja analiza.

Tabela 9.4: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K3

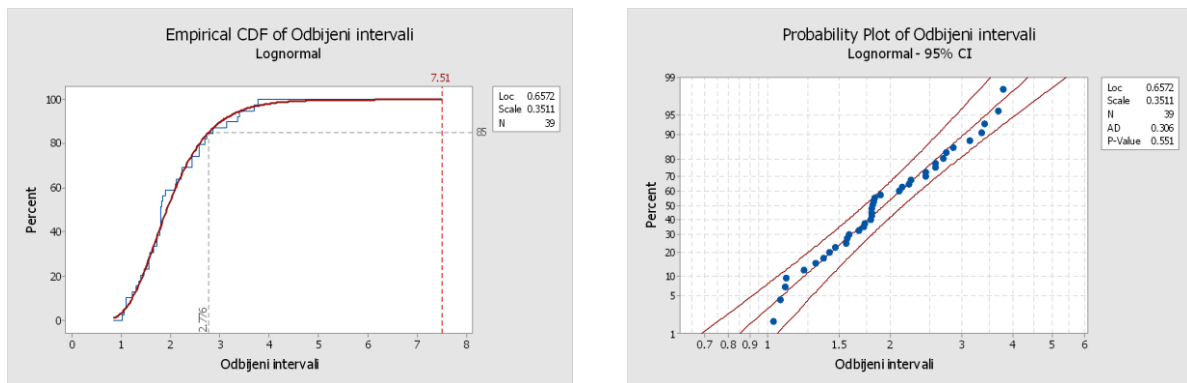
	Muškarci	Žene	Jedan pešak	Grupa pešaka	Prosečno
Vreme čekanja [s]	1,74	1,04	1,26	1,81	1,42
Vreme prelaska [s]	4,62	4,65	4,54	4,87	6,54
Brzina prelaska [m/s]	1,34	1,33	1,36	1,27	1,33
85% prihvaćeni [s]	8,11	6,88	5,881	5,803	5,862
85% odbijeni [s]	3,173	2,54	2,826	3,025	2,776
t_c (My po HCM-u) [s]					8,00
t_c (My izmeren) [s]					7,51

Na Slici 9.5 je prikazana kumulativna raspodela prihvaćenih intrevala, pri čemu 85% vrednost iznosi 5,862 s. Prihvaćeni intrevali se ponašaju po normalnoj raspodeli ($p=0,780$).



Slika 9.5: Kumulativna raspodela prihvaćenih intrevala na lokaciji K3

Od 40 odbijenih intervala, 1 interval je bio manji od 1 s, tako da je on izuzet iz dalje analize. Na Slici 9.6 prikazana je kumulativna raspodela odbijenih intervala, pri čemu je 85% vrednost odbijenih intrevala 2,776 s. Statistička analiza je pokazala da se odbijeni intrevali ponašaju po lognormalnoj raspodeli ($p=0,551$).



Slika 9.6: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K3

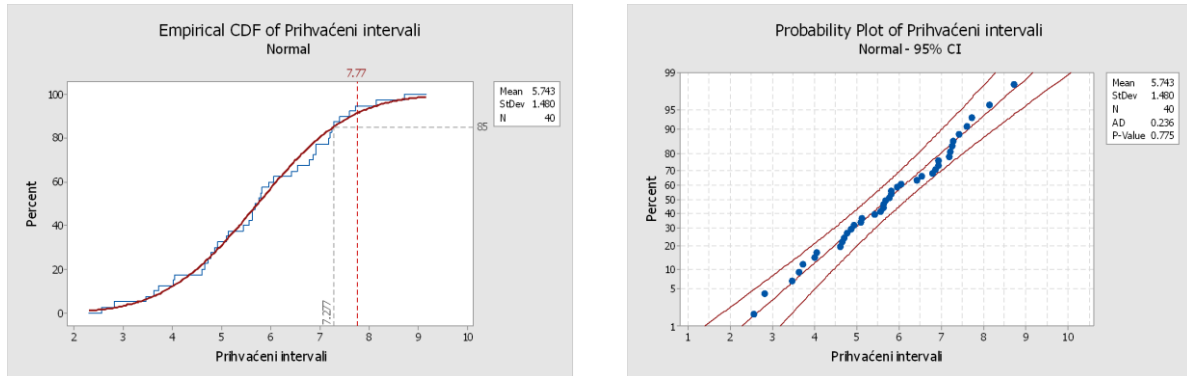
9.1.4. Pešački prelaz sa više od dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila – K4

Četvrti karakteristični pešački prelaz se nalazi na Bulevaru Kralja Petra I. Pešaci prelaze preko pet saobraćajnih traka, a vozila se kreću u oba smera. Ovaj pešački prelaz je karakterističan po tome što pešaci za prelazak preko kolovoza koriste tzv. „Rolling gap“ način prelaska (opisano u Poglavlju 5.2). U toku jutarnjeg vršnog sata (od 10:00-11:00) zabeleženo je ukupno 157 pešaka i 1754 PAJ/h. Sa snimka u trajanju od 1 sata zabeležen je 51 prelazak, od čega su 33 prelaska bila od strane pešaka koji su prelazili sami, dok su ostali prelasci (18) bili prelasci grupe pešaka. Prilikom prelazaka evidentirano je ukupno 108 intervala, od čega 40 prihvaćenih i 68 odbijenih. Pošto pešaci prilikom prelaska kolovoza u prvoj fazi obraćaju pažnju samo na vozila koja dolaze iz jednog smera kretanja, tj. sa njihove leve strane, prilikom analize uzeto je u obzir da se vrednost kritičnog intervala računa samo za polovinu putanje koju pešak treba da pređe. Vrednost kritičnog intervala dobijenog izmerenom prosečnom brzinom kretanja pešaka na lokaciji iznosila je 7,77 s. U Tabeli 9.5 su dati svi podaci dobijeni nakon prikupljanja i baze podataka na osnovu kojih je vršena dalja analiza.

Tabela 9.5: Podaci dobijeni nakon snimanja prelazaka pešaka na lokaciji K4

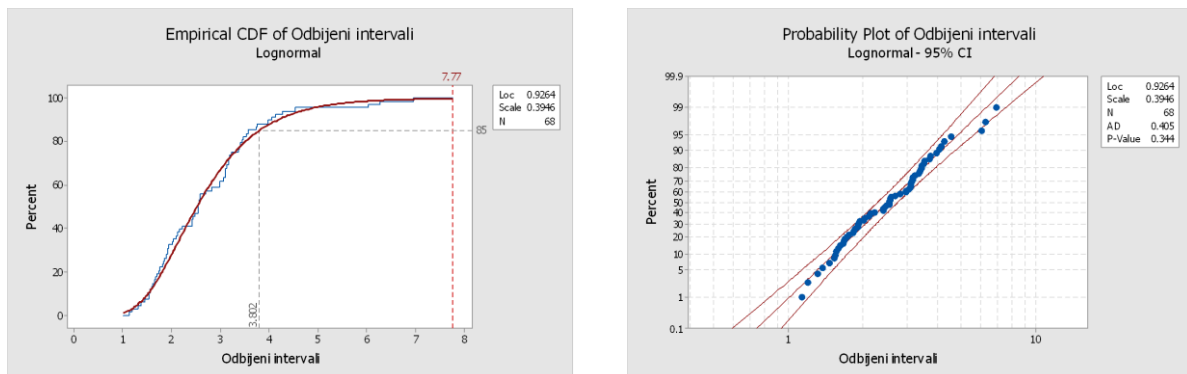
	Muškarci	Žene	Jedan pešak	Grupa pešaka	Prosečno
Vreme čekanja [s]	3,21	6,5	5,13	3,53	4,56
Vreme prelaska [s]	9,68	10	9,65	10,1	9,81
Brzina prelaska [m/s]	1,74	1,71	1,77	1,65	1,73
85% prihvaćeni [s]	7,517	6,68	7,124	7,579	7,277
85% odbijeni [s]	4,192	3,608	3,773	3,925	3,802
t_c (My po HCM-u) [s]					9,88
t_c (My izmeren) [s]					7,77

Na Slici 9.7 je prikazana kumulativna raspodela prihvaćenih intervala, pri čemu 85% vrednost iznosi 7,277 s. Prihvaćeni intervali se ponašaju po normalnoj raspodeli ($p=0,775$).



Slika 9.7: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala na lokaciji K4

Ni jedan od 68 odbijenih intervala nije bio manji od 1 s, tako da su svi odbijeni intervali uzeti u obzir prilikom analize. Na Slici 9.8 je prikazana kumulativna raspodela odbijenih intervala, pri čemu je 85% vrednost odbijenih intervala 3,802 s. Statistička analiza je pokazala da se odbijeni intervali ponašaju po lognormalnoj raspodeli ($p=0,344$).

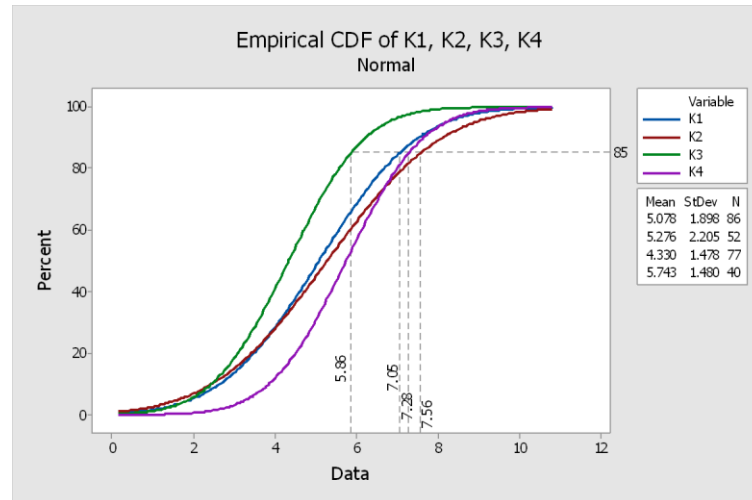


Slika 9.8: Kumulativna raspodela odbijenih intervala na lokaciji K4

9.1.5. Uporedna analiza pešačkih intervala

Dobijeni rezultati poslužili su kao osnova za uporednu analizu pešačkih intervala, pri čemu se krenulo od pretpostavke da su vrednosti pešačkih intervala različiti za pojedine vrste pešačkih prelaza koji su razvrstani u četiri karakteristična tipa. Takođe, pretpostavlja se da postoje i različiti odnosi u vrednostima između prihvaćenih, odbijenih i kritičnih intervala u zavisnosti od vrste pešačkih prelaza. Karakteristični tipovi pešačkih prelaza izabrani su na osnovu broja saobraćajnih

traka koje pešak treba da pređe, kao i smerom nailaska vozila na pešački prelaz. Na Slici 9.9 prikazan je uporedni prikaz kumulativne raspodele prihvaćenih intervala na izabranim karakterističnim lokacijama K1, K2, K3 i K4.

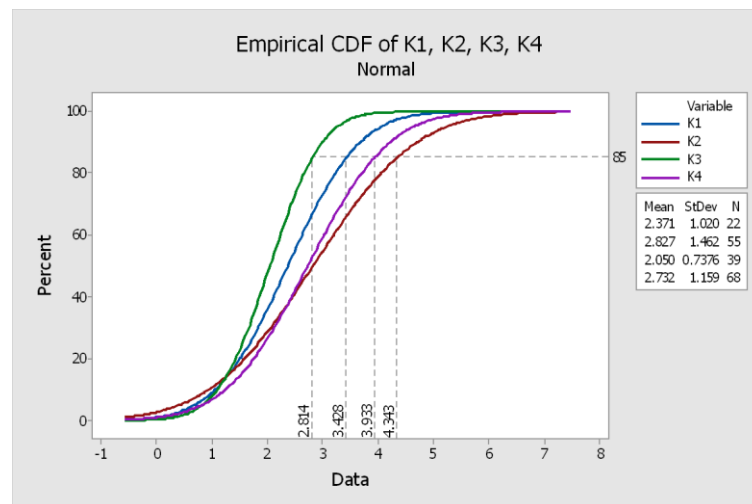


Slika 9.9: Uporedni prikaz kumulativne raspodele prihvaćenih intervala za četiri karakteristična tipa pešačkih prelaza

U skladu sa sličnim istraživanjima (Fitzpatrick i dr., 2006; Lobjois i dr., 2013) kao reprezentativne vrednosti uzimaju se vrednosti 85% prihvaćenih intervala. Kao što se vidi na Slici 9.9, najkraći prihvaćeni intervali zabeleženi su na lokaciji K3 (5,86 s), gde su pešaci prelazili dve saobraćajne trake, a vozila su nailazila samo iz jednog smera. Objašnjenje za ovu pojavu se nalazi u činjenici da pešački prelaz K3 predstavlja tzv. bulevarski tip prelaza, gde pešaci kolovoz prelaze u dve faze, pri čemu između saobraćajnih traka suprotnih smerova kretanja vozila postoji razdelno ostrvo. Prilikom evidentiranja prihvaćenih intervala uzeti su u obzir prelasci pešaka koji započinju prvu fazu, ali i prelasci koji su deo druge faze prelaska. Naime, analiza ponašanje pešaka prilikom prelaska je pokazala da pešaci već prilikom prelaska u prvoj fazi obraćaju pažnju na vozila koja su im konfliktna za prelazak u drugoj fazi. Na taj način, pešaci imaju više vremena za procenu, imaju više samopouzdanja, vidljiviji su vozačima, jer su već u pokretu i iz tih razloga biraju kraće intervale za prelazak. Na ostalim lokacijama zabeležene su približno iste vrednosti prihvaćenih intervala. Na prelazu K1, pešaci su prelazili samo jednu saobraćajnu traku, pri čemu su vozila takođe nailazila samo iz jednog smera. Vrednost prihvaćenih intervala na ovoj lokaciji je iznosila 7,05 s. Na prelazu K4 (više od dve saobraćajne trake, dvosmerno kretanje vozila) vrednost prihvaćenih intervala je iznosila 7,28 s. Najduži prihvaćeni pešački intervali uočeni su na prelazu K2 (7,56 s). Na toj lokaciji pešaci prelaze dve saobraćajne trake, a vozila nailaze iz oba smera. Objašnjenje za najduže intervale se nalazi u činjenici da prilikom prelaska kolovoza pešaci moraju da obrate pažnju na vozila koja dolaze iz oba smera, i da su iz tih razloga, mnogo obazriviji i neodlučniji prilikom izbora intervala. Prilikom prelaska kolovoza za ovakav tip

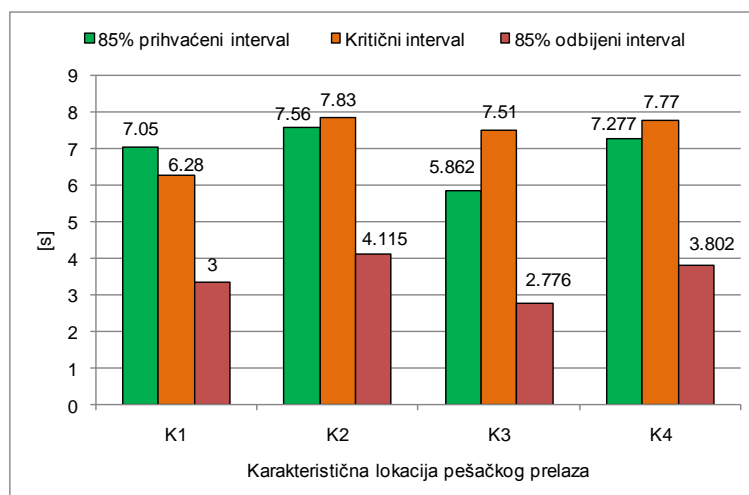
pešačkog prelaza, pešaci moraju da odaberu interval dovoljne dužine da bi izbegli konflikt sa vozilima koja dolaze iz oba smera, za razliku od prethodnih tipova pešačkih prelaza gdje su vozila nailazila samo iz jednog smera. Kako je ranije napomenuto, na lokaciji K4 iako postoji dvosmerno kretanje vozila, zbog „rolling gap“ prelaska kolovoza od strane pešaka, intervali su birani na osnovu procene kretanja vozila koja dolaze samo iz jednog smera, tj. prilikom prve faze prelaska kolovoza.

Na osnovu rezultata istraživanja, izvršena je i uporedna analiza odbijenih intervala na karakterističnim lokacijama, pri čemu su dobijeni slični rezultati kao i u slučaju prihvaćenih intervala (Slika 9.10). Najduži odbijeni intervali uočeni su na lokaciji K2 (3,343 s), dok su najkraći odbijeni bili na lokaciji K3 (2,814 s), što je potvrdilo pretpostavke o uticaju prethodno opisanih uslova odvijanja saobraćaja na pešačkim prelazima na vrednosti intervala prilikom prelaska kolovoza.



Slika 9.10: Uporedni prikaz kumulativne raspodele odbijenih intervala za četiri karakteristična tipa pešačkih prelaza

Kako bi se uporedile vrednosti kritičnih, odbijenih i prihvaćenih intervala, za svaku lokaciju izračunati su kritični intervali, kao i 85% vrednosti prihvaćenih i odbijenih intervala (Slika 9.11). HCM definiše kritični interval kao vreme izraženo u sekundama ispod kojeg pešak neće započeti prelazak preko pešačkog prelaza. Prema tome, kritični vremenski interval predstavlja minimalno potrebno vreme za koje pešak može da pređe kolovoz. Od svih analiziranih lokacija, jedino je na lokaciji K1 85% vrednost prihvaćenih intervala veća od vrednosti kritičnog intervala, što praktično znači da određeni deo pešaka bira intervale za prelazak koji su duži od kritičnog, i samim tim bezbedniji za prelazak. Na svim ostalim lokacijama 85% vrednost prihvaćenih intervala manja je od vrednosti kritičnih intervala utvrđenih prema metodu HCM.

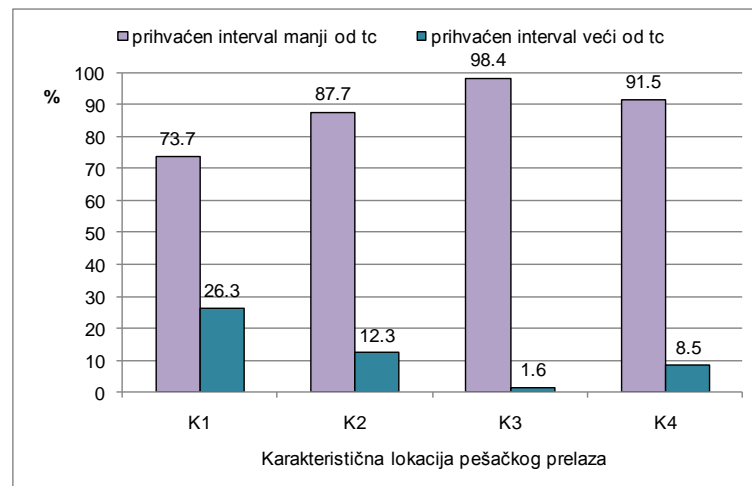


Slika 9.11: Vrednosti prihvaćenih, odbijenih i kritičnih intervala na karakterističnim lokacijama pešačkih prelaza

Najveća razlika između prihvaćenih intervala i kritičnih intervala uočava se na lokaciji K3, gdje je 85% vrednost prihvaćenog intervala 5,86 s, a kritični interval iznosi 7,51 s. Objašnjenje za ovu pojavu slično je kao i u slučaju kada je na istoj lokaciji zabeležena najmanja vrednost prihvaćenih intervala od svih posmatranih lokacija. Naime, deo pešaka koji započinje drugu fazu prelaska preko kolovoza, već u toku prve faze procenjuje udaljenost i brzinu vozila koja nailaze. Pešaci pri tome imaju određenu brzinu kojom se kreću, čime postaju uočljiviji za vozače nego u slučaju da stoje i pretpostavljaju da u tom slučaju neće izostati reakcije vozača koji će smanjiti brzinu kretanja u cilju izbegavanja konflikta. Najmanja razlika između prihvaćenih i kritičnih intervala je na lokaciji K2 (razlika od 0,27 s) pri čemu je vrednost prihvaćenih intervala približno ista sa vremenom koje je prema proračunima potrebno pešacima da stignu na drugu stranu kolovoza.

Nakon analize može se zaključiti da odnos vrednosti prihvaćenih i kritičnih intervala upućuje na rizično ponašanje nekih pešaka koje se ogleda u prihvatanju intervala koji nisu potpuno bezbedni za prelazak kolovoza. Na Slici 9.12 je prikazan procenat pešaka koji su birali interval za prelazak manji, odnosno veći u odnosu na kritični interval.

Na lokaciji K1, u odnosu na kritični interval ($t_c=6,28$ s), dobijeno je da 73,7 % pešaka bira intervale koji su manji od vremena koje je potrebno za prelazak na drugu stranu kolovoza. To znači da samo 26,3% pešaka bira intervale koji su veći od kritičnog, a samim tim i bezbedniji za prelazak preko pešačkog prelaza. Ovakav rezultat je moguća posledica činjenice da na ovom pešačkom prelazu pešaci prelaze samo jednu saobraćajnu traku i da obraćaju pažnju i procenjuju nailazak vozila samo iz jednog smera.



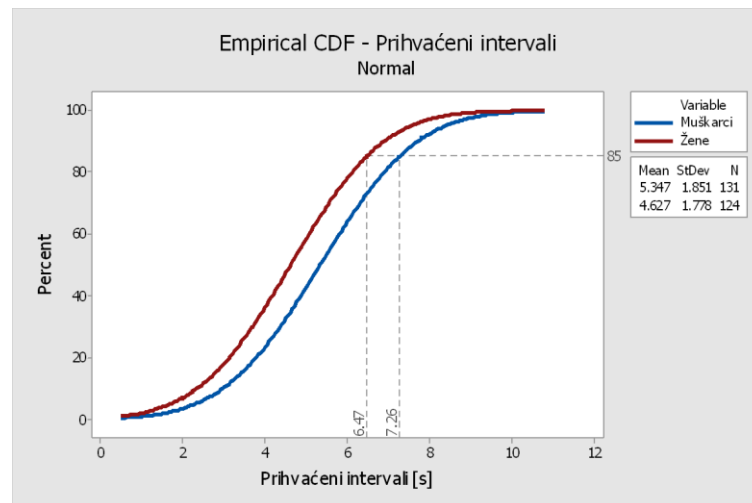
Slika 9.12: Uporedni prikaz prihvaćenih intervala pešaka i kritičnih intervala na karakterističnim lokacijama

Najmanji procenat pešakakoji je birao intervale veće od kritičnog, samo 1,6%, zabeležen je na lokaciji K3. Na ovom pešačkom prelazu pešaci prelaze dve saobraćajne trake, a ka pešačkom prelazu se kreću vozila sa obe strane. S obzirom na rezultate istraživanja, ova lokacija ima najveći procenat nebezbednih prelazaka pešaka preko kolovoza.

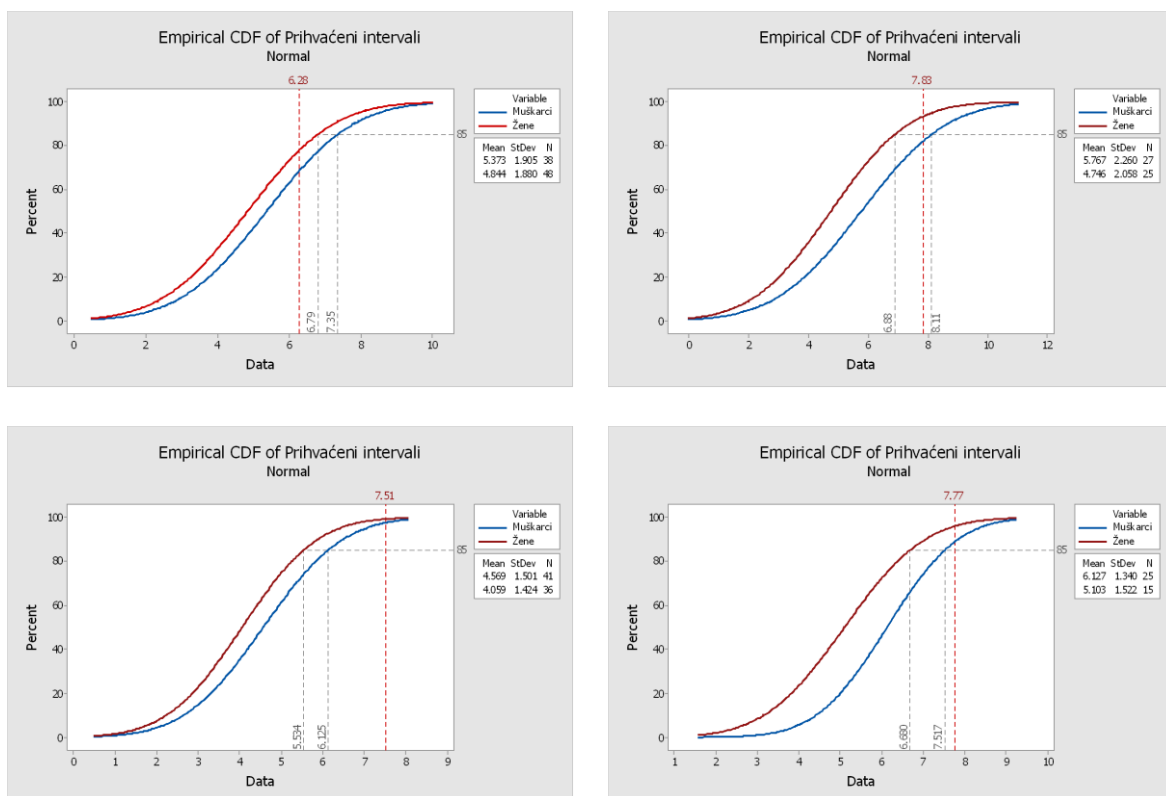
9.2. Prihvaćeni intervali u zavisnosti od pola pešaka

Prilikom analize prihvaćenih intervala u zavisnosti od pola pešaka, u obzir je uzeto ukupno 255 prelazaka pešaka na četiri karakteristične lokacije, od čega je bio 131 pešak muškog pola (51%) i 124 pešaka ženskog pola (49%).

Na Slici 9.13 su prikazani objedinjeni podaci kumulativne raspodele prihvaćenih intervala za sve četiri lokacije. 85% vrednost prihvaćenih intervala za žene iznosi 6,47 s, a za muškarce 7,26 s. Na Slici 9.14 su prikazane kumulativne raspodele prihvaćenih intervala u zavisnosti od pola pešaka pojedinačno po lokacijama. Pored 85% vrednosti prihvaćenih intervala za muškarce i žene, na slikama su prikazane i vrednosti kritičnih intervala koji su izračunati za svaku karakterističnu lokaciju.



Slika 9.13: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka za sve lokacije zajedno



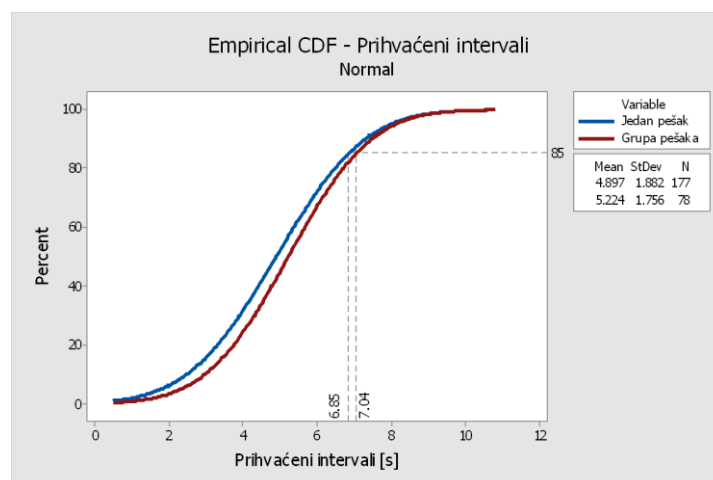
Slika 9.14: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka na lokacijama K1, K2, K3 i K4

Ono što je zajednično za sve lokacije je to da pešaci koji su ženskog pola biraju kraće intervale za prelazak preko kolovoza, što potvrđuje pretpostavku da pol pešaka ima uticaja na izbor intervala za prelazak.

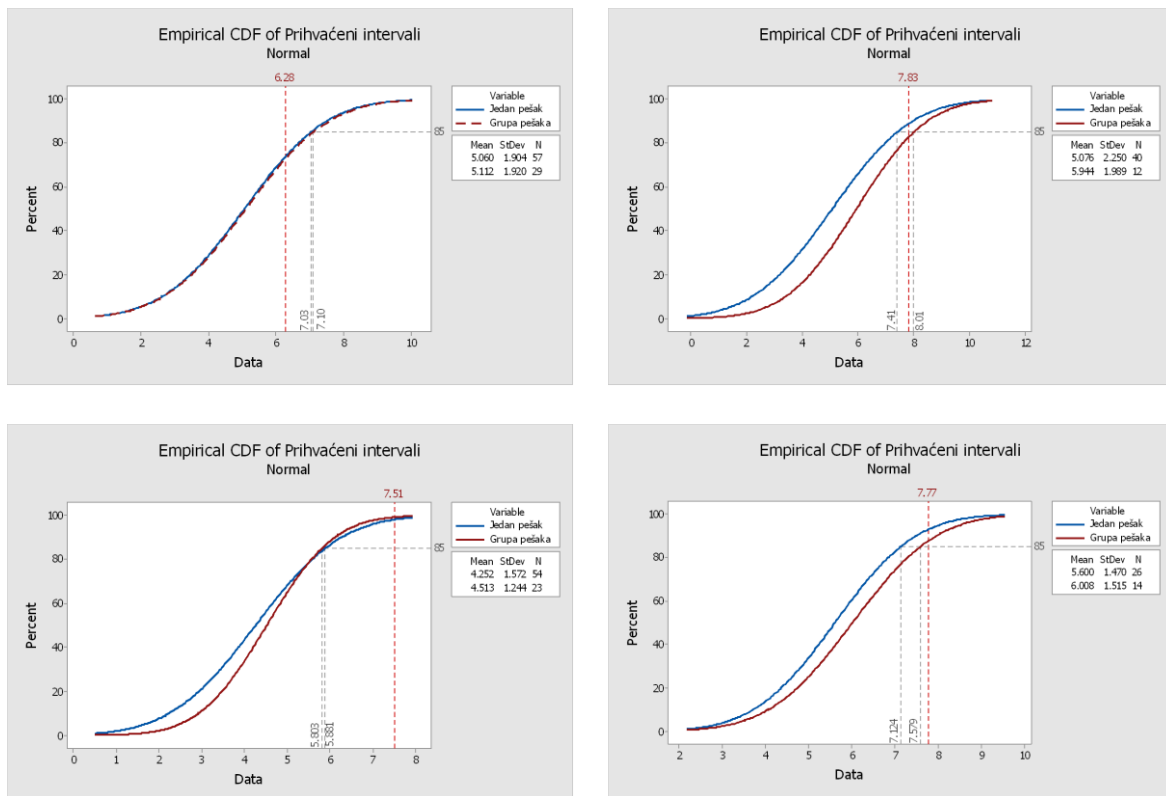
Na osnovu podataka prikupljenih na četiri lokacije, izračunata su i prosečna vremena čekanja i prosečna brzina prelaska pešaka preko kolovoza u odnosu na pol. Rezultati analize su pokazali da je vreme čekanja pešaka muškog pola 2,4 s/pešaku, dok je za žene dobijena nešto malo manja vrednost i iznosi 2,35 s/pešaku. Brzine pešaka su identične, bez obzira na pol, i prosečno iznose i za muškarce i za žene 1,39 m/s, što predstavlja brzinu koja je veća od preporučene vrednosti po HCM-u (1,2 m/s), kao i od vrednosti koja se usvaja prilikom projektovanja pešačkih signala u Republici Srbiji (od 0,8 m/s do 1,2 m/s), a koja zavisi od karaktera i veličine pešačkih tokova, kao i od načina regulisanja pešačkog saobraćaja koji se primenjuje (Đorđević, 1997).

9.3. Prihvaćeni intervali u zavisnosti od vrste prelaska preko kolovoza

Prilikom analize prihvaćenih intervala u zavisnosti od vrste prelaska preko kolovoza, u obzir je uzeto ukupno 255 prelazaka pešaka ili grupe pešaka na četiri karakteristične lokacije, od čega je bio 177 prelazaka pojedinaca (69%) i 78 prelazaka u grupi (31%). Na Slici 9.15 su prikazani objedinjeni podaci kumulativne raspodele prihvaćenih intervala za sve četiri lokacije. 85% vrednost prihvaćenih intervala za pešake koji individualno prelaze kolovoz iznosi 6,85 s, a za pešake u grupi iznosi 7,04 s. Na Slici 9.16 su prikazane kumulativne raspodele prihvaćenih intervala u zavisnosti od vrste prelaska pojedinačno po lokacijama. Pored 85% vrednosti prihvaćenih intervala za prelazak jednog pešaka i grupe pešaka, na dijagramima su prikazane i vrednosti kritičnih intervala koji su izračunati za svaku karakterističnu lokaciju.



Slika 9.15: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na vrstu prelazaka sve lokacije zajedno



Slika 9.16: Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na vrstu prelaska na karakterističnim lokacijama K1, K2, K3 i K4

Ono što je zajedničko za sve lokacije je to da kada pešaci prelaze sami kolovoz biraju kraće intervale, u odnosu na prelazak u grupi, kada biraju duže intervale. Rezultati analize potvrđuju pretpostavku da vrsta prelaska ima uticaja na dužinu prihvaćenog intervala za prelazak preko kolovoza.

Na osnovu podataka prikupljenih na četiri lokacije, izračunata su i prosečna vremena čekanja i prosečna brzina prelaska pešaka preko kolovoza u odnosu na vrstu prelaska. Rezultati analize su pokazali da je vreme čekanja pešaka koji sam stoji na ivici kolovoza 2,3 s, dok je za grupu pešaka prosečno vreme čekanja veće i iznosi 2,54 s/pešaku. Brzine pešaka u zavisnosti od vrste prelaska se razlikuju i za individualne pešake iznosi 1,42 m/s, dok prosečna brzina za grupu pešaka iznosi 1,31 m/s.

9.4. Osvrt na rezultate analize

Polazeći od polaznih pretpostavki izloženih u uvodu disertacije, izvršena je analiza intervala pešaka prilikom prelaska kolovoza. Analizirano je oko 450 intervala (prihvaćenih i odbijenih) na četiri karakteristične lokacije. Statistička analiza je pokazala da se prihvaćeni intervali ponašaju po normalnoj raspodeli, a odbijeni intervali po lognormalnoj raspodeli, što je u skladu sa prethodnim istraživanjima vršenim u ovoj oblasti ([Fitzpatrick i dr., 2006](#); [Yannis i dr., 2010](#); [Kadali i Perumal, 2012](#); [Kadali i dr., 2013](#);). Rezultati su pokazali da se prihvaćeni intervali razlikuju u odnosu na karakteristike lokacije (broj traka koje pešak treba preći i smer nailaska vozila na pešački prelaz). Analizom je utvrđeno da u velikom broju slučajeva pešaci biraju intervale koji su kraći od kritičnog i stvaraju rizične saobraćajne situacije. Prema rezultatima analize, tip lokacije koji ima najveći procenat nebezbednih prelazaka pešaka je pešački prelaz na dvosmernom dvotračnom putu, kada pešaci prelaze dve saobraćajne trake, a vozila prilaze pešačkom prelazu sa obe strane.

Pored karakteristika lokacije, pešački intervali su analizirani i sa aspekta polnih karakteristika pešaka (muškarci i žene) i vrste prelaska preko kolovoza (prelazak pojedinca i grupe pešaka). Ono što je zajednično za sve lokacije je to da pešaci ženskog pola biraju kraće intervale za prelazak preko kolovoza. To znači da su pešaci muškog pola manje skloniji riziku od žena i da biraju duže intervale. Ovakav rezultat u skladu je sa istraživanjima koja su vršena na području Evrope ([Yannis i dr., 2010](#)), dok su istraživanja sprovedena na području Azije pokazala da muškarci biraju kraće intervale za prelazak u odnosu na žene ([Kadali i Perumal, 2012](#); [Khan i dr., 1999](#); [Tiwari i dr., 2007](#)).

Analiza prosečnih brzina prelaska pešaka preko kolovoza je pokazala da ne postoje značajne razlike u prosečnim vrednostima brzina u odnosu na pol (1,39 m/s), što je dokazano i u istraživanjima ([Gates i dr., 2006](#); [Fitzpatrick i dr., 2006](#)). Međutim, većina autora došla do zaključka da je brzina pešaka muškog pola nešto veća u odnosu na pešake ženskog pola ([Rastogi i dr., 2011](#); [Tarawneh, 2001](#); [Jain i dr., 2014](#)). Slični rezultati su dobijeni i kod vremena čekanja: u istraživanjima vršenim uglavnom na području Azije vreme čekanja za pešake muškog pola je kraće u odnosu na žene ([Jain i dr., 2014](#); [Hamed, 2001](#); [Shahi i Devkota, 2013](#)). Rezultati istraživanja za potrebe izrade disertacije su pokazali da je prosečno vreme čekanja pešaka približno isto u odnosu na pol: za muškarce iznosi 2,4 s, dok je za žene 2,35 s.

Rezultati analize u okviru disertacije potvrđuju pretpostavku da vrsta prelaska (individualni prelazak ili grupa pešaka) ima uticaja na dužinu prihvaćenog intervala za prelazak preko kolovoza i to tako što pešaci koji su u grupi biraju duže intervale (7,04 s) u odnosu na individualne prelaske kolovoza (6,85 s). Do istog zaključka došli su

autori jednog od retkih istraživanja iz ove oblasti koje je vršeno u Evropi (Yannis i dr., 2010), dok su istraživanja vršena na području Azije pokazala suprotne rezultate (Pawar i Patil, 2015; Wang i dr., 2010). Međutim, prilikom analize brzine pešaka rezultati su pokazali da je brzina pešaka koji individualno prelaze kolovoz veća (1,42 m/s) u odnosu na brzinu grupe pešaka (1,31 m/s), što je u skladu sa većinom istraživanja brzine pešaka prilikom prelaska kolovoza koja su vršena u svetu (Gates i dr., 2006; Tarawneh, 2001; DiPietro i King, 1970). U skladu sa navedenim, dobijeno je da je prosečno vreme čekanja grupe pešaka duže nego vreme čekanja jednog pešaka (2,54 s u odnosu na 2,3 s).

10. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Jedna od najrizičnijih radnji sa kojom se susreću pešaci u saobraćaju je prelazak preko kolovoza. Iz tog razloga se na raskrsnicama ili drugim delovima ulične mreže definišu pešački prelazi kao posebne površine koje su namenjene za prelazak pešaka. Nivo usluge (NU), odnosno kvalitet uslova odvijanja pešačkih tokova na pešačkim prelazima, određuje se na osnovu vremenskih gubitaka koji predstavljaju srednje vreme čekanja pešaka na prelazak kolovoza. Metod za proračun NU za pešake prema HCM-u 2010 obuhvata seriju koraka koji zahtevaju ulazne podatke koji se odnose na intenzitet saobraćajnih i pešačkih tokova, geometrijske uslove i stepen propuštanja pešaka od strane vozila (SPP).

Poznavanje tačne vrednosti SPP-a za pešačke prelaze na kojima se vrši analiza NU je neophodno, a njegova veličina direktno utiče na ocenu kvaliteta uslova odvijanja saobraćaja na uličnoj mreži. U dosadašnjoj praksi su se vrednosti ovog parametra prilikom proračuna vremenskih gubitaka usvajale u skladu sa preporukama dobijenih na osnovu ranijih istraživanja, vršenih uglavnom na prostoru SAD-a. Iskustva sa preporučenim vrednostima drugih parametara saobraćajnog toka u postupcima određivanja NU pokazala su da lokalni uslovi mogu imati značajan uticaj na njihove vrednosti.

Merenjem parametara saobraćajnog toka dobijeni su podaci o SPP za 38 lokacija u dve zemlje regiona jugoistočne Evrope. Utvrđeno je da se na većini lokacija vrednosti izmerenih i preporučenih vrednosti bitno razlikuju, što je za posledicu imalo različite vremenske gubitke pešaka i različitu klasu NU koja se određuje na osnovu izračunatih prosečnih vremenskih gubitaka. Odstupanje u klasama NU za različite vrednosti parametra SPP-a je karakteristično za lokacije na kojima se javlja veći protok vozila (veći od 1000 vozila/h).

Istraživanje koje je sprovedeno u okviru disertacije poslužilo je za definisanje matematičkog modela koji se može primeniti u postupku određivanja NU za pešačke

prelaze. Model za određivanje SPP-a formiran je na osnovu rezultata lokalnih merenja na 32 lokacije i uzorku od 12 786 pešaka i 29 253 vozila. Model za proračun SPP-a u uslovima lokalnog odvijanja saobraćaja zavisi od protoka pešaka i vozila, strukture saobraćajnog toka (učestće autobusa i teretnih vozila) i smera kretanja vozila na lokaciji pešačkog prelaza.

S obzirom na statističke analize rezultata izabranog modela, kao i na osnovu rezultata njegovog testiranja na šest lokacija, može se zaključiti da izabrani model ima veoma dobro slaganje sa empirijskim podacima, odnosno sa vrednostima SPP koji je utvrđen neposrednim merenjem. Posmatrajući 32 lokacije koje su služile za prikupljanje podataka i formiranje modela, na skoro 90% lokacija procentualna greška između modelovanih i stvarnih vrednosti je manja od 20%. Na drugih šest lokacija, koje su služile za testiranje formiranog matematičkog modela, procentualna greška takođe je bila manja od 20%, što je u skladu sa preporukama za modelovane vrednosti parametara saobraćajnog toka.

Formiranjem modela i njegovim testiranjem potvrđenja je prva hipoteza rada po kojoj je moguće definisati model za proračun SPP na osnovu strukture saobraćajnog toka vozila i pešaka, kao i načina regulisanja saobraćaja na nesignalisanim pešačkim prelazima. Ovako formiran model ima univerzalnu primenu i može se koristiti u svim situacijama kada vrednost SPP-a nije poznata. Postojeći metod proračuna vremenskih gubitaka na pešačkim prelazima bi se mogao dopuniti formiranim modelom za proračun SPP.

Primenom definisanog modela mogli bi se vrednovati uticaji i specifičnosti lokalne sredine i karakteristika saobraćajnog toka, što do sada nije bio slučaj, a što bi doprinelo da se preciznije odredi NU na različitim tipovima pešačkih prelaza. Naime, primenom preporučenih vrednosti SPP-a dobijaju se znatno drugačiji rezultati prosečnih vremenskih gubitaka, što je za posledicu imalo utvrđivanje drugačijih klasa NU u odnosu na rezultate koji su dobijeni primenom izmerenih i modelovanih vrednosti SPP-a. Usporedna analiza vremenskih gubitaka pešaka na 38 pešačkih prelaza pokazala je da između vremenskih gubitaka sa izmerenim i modelovanim vrednostima SPP ne postoji značajna razlika i da su dobijeni rezultati približno isti, a takođe nije bilo ni razlike u klasama NU. Poređenje vremenskih gubitaka dobijenih sa izmerenim, odnosno modelovanim vrednostima i sa preporučenim vrednostima SPP-a iz HCM-a 2010 pokazalo je da postoje značajne razlike na pojedinim lokacijama. U slučaju izmerenih i preporučenih vrednosti, na četvrtini lokacija razlika između izračunatih vremenskih gubitaka je iznosila preko 20%, što je za rezultat imalo različite klase NU. Do istih rezultata se došlo i u slučaju primene modelovanih i preporučenih vrednosti SPP-a u proračunu. Odstupanje u klasama NU za različite vrednosti parametra SPP-a je karakteristično za lokacije na kojima se javlja veći protok vozila (veći od 1000 vozila/h).

Prelazak pešaka preko kolovoza zavisi od velikog broja faktora koji utiču na njihovu odluku i način prelaska (starost i pol pešaka, ponašanje vozača, karakteristike vozila, geometrija puta, izgrađeno ulično okruženje itd.). Za svaki interval koji se javi u konfliktnom saobraćajnom toku vozila pešak mora da donese odluku da li da ga prihvati i započne prelazak kolovoza ili da ga odbaci i sačeka interval koji je po njegovom mišljenju bezbedan, odnosno dovoljan da bez konflikta pređe na pešačko ostrvo ili drugu stranu ulice.

Pod pretpostavkom da faktori, kao što su uslovi odvijanja saobraćaja na pešačkom prelazu, karakteristike pešaka i broj pešaka u grupi koji prelaze kolovoz, utiču na dužinu prihvaćenih intervala, izvršena je analiza na četiri karakteristične lokacije pešačkih prelaza. Kriterijum za izbor pešačkih prelaza bio je broj saobraćajnih traka koje pešak treba da pređe, kao i smer kretanja vozila, odnosno činjenica da li vozilo pešačkom prelazu prilazi iz jednog ili oba smera. Za potrebe analize formirana je baza od oko 450 intervala (prihvaćenih i odbijenih). Statistička analiza pokazala je da se prihvaćeni intervali od strane pešaka ponašaju po normalnoj raspodeli, a odbijeni intervali po lognormalnoj raspodeli.

Rezultati analiza pokazali su da se prihvaćeni intervali razlikuju u odnosu na karakteristike lokacije (broj traka koje pešak treba preći i smer nailaska vozila na pešački prelaz), a najkraći prihvaćeni intervali zabeleženi su na pešačkom prelazu na kome pešaci prelaze dve saobraćajne trake kojima nailaze vozila iz jednog smera kretanja. Na ovoj lokaciji procenat prihvaćenih intervala koji su kraći od kritičnog intervala bio je najveći, što upućuje na to da pešaci na ovakvom tipu pešačkog prelaza stvaraju rizične situacije prilikom prelaska kolovoza.

Analiza prihvatljivih intervala na svim lokacijama je pokazala da žene u odnosu na muškarce biraju kraće intervale, ali nisu nađene značajnije razlike u prosečnim vrednostima brzina prelaska i vremena čekanja na pešačkom prelazu. Posmatrajući broj pešaka u grupi koji prelaze kolovoz, uočeno je da pešaci koji sami prelaze kolovoz biraju kraće intervale za prelazak, brže se kreću prilikom prelaska kolovoza i manje čekaju na odgovarajući interval za prelazak. Navedeni rezultati su potvrdili drugu hipotezu rada u kojoj je navedeno da je moguće utvrditi zavisnost između dužine prihvaćenih intervala pešaka prilikom prelaska kolovoza i uslova odvijanja saobraćaja, polnih karakteristika pešaka i broja pešaka koji prelaze kolovoz na nesignalisanom pešačkom prelazu.

U regionu jugoistočne Evrope nisu vršena značajnija istraživanja parametara tokova vozila i pešaka koji su neophodni za sprovođenje postupka analize NU pešačkih tokova na nesignalisanim pešačkim prelazima.

S obzirom na rezultate prethodnih istraživanja u svetu koja su se bavila određivanjem uticajnih parametara na SPP, moguće je izvršiti detaljniju analizu uslova odvijanja saobraćaja na nesignalisanim prelazima u našem regionu. U

pogledu izrade matematičkih modela, dosadašnja istraživanja SPP-a bila su usmerena u cilju izrade probabilističkih modela, odnosno određivanjem verovatnoće zaustavljanja vozila na pešačkom prelazu u zavisnosti od promenljivih vezanih za karakteristike vozila, pešaka i uslova odvijanja saobraćaja. Formirani modeli su različiti po izboru, broju i uticaju pojedinih faktora, tako da se ne bi mogli primeniti na uslove lokalnog odvijanja saobraćaja. S obzirom da na našim prostorima nisu vršena istraživanja koja bi za rezultat imala ovakve modele, formiranjem baze podataka sa dovoljnim brojem uticajnih promenljivih stvorili bi se preduslovi za formiranje matematičkih modela kojima bi se vrednovao uticaj specifičnosti lokalne sredine i karakteristika saobraćajnog toka.

S obzirom na to da je matematički model SPP-a formiran na osnovu podataka koji su prikupljeni na lokacijama koje se nalaze u dve zemlje jugoistočne Evrope (Republika Srbija i Bosna i Hercegovina) i da je testiran na lokacijama sa istog područja, jedan od pravaca daljih istraživanja je svakako proširenje područja primene modela. Naime, utvrđivanjem parametara saobraćajnog toka i vrednosti SPP u drugim zemljama regiona i Evrope, postojeći model bi se mogao kalibrisati i prilagoditi za primenu u širem regionu.

Kao što je već napomenuto, prihvatljivi intervali pešaka prilikom prelaska kolovoza imaju jedinstven skup uslova koji se mogu koristiti u statističkoj analizi i analizi ponašanja pešaka. Za potrebe disertacije izvršena je analiza samo za deo uticajnih faktora, kao što su individualne karakteristike pešaka i način prelaska. Rezultati prethodnih istraživanja otkrivaju veliki skup uticajnih faktora koji se mogu dalje istraživati, kao što su karakteristike vozila, položaj vozila u odnosu na pešaka, brzina vozila, geometrijske karakteristike lokacije, starost pešaka itd. Formirane baze podataka nezavisno promenljivih mogu poslužiti za formiranje različitih matematičkih modela kojima se procenjuje verovatnoća prihvatanja određene dužine intervala prelaska, kao i verovatnoća prelaska pešaka preko kolovoza kao nezavisnog događaja.

Rezultati istraživanja sprovedenog u ovom radu su univerzalni i mogu se koristiti u regionu jugoistočne Evrope. Primena modela i preporuka koji bi bili rezultati istraživanja, omogućiće stručnjacima koji se bave ovom oblašću da u postupku analize NU na pešačkim prelazima dođu do rezultata koji odgovaraju stvarnim uslovima odvijanja saobraćaja.

LITERATURA

Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije - ABS. (2013). Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2012. godini.

Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije - ABS (2014). Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2013. godini.

Ashmead, D., Guth, D., Wall, R., Long, R., & Ponchilla, P. (2005). Street Crossing by Sighted and Blind Pedestrians at a Modern Roundabout. *ASCE Journal of Transportation Engineering*. Vol. 131, 812-821.

Aultman-Hall, L., Lane, D., & Lambert, R. (2009). Assessing the Impact of Weather and Season on Pedestrian Traffic Volumes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2140, 35-43.

Bassett, D., Pucher, J., Buehler, R., Thompson, D., & Crouter, S. (2011). Active Transportation and Obesity in Europe, North America and Australia. *ITE Journal*, 24-28.

Bogdanović, V., Ruškić, N., Kulović, M., & Han, L. (2013). Toward a Capacity Analysis Procedure for Nonstandard Two-Way Stop-Controlled Intersections, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2395, 132-138.

Brewer, M., Fitzpatrick, K., Whitacre, J., & Lord, D. (2006). Exploration of pedestrian gap acceptance behavior at selected locations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1982, 132-140.

Bulajić, A., Jovanović, D., Matović, B., & Bačkalić, S. (2014). Identification of high-density locations with homogeneous attributes of pedestrian accident in the urban area of Novi Sad. *Proceedings of the XII International Symposium "Road Accidents Preventions"* (str. 89-98).

-
- Cherry, C., Donlon, B., Yan, X, Moore, S. E, & Xiong, J. (2012). Illegal mid-block pedestrian crossings in China: gap acceptance, conflict and crossing path analysis. *International journal of injury control and safety promotion*, Volume 19, Issue 4, 320-330.
- Das, S., Manski, C. F., & Manuszak, M. D. (2005). Walk or wait? An empirical analysis of street crossing decisions. *Journal of Applied Econometrics*, 20(4), 529–548.
- DiPietro, C. M., & King, L. E. (1970). Pedestrian gap-acceptance. *Highway Research Record*, No. 308, 80-91.
- Đorđević, T. (1997). Regulisanje saobraćajnih tokova svetlosnom signalizacijom. Institut za puteve d.d, Beograd
- EPOMM - European Platform on Mobility Management . (2015). *TEMS - The EPOMM Modal Split Tool*. Preuzeto 15. maja 2015., sa <http://www.epomm.eu/tems/index.phtml>
- Fatality Analysis Reporting System - FARS. (2009). National Highway Traffic safety Administration (NHTSA).
- Fatality Analysis Reporting System. - FARS (2014). Encyclopedia. Preuzeto 26. septembra 2014., sa <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov>
- Federal Highway Administration - FHWA. (2009). *U.S. Department of Transportation: Safety at Unsignalized Intersections*. Preuzeto 1. septembra 2014.,sa http://safety.fhwa.dot.gov/intersection/unsignalized/presentations/unsig_pps_041409/
- Federal Highway Administration - FHWA. (2010). *Effects of Yellow Rectangular Rapid-Flashing Beacons on Yielding at Multilane Uncontrolled Crosswalks*, FHWA-HRT-10-046.
- Fitzpatrick, K., Turner, S., Brewer, M., Carlson, P., Ullman, B., Trout, N., Park, E.S., & Whitacre, J. (2006). *Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Crossings*. TCRP Report 112/NCHRP Report 562. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Fruin, J. J. (1987). *Pedestrian Planning and Design*. Mobile, Alabama: Elevator World, Incorporated.
- Gates, T. J., Noyce, D. A., Bill, A. R., & Van, E. N. (2006). Recommended walking speeds for pedestrian clearance timing based on pedestrian characteristics. *85th Annual Meeting of the Transportation Research Board* (str. 38–47). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
-

-
- Geruschat, D., & Hassan, S. (2005). Driver Behavior in Yielding to Sighted and Blind Pedestrians at Roundabouts. *Journal of Visual Impairment and Blindness*. Volume 99 (Number 5), 286-302.
- Greenshields, B.D. (1935). A study of highway capacity, Proceedings *Highway Research Record, Washington, Volume 14*, 448-477.
- Hall, E. T. (1966). *The Hidden Dimensions*. New York, Garden City: Doubleday and Co.
- Hamed, M. M. (2001). Analysis of pedestrians' behaviour at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63-82.
- Harrell, A. (1993). The Impact of Pedestrian Visibility and Assertiveness on Motorist Yielding. *The Journal of Social Psychology*, Volume 133, Issue 3, 353-360.
- Highway Capacity Manual - HCM. (1965). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual - HCM. (1985). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual - HCM. (2000). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Highway Capacity Manual - HCM. (2010). Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Huang, H., Hughes, R., & Zegeer, C. (1999). *An Evaluation of the Light Guard Pedestrian Crosswalk Warning System*. Florida: Department of Transportation.
- Ivanović, B., Basarić, V., Garunović, N., Mitrović, J., & Saulić, N. (2014a). Research of speeds in overtaking, *Put i saobraćaj*, 60 (1), 39-44.
- Ivanović, B., Garunović, N., & Tomanović, Z. (2014b). Research on the length of passing distance in the real traffic flow, *Građevinar* 66 (9), 823-830.
- Jain, A., Gupta, A., Rastogi, R. (2014). Pedestrian crossing behaviour analysis at intersections. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 4(1), 103-116
- Joshi, M. S., Senior, V., & Smith, G.P. (2001). A diary study of the risk perceptions of road users. *Health, Risk & Society*, Vol. 3, No. 3., 261-279
- JP Putevi Srbije. (2012a). *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (6. Saobraćajna signalizacija i oprema; 6.1 Saobraćajna signalizacija)*.
- JP Putevi Srbije. (2012b) *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (5. Funkcionalni elementi i površine puteva; 5.1 Raskrsnice i priključci)*.
-

-
- JP Putevi Srbije. (2012c). *Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (5. Funkcionalni elementi i površine puteva, 5.7 Pešačke površine i površine za hendikepirane)*.
- JP Urbanizam. Zavod za urbanizam Novi Sad. (2009). *Saobraćajna studija grada Novog Sada sa dinamikom uređenja saobraćaja – NOSTRAM*. Novi Sad.
- Kadali, B.R & Perumal, V. (2012). Pedestrians' Gap Acceptance Behavior at Mid Block Location. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, No. 2*, 158-161.
- Kadali, R., Raghuram, B., & Vedagiri, P. (2013). Modelling pedestrian road crossing behaviour under mixed traffic condition. *European Transport\Trasporti Europei, Issue 55, Paper n°3*, 1-17.
- Kadali, R., Rathi, N., & Perumal, V. (2014). Evaluation of pedestrian mid-block road crossing behaviour using artificial neural network. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(2), 111-119.
- Khan, F. M., Jawaid, M., Chotani, H., & Luby, S. (1999). Pedestrian environment and behavior in Karachi, Pakistan. *Accident analysis and prevention*, 31(4), 335–339.
- Koh, P.P., & Wong, Y.D. (2014). Gap acceptance of violators at signalised pedestrian crossings. *Accident Analysis and Prevention, Vol. 62*, 178–185.
- Kuzović, Lj., & Bogdanović, V. (2010). *Teorija saobraćajnog toka*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Lobjois, R., & Cavallo, V. (2007). Age-related differences in street crossing-decisions: The effects of vehicle speed and time constraints on gap selection in an estimation task. *Accident Analysis Prevention* 39 (5), 934-943.
- Lobjois, R., Benguigui, N, & Cavallo, V. (2013). The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. *Accident Analysis and Prevention*, 53, 166–175.
- Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways - MUTCD. (2009). 2009 Edition including Revision 1&2 dated May 2012. U.S. Department of Transportation.
- Martin, A. (2006). *Factors infuluencing pedestrian safety: a literature review*. Published Project Report PPR241 for TfL. London, England
- Milam, T. R., & Choa, F. (2001). Recommended Guidelines for the Calibration and Validation of Traffic Simulation Models, *8th TRB Conference on the Application of Transportation Planning Methods* (str. 178-187), Texas: Corpus Christi.
- Mitrović, J., & Ruškić N. (2011). Benefits of non-motorized active transportation. *3rd International Conference „Towards a humane city“* (str. 197-202). Novi Sad: Faculty of Technical Sciences.
-

- Mitrović, J. & Srdić, L. (2013). Influence of motorist yield rate on pedestrian level of service at crosswalks in urban areas. *4th International Conference „Towards a humane city“* (str. 509-516). Novi Sad: Faculty of Technical Sciences.
- Mitrović Simić, J., Bogdanović, V., & Basarić, V. (2014). Analysis of motorist yield rate on unsignalized pedestrian crossing in urban areas. *Suvremeni promet, Volume 34 N^o3-4*, 221-225.
- Mitrović Simić, J., & Bogdanović, V. (2015) *5th International Conference „Towards a humane city“* (str. 283-289). Novi Sad: Faculty of Technical Sciences.
- Mutabazi, M. (2008). *Evaluation of the new pedestrian crossing in Trinidad: Final report*. The University of the West Indies: Department of Civil & Environmental Engineering.
- National Household Travel Survey - NHTS. (2015). U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration.
- NYCD of City Planning. (2006). *Pedestrian Level of Service Study: Phase 1*. New York: New York City Department.
- Oxley, J.A., Ihsen, E., Fildes, B.N., Charlton, J.L., & Day, R.H. (2005). Crossing Roads Safely: An Experimental Study of Age Differences in Gap Selection by Pedestrians. *Accident Analysis and Prevention. Volume 37*, 962-971.
- Papadimitriou, E., Yannis, G., & Golias, J. (2009). A critical assessment of pedestrian behaviour models. *Transportation Research Part F, 12*, 242-255.
- Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2015). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block streetcrossing in developing world, *Journal of Safety Research 52*, 39–46.
- Petz, B. (1985). *Osnovne statističke metode za nematematičare*. (str. 199). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
- Petzoldt, T. (2014). On the relationship between pedestrian gap acceptance and time to arrival estimates. *Accident Analysis and Prevention, 72*, 127-133.
- Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. (2010). Beograd: Službni glasnik.
- Pucher, J., & Buehler, R. (2010). Walking and cycling for healthy cities. *Built Environment 36 (4)*, 391-414.
- Pushkarev, B., & Zupan, J.M. (1975). *Urban space for pedestrians: A report of the regional plan association*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press.
- Rastogi, R., Chandra, S., Vamsheedhar, J., & Das, V. R. (2011). Parametric study of pedestrian speeds at midblock crossings. *Journal of Urban Planning and Development, 137(4)*, 381-389.

-
- Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., List, G., Flannery, A., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., Persaud, B., Lyon, C., Harkey, D., & Carter, D. (2007). *NCHRP Report 572. Roundabouts in the United States*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Rouphail, N., Hummer, J., Milazzo, J., & Allen, P. (1998). *Capacity analysis of pedestrian and bicycle facilities: Recommended procedures for the "Pedestrians" Chapter of Highway Capacity Manual. Report FHWA-RD-98-107*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Salamati, K., Schroeder, B., Geruschat, D., & Rouphail, N. (2013). Event-Based Modeling of Driver Yielding Behavior to Pedestrians at Two-Lane Roundabout Approaches. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 2389*, 1-11.
- Schneider, R., Patton, R., Toole, J., & Raborn, C. (2005). *Pedestrian and Bicycle Data Collection in United States Communities: Quantifying Use, Surveying Users, and Documenting Facility Extent*. Preuzeto 15. aprila 2015., sa <http://www.walkinginfo.org/library/details.cfm?id=2065>
- Schroeder, E.I. & Rouphail, N. M. (2011). Event-Based Modeling of Driver Yielding Behavior at Unsignalized Crosswalks. *Journal of Transportation Engineering* 137 (7), 455–465.
- Serag, M. S. (2014). Modelling pedestrian road crossing at uncontrolled mid-block locations in developing countries. *International journal of civil and structural engineering, Volume 4, No 3*, 274-285.
- Shahi, P. B., & Devkota, B. P. (2013). Modeling Pedestrians' Behavior at Road Crossings: A Case Study in Kathmandu. *Proceedings of IOE Graduate Conference, Vol. 1*, (str. 83-90), Pulchowk: Tribhuvan University, Institute of Engineering.
- Shurbutt, J., Van Houten R.G., & S.M. Turner. (2008). Analysis of effects of stutter flash LED beacons to increase yielding to pedestrian using multilane crosswalks. *87th Annual meeting of the transportation research board*. Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Simpson, G., Johnston, L., & Richardson, M. (2003). An investigation of road crossing in a virtual environment. *Accident Analysis and Prevention* (35), 787-796.
- Sun D., Satish U., Rahim B., & Travis W.S. (2003). Modeling of Motorist-Pedestrian Interaction at Uncontrolled Mid-Block Crosswalks. *82nd Annual meeting of the transportation research board*. Washington D.C.: Transportation Research Board of The National Research Council.
- Swanson, K. (2012). *Bicycling and walking in the United States: 2012 Benchmarking Report*. Washington D.C: Alliance for Biking&Walking
-

-
- Tarawneh, M. S. (2001). Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors. *Journal of Safety Research* 32(2), 229–236.
- Theofilatos, A. (2009). *Investigation of the minimum gap accepted by pedestrians for urban street mid-block crossing*. Diploma Thesis. National Technical University of Athens. School of Civil Engineering. Department of Transportation Planning and Engineering.
- Tiwari, G., Bangdiwala, S., Saraswat, A., & Gaurav, S. (2007). Survival Analysis: Pedestrian Risk Exposure at Signalized Intersections. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*. 10(2), 77-89.
- Traffic Analysis Handbook - TAH. (2014). *A Reference for Planning and Operations*. Florida: Department of Transportation.
- Transport for London - TFL. (2011). *Travel in London. Supplementary Report: London Travel Demand Survey (LTDS)*.
- Turner, S., Fitzpatrick, K., Brewer, M., & Park, E.S. (2006). Motorist yielding to pedestrians at unsignalized intersections: Findings from a national study on improving pedestrian safety. *Transportation Research Records*, 1982, 1-12.
- Van Houten, R., & Malenfant, L. (2001). ITS Animated LED Signals Alert Drivers to Pedestrian Threats. *ITE Journal*, 71, 42-47.
- Van Winkle, J.W., & Neal, D.A. (2002). Pedestrian-actuated crosswalk flashers. *ITE 2000 Annual Meeting*, Nashville: Institute of transportation Engineers.
- Velde, A.F, Van der Kamp, J., Barela, J.A., & Savelsbergha, G.J.P. (2005). Visual timing and adaptive behavior in a road-crossing simulation study. *Accident Analysis and Prevention* (37), 399–406.
- Wang, T., Wu, J., Zheng, P., & McDonald, M. (2010). Study of pedestrians' gap acceptance behavior when they jaywalk outside crossing facilities, *13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems* (str 1295-1300). Madeira Island, Portugal.
- Whitlock & Weinburger Transportation, Inc.. - WWT (1998). *An Evaluation of a Crosswalk Warning System Utilizing In-Pavement Flashing Lights*, Santa Rosa: California.
- Wilson, D. G., & Grayson, G. B. (1980). *Age-Related Differences in the Road Crossing Behaviour of Adult Pedestrians*. TRRL Report LR 933. Transport Research Laboratory.
- World Health Organization - WHO. (2013a). *Global status report on road safety*.
- World Health Organization - WHO. (2013b). *Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners*.
-

Yannis, G., Papadimitriou, E., & Theofilatos, A. (2010). Pedestrian gap acceptance for mid-block street crossing., *12th World Conference on Transport Research Society* (str. 1-11), Lisbon, Portugal.

Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima - ZOBS. (2011). Beograd: Službeni glasnik.

Zakon o javnim putevima. (2012). Beograd: Službeni glasnik.

PRILOZI

Spisak priloga

PRILOG 1: Normativna regulativa u oblasti regulisanja pešakog saobraćaja u Republici Srbiji.....	151
PRILOG 2: Formirana baza podataka sa prikupljenim karakteristikama lokacija.....	163
PRILOG 3: Korelaciona matrica.....	166
PRILOG 4: Izlazni rezultati regresione analize u softverskom paketu MINITAB 17.1.0.....	167
PRILOG 5: Vrednosti nezavisno promenljivih za lokacije korišćene za testiranje modela.....	182
PRILOG 6: Postupak proračuna vremenskih gubitaka za utvrđivanje nivoa usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima primenom metoda HCM 2010 (primer).....	183

PRILOG 1: Normativna regulativa u oblasti regulisanja pešakog saobraćaja u Republici Srbiji

Izvod iz Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima ("Službeni glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010 i 101/2011)

Član 23

Vozač je dužan da obrati pažnju na pešake koji se nalaze na kolovozu ili stupaju na kolovoz ili iskazuju nameru da će stupiti na kolovoz.

Kada prilazi pešačkom prelazu, vozač mora da prilagodi brzinu vozila tako da u svakoj situaciji koju vidi ili ima razloga da predvidi, može bezbedno da zaustavi vozilo ispred pešačkog prelaza.

Na delu puta na kome se kreću deca, odnosno su postavljeni saobraćajni znakovi o učešću dece u saobraćaju, vozač je dužan da vozi sa naročitom oprežnošću, tako da može blagovremeno da zaustavi vozilo.

Član 96

Pešak je dužan da preko kolovoza i biciklističke staze prelazi pažljivo i najkraćim putem, nakon što se uveri da to može da učini na bezbedan način.

Prilikom prelaska preko kolovoza pešak ne sme da upotrebljava mobilni telefon niti da koristi slušalice na ušima.

Na putu sa pešačkim prelazom ili posebno izgrađenim prelazom, odnosno prolazom za pešake, pešak je dužan da se pri prelaženju puta kreće tim prelazom, odnosno prolazom, ako oni nisu od njega udaljeni više od 100 metara.

Član 97

Na pešačkom prelazu, na kome je saobraćaj pešaka regulisan svetlosnim saobraćajnim znacima, pešak je dužan da postupa u skladu sa tim znacima.

Na pešačkom prelazu, na kome je saobraćaj pešaka regulisan znacima koje daje policijski službenik, pešaci mogu da prelaze kolovoz samo kad je datim znakom dozvoljen prelaz.

Na pešačkom prelazu, na kome saobraćaj nije regulisan svetlosnim saobraćajnim znacima ni znacima koje daje policijski službenik, pešak je dužan da se pre stupanja na pešački prelaz, prethodno uveri da može da pređe na bezbedan način, tako da stupanjem na kolovoz ne ugrožava bezbednost saobraćaja.

Član 99

Ukoliko je saobraćaj na pešačkom prelazu regulisan svetlosnim saobraćajnim znakovima ili znakovima policijskog službenika, vozač je dužan da svoje vozilo zaustavi ispred pešačkog prelaza kada mu je datim znakom zabranjen prolaz, a ako mu je na takvom prelazu datim znakom dozvoljen prolaz, vozač je dužan da propusti pešaka koji je već stupio na pešački prelaz ili pokazuje nameru da će stupiti na pešački prelaz dok mu je svetlosnim saobraćajnim znakom ili znakom policijskog službenika prelaz bio dozvoljen.

Ukoliko se pešački prelaz iz stava 1. ovog člana nalazi na ulazu na bočni put, vozač koji skreće na taj put dužan je da skretanje izvrši na bezbedan način i da propusti pešaka koji je već stupio ili stupa na pešački prelaz ili pokazuje nameru da će stupiti na pešački prelaz, a po potrebi, zaustavi svoje vozilo.

Ukoliko na pešačkom prelazu saobraćaj nije regulisan uređajima za davanje svetlosnih saobraćajnih znakova niti znacima policijskih službenika, vozač je dužan da prilagodi brzinu vozila tako da u svakoj situaciji koju vidi ili ima razloga da predvidi može bezbedno da zaustavi vozilo ispred pešačkog prelaza i propusti pešaka koji je već stupio ili stupa na pešački prelaz ili pokazuje nameru da će stupiti na pešački prelaz.

Vozač koji skreće na bočni put na čijem ulazu ne postoji pešački prelaz dužan je da propusti pešake koji su već stupili ili stupaju na kolovoz.

Ukoliko su u slučaju iz st. 1, 2, 3. i 4. ovog člana pešaci deca, nemoćna lica, slepe osobe koje se kreću uz upotrebu belog štapa i/ili psa vodiča, osobe sa invaliditetom koje se kreću u invalidskim kolicima, ili za kretanje koriste druga ortotičko-protetička pomagala, vozač je obavezan da zaustavi vozilo i da ih propusti.

Vozač ne sme vozilom da preseca organizovanu kolonu pešaka koja se kreće po kolovozu.

Izvod iz Pravilnika o saobraćajnoj signalizaciji ("Službeni glasnik RS", br.26/2010).

Član 67

Poprečne oznake na kolovozu obeležavaju se neisprekidanim ili isprekidanim linijama i mogu biti povučene na kolovozu tako da zahvataju jednu ili više saobraćajnih traka.

Član 68

Poprečne oznake su:

- 1) linija zaustavljanja;
- 2) kosnici;
- 3) graničnici;
- 4) pešački prelazi, i
- 5) prelazi biciklističke staze preko kolovoza.

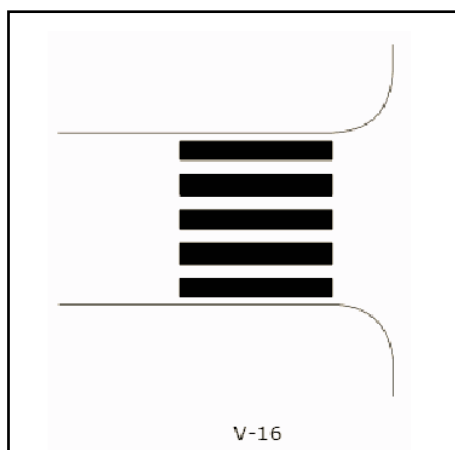
Član 72

Pešački prelaz označava deo površine kolovoza namenjen za prelaz pešaka (V-16).

Na mestima na kojima pešački prelaz nije moguće obeležiti bojom, prelaz se može obeležiti čeličnim elementima, klinovima ili reflektujućim materijalima.

Na kolovozu pored pešačkog prelaza koji se nalazi u blizini škole mora da stoji natpis "ŠKOLA".

Pešački prelazi na državnim putevima kroz naselja obeležavaju se obavezno na platformi ispred koje se ugrađuju zvučne trake.



Slika 2.1: Označavanje pešačkog prelaza

Izvod iz Priručnika za projektovanje puteva u Republici Srbiji (6. Saobraćajna signalizacija i oprema; 6.1 Saobraćajna signalizacija).

Prema priručniku pešački prelaz se obeležava na mestima na kojima su ispunjeni uslovi koji se odnose na saobraćaj pešaka uzavisnosti od saobraćajnog opterećenja vozilima, odnosno na mestima na kojima to zahtevaju razlozi bezbednosti saobraćaja (blizina škole, obdaništa, bolnice, domova za stara lica, raskrsnice itd).

Osim navedenog, za obeležavanje pešačkog prelaza moraju da budu ispunjeni i sledeći uslovi:

- obezbeđena odgovarajuća preglednost pri čemu se uzima u obzir zaustavna dužina,
- udaljenost do susednog prelaza mora da bude veća od 100 m (osim za prelaze u raskrsnicama),
- obezbeđen propisani koeficijent trenja na kolovoznoj površini,
- obezbeđene površine za čekanje pored prelaza koje moraju da budu povezane sa trotoarom,
- obezbeđeno odgovarajuće osvetljenje mesta pešačkog prelaza,
- proveriti neophodnost postavljanja svetlosno-signalnih uređaja.

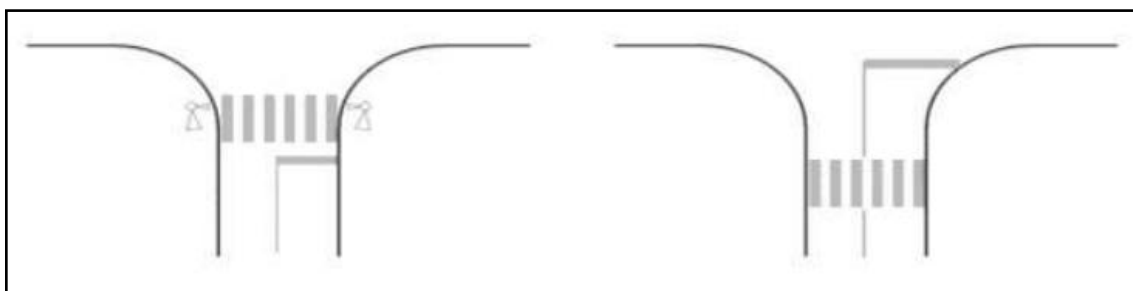
U zoni pešačkog prelaza na putevima van naselja, brzinu je potrebno ograničiti najviše na 70 km/h. U naselju se dodatno ograničenje brzine u zoni pešačkog prelaza primenjuje samo u kombinaciji sa merama za usporavanje saobraćaja. Kada je samostalni pešački prelaz obeležen preko dve saobraćajne trake namenjene kretanju vozila u istom smeru, takav prelaz mora da bude obezbeđen semaforom bez obzira na broj pešaka ili vozila.

Minimalna širina pešačkog prelaza mora da bude 3,0 m.

Pešački prelaz se obeležava uporedo u odnosu na osu puta. Rastojanje između obeleženih delova pešačkog prelaza iznosi onoliko koliko iznosi njihova kraća stranica. Ako je to moguće, pešački prelaz mora da bude obeležen pod pravim uglom u odnosu na osu puta, tako da je pešak u što kraćem vremenskom periodu izložen saobraćaju.

Oznaka V-16 na putu bez prava prvenstva je po pravilu odmaknuta od glavnog saobraćajnog pravca, tako da udaljenost od oznake koja obeležava oduzimanje prava prvenstva iznosi najmanje 5,0 m. U tom slučaju je preporučljivo da se saobraćaj pešaka fizički izdvoji (kočići, lanac, ograda, vegetacija).

U semaforizovanim raskrsnicama i raskrsnicama malog saobraćajnog opterećenja oznaka V-16 se ne odmiče od glavnog saobraćajnog smera, pri čemu mora da bude udaljena od zamišljene ivice kolovoza najmanje 0,5 m.



Slika 2.2: Lokacija pešačkog prelaza na semaforizovanoj i nesemaforizovanoj raskrsnici

Konflikti između motorizovanih učesnika i pešaka i/ili biciklista javljaju se na mestima ukrštanja njihovih tokova, te razdvajanja i priključivanja od prethodno zajedničkog saobraćajnog toka, ako koriste iste saobraćajne površine.

Konflikti ukrštanja nastupaju na mestima gde se dva toka motorizovanih i nemotorizovanih učesnika ukrštaju (npr. pešački i/ili biciklistički prelaz)

Konflikti razdvajanja nastupaju na mestima gde se tok nemotorizovanih učesnika odvaja od zajedničkog toka motorizovanih i nemotorizovanih učesnika (npr. početak biciklističke staze).

Konflikti priključivanja nastaju na mestima gde se odvojeni tok nemotorizovanih učesnika priključuje toku motorizovanih učesnika (npr. kraj biciklističke staze).

Navedene konfliktne tačke između motorizovanih i nemotorizovanih učesnika u saobraćaju praktično nije moguće eliminisati (izuzetak je denivelisano vođenje), zato je projektovanju takvih mesta potrebno posvetiti veliku pažnju.

Izvod iz Priručnika za projektovanje puteva u Republici Srbiji (5. Funkcionalni elementi i površine puteva; 5.1 Raskrsnice i priključci)

Kod projektovanja površinskih raskrsnica potrebno je u najvećoj mogućoj meri uzeti u obzir i zahteve pešaka i biciklista, pre svega zahteve koji se tiču preglednog, jasno razumljivog i bezbednog uređenja raskrsnice.

Prilikom određivanja lokacije pešačkog prelaza, opreme raskrsnice u slučaju pešačkog prelaza i uslova svetlosno-signalnih uređaja, potrebno je ispoštovati važeće zakonske propise.

Pešački prelazi na putevima moraju biti adekvatno osvetljeni, a na putevima van naselja i označeni propisanim saobraćajnim znacima.

Na pešačkim prelazima, na putevima sa dve ili više saobraćajnih traka za vožnju u jednom smeru, saobraćaj mora biti uređen svetlosnim saobraćajnim znacima.

Navedeni zahtev ne važi za kružne raskrsnice sa dvotračnim ulazima/izlazima.

Principi projektovanja pešačkih prelaza u području površinskih raskrsnica i priključaka, koji su navedeni u nastavku, važe samo na gradskim putevima, ali se mogu koristiti i na raskrsnicama vangradskih puteva (ukoliko je u takvim slučajevima potrebno uzeti u obzir saobraćaj pešaka).

Dva osnovna pravila, koja je prilikom određivanja lokacije pešačkog prelaza potrebno ispoštovati, su sledeća:

U slučaju semaforizovane površinske raskrsnice, lokacija pešačkog prelaza treba da bude ispred horizontalne signalizacije koja označava oduzimanje prednosti.

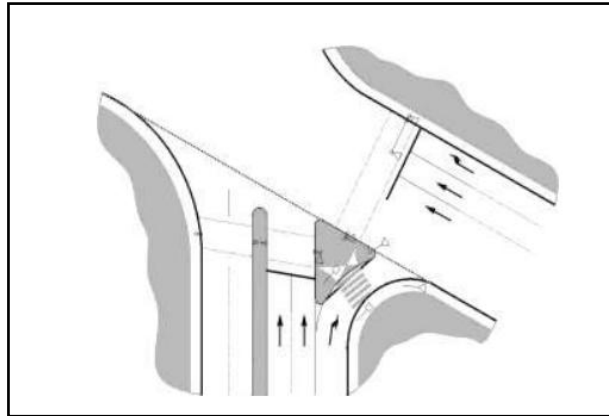
U slučaju nesemaforizovane površinske raskrsnice, lokacija pešačkog prelaza treba da bude iza horizontalne signalizacije koja označava oduzimanje prednosti.

Od navedenih pravila možemo odstupiti u slučaju guste okolne izgrađenosti koja ograničava – smanjuje – preglednost na raskrsnici sa velikim brojem nemotorizovanih učesnika u saobraćaju iz najugroženijih grupa (na raskrsnicama ispred dečjih obdaništa i škola, te na drugim mestima sa velikim brojem dece, ispred institucija za slepe i slabovide i gluva lica, ispred domova za stara lica, bolnica...).

Od navedenih pravila odstupamo i u kružnim raskrsnicama.

Bez obzira na to da li je raskrsnica opremljena svetlosno-signalnim uređajima, na mestu pešačkog prelaza potrebno je obezbediti dovoljno velike površine za čekanje pešaka. Saobraćaj na pešačkim koridorima time ne sme biti ometan.

Na semaforizovanim raskrsnicama gde je pešački prelaz sproveden preko trougoanog ostrva (Slika 2.3), ali nije opremljen svetlosnim signalnim uređajima, potrebno je pešački prelaz locirati na najpreglednijem mestu.

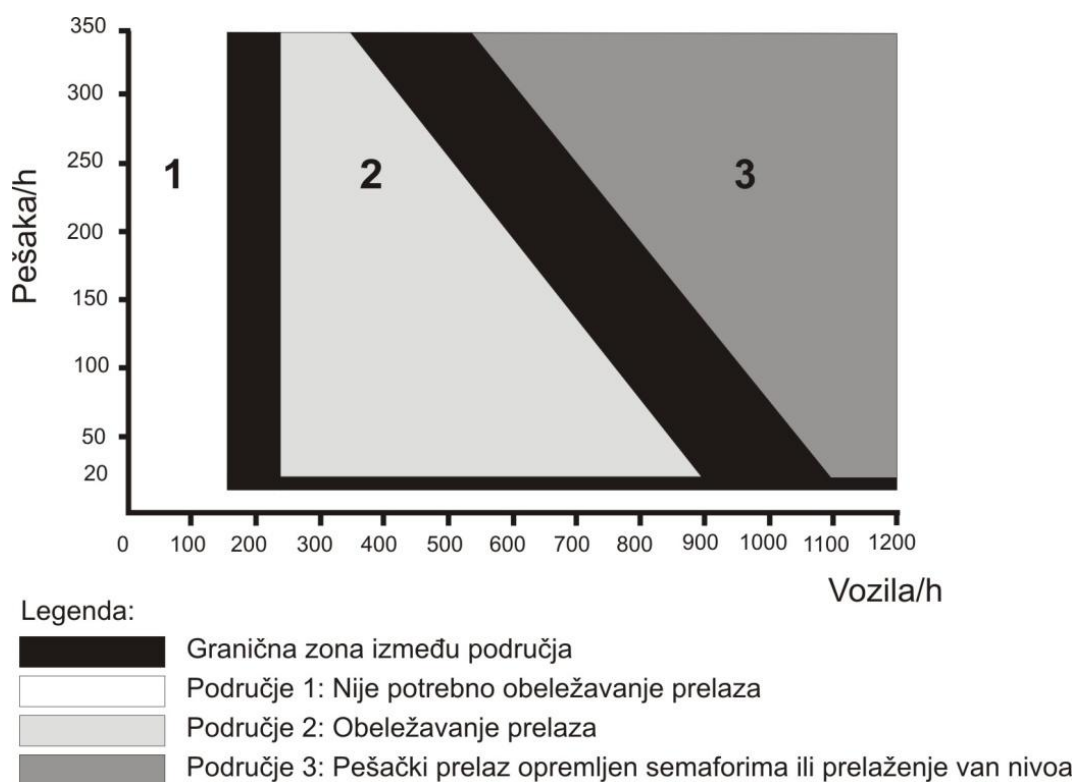


Slika 2.3: Vođenje pešaka preko trake za desno skretanje

Izvod iz Priručnika za projektovanje puteva u Republici Srbiji namenjen pešacima (5. Funkcionalni elementi i površine puteva, 5.7 Pešačke površine i površine za hendikepirane)

1. USLOVI ZA OBELEŽAVANJE PEŠAČKIH PRELAZA

1.1 Samostalni pešački prelazi u naselju



Slika 2.4: Uslovi za određivanje nivoa uređivanja pešačkih prelaza

Područje 1:

Nije potrebno obeležavanje prelaza.

Na područjima u naselju van raskrsnice na kojima se očekuje do 20 pešaka na sat u špicu pešaka bez obzira na broj vozila ili do 200 vozila na sat u špicu vozila bez obzira na broj pešaka nije potrebno obeležavanje pešačkog prelaza.

Izuzeci:

U posebnim slučajevima pešački prelaz može da se obeleži i odgovarajuće opremi i kada nisu ispunjeni svi uslovi, a u pitanju su posebni pešački prelazi. Izuzeci se

procenjuju i zasnivaju na osnovu stručnog mišljenja koje potvrđuje ocenjivač bezbednosti puteva.

Područje 2:

Potrebno obeležavanje prelaza.

Pešački prelaz se obeležava i adekvatno oprema saobraćajnim znacima i saobraćajnom opremom. Po potrebi se radi veće uočljivosti prelaza uvodi dodatna oprema.

Dodatne mere procenjuju se i zasnivaju na osnovu posebnog stručnog mišljenja.

Područje 3:

Semaforizovani pešački prelaz ili vođenje pešaka van nivoa.

Pešački prelaz oprema se svetlosno signalnim uređajima (klasičnim ili po zahtevu, sa prepoznavanjem prisustva pešaka i kontrolom...). Obeležava se i adekvatno oprema saobraćajnim znacima i saobraćajnom opremom.

Kada je samostalni pešački prelaz obeležen preko dve saobraćajne trake namenjene kretanju vozila u istom pravcu, takav prelaz mora da bude obezbeđen semaforom bez obzira na broj pešaka ili vozila.

Za puteve na kojima dozvoljena brzina kretanja vozila iznosi više od 50 km/h i broj saobraćajnih traka je veći od dve ili za druga specifična područja (urbanizam, saobraćajno-bezbednosni kriterijumi ...) preporučuje se da vođenje pešaka bude sprovedeno van nivoa.

1.2 Samostalni pešački prelazi van naselja

Za određivanje nivoa uređenja važe isti kriterijumi kao za pešačke prelaze u naselju (Slika 2.4).

Izuzeci:

U posebnim slučajevima pešački prelaz može da se obeleži i odgovarajuće opremi i kada nisu ispunjeni svi uslovi, a radi se o:

- posebnim prelazima,
- prelazima na području drugih posebnih generatora saobraćaja (kao na primer sportski objekti, sajmišta i slično).

Semaforizovani samostalni pešački prelaz van naselja se ne preporučuje. Opremanje se zasniva na dijagramu „Uslovi za određivanje nivoa uređenja pešačkih prelaza“, analizi propusnosti puta, kao i saobraćajno-bezbednosnoj analizi.

Za puteve na kojima najviša dozvoljena brzina vozila iznosi 90 km/h ili za druga specifična područja (u odnosu na korišćenje prostora, saobraćajno- bezbednosne zahteve i slično) preporučuje se vođenje pešaka van nivoa.

Za puteve na kojima najviša dozvoljena brzina vozila iznosi 90 km/h ili za druga specifična područja bez obzira na broj saobraćajnih traka, obavezno je vođenje pešaka van nivoa.

Izuzeci se procenjuju i zasnivaju na osnovu posebnog stručnog mišljenja.

1.3 Pešački prelazi u raskrsnicama

Pešački prelazi na području raskrsnica u nivoima deo su projektnog uređivanja raskrsnica. Njihovo uređenje zavisi od kompletnog uređenja raskrsnica i pešačkih površina na uticajnom području raskrsnice.

Pešački prelazi na raskrsnici sa kružnim tokom sa dve uvozne, odnosno izvozne trake nisu dozvoljeni, osim kada su trake međusobno fizički odvojene pešačkim ostrvom.

1.4 Površine za čekanje pre pešačkih prelaza

Pre pešačkog prelaza, sa obe strane, mora da bude na raspolaganju površina dovoljna za okupljanje pešaka koji žele da pređu kolovoz. Dimenzije površine za čekanje određene su u odnosu na očekivani kapacitet pešaka.

U osnovu su one:

- najmanja širina iznosi 2.0 m;
- dužina je jednaka širini pešačkog prelaza;

Kod dugačkih pešačkih prelaza gde nije predviđena svetlosna signalizacija, između kolovoza u različitom smeru mora da se nalazi pešačko ostrvo za koje važe isti uslovi kao za ostale površine za čekanje. Nivo usluga površina namenjenih čekanju pešaka zavisi od prosečnog prostora koji je na raspolaganju svakom pešaku, od ličnog komfora i od stepena mobilnosti.

2. SAOBRAĆAJNI ZNACI I SAOBRAĆAJNA OPREMA PEŠAČKIH PRELAZA

2.1 Pešački prelaz unutar područja raskrsnice

Pešački prelaz koji se nalazi unutar područja raskrsnice dva ili više puta na kome se saobraćaj reguliše svetlosnim saobraćajnim znacima (semafori), ne označava se znakom „označeni pešački prelaz“ III-6, niti se za njega koristi saobraćajni znak „pešački prelaz“ I-14 za upozorenje.

Pešački prelaz koji se nalazi unutar područja raskrsnice dva ili više puta na kome se saobraćaj reguliše saobraćajnim znacima „ukrštanje sa putem sa pravom prvenstva“, „Stop!“ II-2 ili „ukrštanje sa putem sa prvenstvom prolaza“ II-1, ne označava se znakom „označen pešački prelaz“ III-6, niti se za njega koristi saobraćajni znak „pešački prelaz“ I-14 kao upozorenje. Izuzetno, pešački prelaz u takvoj raskrsnici obeležava se znakom „označen pešački prelaz“ III-6, kada pešački prelaz prelazi preko puta sa pravom prvenstva i pešački prelaz je određen kao poseban pešački prelaz (školski prelaz, školski prelaz u sklopu bezbednog puta do škole, prelaz ispred bolnice, prelaz ispred vrtića i sl.)

2.2 Pešački prelaz van područja raskrsnice – samostalan pešački prelaz

Semaforizovani pešački prelaz

Na samostalnom pešačkom prelazu preko puta van područja raskrsnice na kome se saobraćaj vozila i prelaženje pešaka uređuje svetlosnim saobraćajnim znacima (semaforizovani pešački prelaz), sa desne strane, posmatrano u pravcu kretanja vozila, iznad svetlosnog saobraćajnog znaka mora da stoji znak „označeni pešački prelaz“ III-6.

Prelaz na putu van naselja mora da bude obeležen i saobraćajnim znakom „nailaženje na semafore“ I-20, a na putu unutar naselja znakom samo u slučaju kada je semaforizovani pešački prelaz prvi semafor u naselju.

Semaforizovani pešački prelaz, koji predstavlja poseban pešački prelaz dodatno se ne obeležava stubom, ali po potrebi može da se dodatno obeleži oznakama i natpisima na kolovozu.

Nesemaforizovani pešački prelaz

Nesemaforizovani pešački prelaz na putu u naselju, koji nije poseban pešački prelaz, sa desne strane, posmatrano u pravcu kretanja vozila mora da bude obeležen saobraćajnim znakom „označeni pešački prelaz“ III-6. Nesemaforizovani pešački prelaz , koji nije poseban pešački prelaz i nalazi se na putu van naselja ili je prvi prelaz na početku naselja koji je manje od 100 m udaljen od znaka za obeležavanje naselja i put ne vodi direktno iz naselja u naselje, sa desne strane, posmatrano iz pravca kretanja vozila, mora da bude obeležen saobraćajnim znakom „označeni pešački prelaz“ III-6 i saobraćajnim znakom „pešački prelaz“ I-14.

Napomena: Pomenuti Priručnik takođe detaljnije reguliše saobraćajnu opremu na delu puta na kome se nalazi pešački prelaz, dodatnu oprema za obeležavanje pešačkog prelaza, mere za umirivanje saobraćaja na delu puta na kome se nalazi pešački prelaz, kao i obeležavanje i opremu pešačkog prelaza u odnosu na lokaciju i vrstu prelaza.

PRILOG 2: Formirana baza podataka sa prikupljenim karakteristikama lokacija

R.br.	Grad	Naziv lokacije	Država	Veličina grada	Centar grada	Tip	Zona škole
1	Zrenjanin	Kralja Petra I	1	0	1	0	0
2	Zrenjanin	Petra Bojovića	1	0	1	1	0
3	Novi Sad	Fruškogorska 1	1	1	0	0	0
4	Novi Sad	Fruškogorska 2	1	1	0	1	0
5	Novi Sad	Sime Miloševića	1	1	0	0	0
6	Novi Sad	Stražilovska 1	1	1	1	1	0
7	Novi Sad	Stražilovska 2	1	1	1	1	0
8	Vrbas	D. Bojovića 1	1	0	1	1	1
9	Vrbas	D. Bojovića 2	1	0	1	1	1
10	Novi Sad	Narodnog fronta 1 a	1	1	0	0	0
11	Novi Sad	Narodnog fronta 1 b	1	1	0	0	0
12	Novi Sad	Narodnog fronta 2	1	1	0	1	1
13	Novi Sad	Boška Buhe	1	1	0	1	0
14	Bijeljina	Gavrila Principa a	0	0	1	1	0
15	Bijeljina	Gavrila Principa b	0	0	1	1	0
16	Bijeljina	Karađorđeva	0	0	1	1	0
17	Bijeljina	Vuka Karadžića b	0	0	1	0	0
18	Novi Sad	Kralja Petra I 1 b	1	1	0	1	0
19	Novi Sad	Kralja Petra I 2	1	1	0	0	0
20	Novi Sad	Novosadskog sajma 1a	1	1	0	1	1
21	Novi Sad	Novosadskog sajma 1b	1	1	0	1	1
22	Novi Sad	Novosadskog sajma 2	1	1	0	1	0
23	Novi Sad	Miše Dimitrijevića 1	1	1	0	1	0
24	Novi Sad	Miše Dimitrijevića 2	1	1	0	1	0
25	Novi Sad	Bulevar oslobođenja a	1	1	0	0	0
26	Novi Sad	Bulevar oslobođenja b	1	1	0	0	0
27	Novi Sad	Braće Ribnikar a	1	1	0	1	0
28	Novi Sad	Braće Ribnikar b	1	1	0	1	0
29	Novi Sad	Narodnog fronta 3	1	1	0	0	1
30	Novi Sad	Bulevar Cara Lazara a	1	1	0	1	0
31	Novi Sad	Bulevar Cara Lazara b	1	1	0	1	0
32	Subotica	Somborski put 2	1	0	0	1	0

R.br.	Smirivanje saobraćaja	Ograničenje brzine	Razdelno ostrvo	Smer kretanja	Parkirana vozila	Biciklistička staza	Broj traka	Širina trake [m]
1	0	50	0	1	0	0	0	3
2	0	50	0	1	0	0	1	3.5
3	0	50	0	0	0	1	1	4
4	0	50	0	1	0	0	1	3.5
5	0	50	0	1	0	0	1	3.5
6	0	50	0	1	1	0	1	3.5
7	0	50	0	1	0	0	1	3.5
8	0	30	0	1	0	0	1	3
9	0	30	0	1	0	0	1	3
10	1	40	1	0	1	0	1	3.5
11	1	40	1	0	1	0	1	3.5
12	0	40	0	1	0	0	1	3.5
13	0	50	0	1	0	1	1	2.5
14	0	50	1	0	1	0	1	4
15	0	50	1	0	1	0	1	4
16	0	50	0	0	0	0	1	4
17	0	50	1	0	1	0	1	4
18	0	50	1	0	0	1	0	3
19	0	50	0	1	0	0	0	3.5
20	1	30	1	0	0	0	1	3
21	1	30	1	0	0	0	1	3
22	0	50	0	1	1	0	0	3
23	1	40	0	1	1	0	1	3
24	0	50	0	1	1	0	1	3
25	0	50	1	0	1	0	0	3
26	0	50	1	0	1	0	0	3
27	0	50	1	0	1	1	1	3
28	0	50	1	0	1	1	1	3
29	0	40	0	1	0	0	1	4
30	0	50	1	0	1	0	0	3
31	0	50	1	0	1	0	0	3
32	0	50	0	1	1	0	1	3

R.br.	Širina pešačkog prelaza [m]	Dužina pešačkog prelaza [m]	Protok pešaka [pešaka/h]	Protok vozila [PAJ/h]	odnos PAJ/peš	%BUS	%teretna vozila	My
1	5	9.5	556	717	1.29	2.1	6.7	0.487
2	3	7	608	504	0.83	0.2	7.7	0.525
3	6	4	418	342	0.82	8.7	3.4	0.413
4	3	7	199	1092	5.49	6.3	3.0	0.255
5	3	7	1129	295	0.26	2.1	1.4	0.763
6	3	8	243	899	3.70	8.5	2.5	0.329
7	3	7	161	953	5.92	7.9	2.4	0.239
8	3	6	49	347	7.08	0.3	24.9	0.094
9	3	6	32	346	10.81	0.3	26.4	0.063
10	5	7	218	720	3.30	2.2	6.1	0.378
11	5	7.5	218	643	2.95	3.2	8.0	0.412
12	3	7	163	814	4.99	3.3	3.1	0.414
13	3	5	415	151	0.36	0.0	4.1	0.711
14	4	8	375	716	1.91	0.3	1.3	0.578
15	4	8	375	761	2.03	0.3	2.0	0.653
16	4	8	189	609	3.22	0.3	2.1	0.643
17	4	8	257	551	2.14	0.4	2.4	0.542
18	5	9	293	583	1.99	2.2	4.3	0.564
19	5	16.5	157	1754	11.17	1.6	2.4	0.295
20	4	6	262	555	2.12	0.9	3.5	0.678
21	4	6	262	677	2.58	0.7	2.7	0.609
22	4	12	170	1081	6.36	1.3	3.2	0.328
23	3	6	150	493	3.29	2.0	2.8	0.474
24	3	6	270	481	1.78	2.1	2.9	0.431
25	5	9	584	1496	2.56	1.0	2.6	0.534
26	5	9	584	1450	2.48	1.9	2.4	0.488
27	4	6	370	644	1.74	1.0	3.2	0.581
28	4	6	370	789	2.13	0.9	3.4	0.508
29	4	8	88	871	9.90	2.3	2.9	0.370
30	4	9	248	1180	4.76	1.2	3.5	0.328
31	4	9	248	1503	6.06	1.0	4.4	0.287
32	3	6	428	891	2.08	0.4	1.5	0.496

Država: 1- Republika Srbija; 0 - Bosna i Hercegovina
Veličina grada: 1 - preko 100 000 stanovnika; 0 - ispod 100 000 stanovnika
Centar grada: 1 - da; 0 - ne
Tip: 1 - raskrsnica; 0 - izdvojeni pešački prelaz
Zona škole: 1 - da; 0 - ne

Smirivanje saobraćaja: 1 - da; 0 - ne
Razdelno ostrvo: 1 - da; 0 - ne
Smer kretanja: 1 - dvosmerno; 0 - jednosmerno
Parkirana vozila: 1 - da, 0 - ne
Biciklistička staza: 1 - da; 0 - ne
Broj traka: 1 - jedna ili dve; 0 - više od dve

PRILOG 3: Korelaciona matrica

	My	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18	x19	x20	
My	1																					
x1	-0.355	1																				
x2	0.046	-	1																			
x3	-0.032	0.604	-	1																		
x4	0.861	0.000	-	-	1																	
x5	-0.131	-0.561	-0.778	1																		
x6	0.475	0.001	0.000	-	1																	
x7	-0.056	-0.061	-0.122	0.164	1																	
x8	0.760	0.782	0.507	0.371	-	1																
x9	-0.209	0.182	-0.056	0.022	0.151	1																
x10	0.251	0.320	0.762	0.907	0.409	-	1															
x11	0.150	0.163	0.269	-0.290	-0.081	0.234	1															
x12	0.414	0.374	0.136	0.107	0.658	0.197	-	1														
x13	0.226	-0.219	0.034	0.006	-0.102	-0.864	-0.610	1														
x14	0.214	0.228	0.853	0.974	0.578	0.000	0.000	-	1													
x15	0.306	-0.238	0.131	-0.187	-0.085	-0.101	0.314	-0.028	1													
x16	0.089	0.189	0.474	0.306	0.644	0.583	0.080	0.879	-	1												
x17	-0.361	0.378	-0.070	0.135	0.135	0.160	-0.258	-0.045	0.809	1												
x18	0.043	0.033	0.705	0.462	0.482	0.381	0.154	0.809	0.000	-	1											
x19	0.027	-0.189	0.070	-0.135	0.000	-0.480	0.086	0.312	0.504	-0.375	1											
x20	0.884	0.300	0.705	0.462	1.000	0.005	0.640	0.082	0.003	0.034	-	1										
x1	0.272	0.163	0.269	-0.290	0.104	-0.207	-0.185	0.249	0.141	-0.258	-0.086	1										
x2	0.132	0.374	0.136	0.107	0.569	0.256	0.310	0.169	0.442	0.154	0.640	-	1									
x3	0.149	-0.218	-0.201	0.234	0.234	0.277	0.248	-0.335	-0.218	0.144	-0.144	0.060	1									
x4	0.415	0.230	0.271	0.198	0.198	0.124	0.170	0.061	0.230	0.431	0.787	-	-	1								
x5	0.048	-0.634	-0.286	0.391	-0.308	-0.073	-0.118	0.170	-0.058	-0.152	-0.076	0.352	1									
x6	0.795	0.000	0.112	0.027	0.086	0.690	0.520	0.352	0.754	0.405	0.678	0.220	0.048	1								
x7	0.109	-0.042	0.178	-0.245	-0.635	-0.232	0.150	0.147	0.472	-0.630	-0.111	0.252	-0.492	0.175	1							
x8	0.553	0.819	0.330	0.176	0.000	0.202	0.412	0.421	0.006	0.000	0.544	0.164	0.004	0.337	-	1						
x9	-0.192	-0.066	0.062	-0.018	-0.286	0.240	-0.215	0.310	0.027	0.063	-0.077	-0.312	-0.719	0.083	0.339	1						
x10	0.292	0.718	0.763	0.922	0.113	0.186	0.237	0.085	0.881	0.731	0.674	0.082	0.000	0.653	0.057	-	1					
x11	0.621	0.029	-0.010	-0.099	-0.341	-0.397	-0.192	0.438	0.075	-0.068	0.019	-0.110	-0.040	0.097	-0.077	1						
x12	0.000	0.873	0.955	0.588	0.056	0.024	0.292	0.012	0.681	0.712	0.918	0.515	0.549	0.827	0.598	0.675	1					
x13	-0.307	0.120	0.288	-0.248	-0.189	-0.226	-0.184	0.323	0.230	-0.127	0.307	-0.317	-0.679	-0.035	0.307	0.722	-0.088	1				
x14	0.087	0.514	0.109	0.172	0.300	0.214	0.313	0.071	0.206	0.468	0.088	0.078	0.000	0.649	0.067	0.000	0.632	-	1			
x15	-0.754	0.182	0.045	0.048	0.001	0.434	-0.128	-0.341	-0.287	0.359	-0.216	-0.347	-0.182	0.060	-0.107	0.459	-0.652	0.406	1			
x16	0.000	0.318	0.808	0.793	0.997	0.013	0.485	0.056	0.111	0.044	0.235	0.062	0.319	0.744	0.581	0.008	0.000	0.000	0.021	1		
x17	-0.353	0.286	0.417	-0.008	-0.132	-0.156	-0.051	0.160	-0.325	0.194	-0.156	0.063	0.134	0.289	0.071	-0.119	-0.068	0.067	0.045	-	1	
x18	0.046	0.113	0.966	0.472	0.387	0.387	0.784	0.323	0.70	0.287	0.393	0.651	0.465	0.108	0.700	0.517	0.631	0.714	0.807	0.045	1	
x19	-0.552	0.191	-0.394	0.366	0.472	0.496	-0.014	-0.600	0.194	0.237	-0.271	-0.085	0.112	-0.238	-0.192	-0.168	-0.333	-0.328	0.430	-0.190	-	1
x20	0.001	0.295	0.026	0.039	0.527	0.000	0.939	0.000	0.288	0.191	0.133	0.644	0.543	0.189	0.292	0.302	0.063	0.067	0.014	0.298	0.045	-

PRILOG 4: Izlazni rezultati regresione analize u softverskom paketu MINITAB 17.1.0

VARIJANTA 1: KOMPLETAN MODEL

Regression Analysis: My versus x1, x8, x9, x15, x16, x17, x18, x19, x20

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	0.725183	0.080576	21.48	0.000
x1	1	0.000015	0.000015	0.00	0.950
x8	1	0.000207	0.000207	0.06	0.817
x9	1	0.006550	0.006550	1.75	0.200
x15	1	0.001369	0.001369	0.36	0.552
x16	1	0.035338	0.035338	9.42	0.006
x17	1	0.056421	0.056421	15.04	0.001
x18	1	0.000014	0.000014	0.00	0.951
x19	1	0.069149	0.069149	18.44	0.000
x20	1	0.130958	0.130958	34.91	0.000
Error	22	0.082518	0.003751		
Total	31	0.807701			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0612439	89.78%	85.60%	73.60%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6902	0.0713	9.68	0.000	
x1	0.0027	0.0423	0.06	0.950	1.67
x8	-0.0128	0.0544	-0.23	0.817	6.22
x9	-0.0710	0.0537	-1.32	0.200	6.16
x15	0.00502	0.00830	0.60	0.552	2.90
x16	0.000244	0.000080	3.07	0.006	2.35
x17	-0.000222	0.000057	-3.88	0.001	3.96
x18	-0.00054	0.000876	-0.06	0.951	5.25
x19	-0.02485	0.00579	-4.29	0.000	1.60
x20	-0.01770	0.00299	-5.91	0.000	2.42

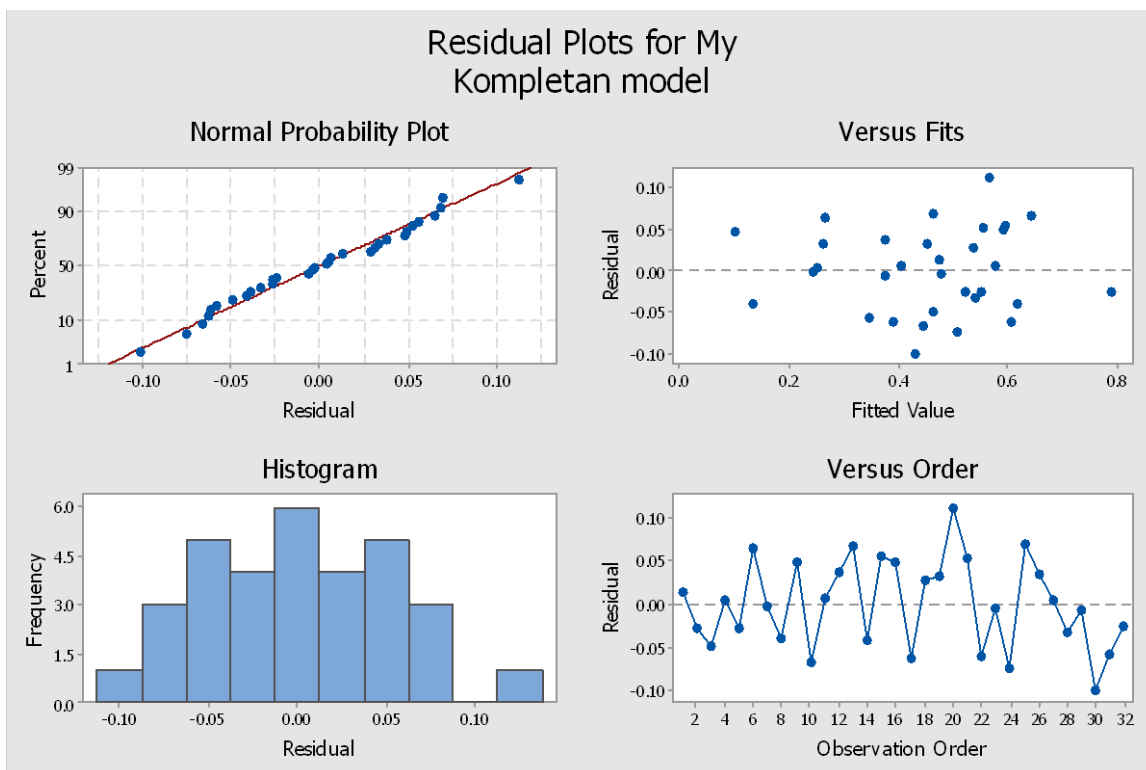
Regression Equation

$$\text{My} = 0.6902 + 0.0027 \text{ x1} - 0.0128 \text{ x8} - 0.0710 \text{ x9} + 0.00502 \text{ x15} + 0.000244 \text{ x16} \\ - 0.000222 \text{ x17} - 0.00054 \text{ x18} - 0.02485 \text{ x19} - 0.01770 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	My	Fit	Resid	Std Resid
20	0.6780	0.5651	0.1129	2.01 R

R Large residual



BEST SUBSETS

Best Subsets Regression: My versus x1, x8, ...

Response is My

Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	x	x	x	1	1	1	1	1	2
1	56.8	55.4	48.3	65.0	0.10784									
1	38.6	36.6	30.0	104.2	0.12856									
2	67.0	64.7	58.7	45.1	0.095905									
2	63.2	60.7	49.2	53.2	0.10122									
3	78.6	76.4	72.5	22.0	0.078492									
3	78.3	76.0	67.5	22.8	0.079152									
4	86.8	84.9	81.3	6.4	0.062818									
4	84.1	81.7	75.0	12.2	0.068973									
5	89.6	87.6	83.9	2.5	0.056951									
5	88.7	86.5	82.7	4.4	0.059350									
6	89.8	87.3	83.0	4.1	0.057525									
6	89.6	87.1	79.4	4.4	0.057957									
7	89.8	86.8	78.8	6.0	0.058647									
7	89.8	86.8	80.4	6.1	0.058710									
8	89.8	86.2	76.3	8.0	0.059903									
8	89.8	86.2	76.2	8.0	0.059903									
9	89.8	85.6	73.6	10.0	0.061244									

VARIJANTA 2: max R², 3 promenljive**Regression Analysis: My versus x17, x19, x20****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.6352	0.211731	34.37	0.000
x17	1	0.2134	0.213443	34.64	0.000
x19	1	0.1731	0.173081	28.09	0.000
x20	1	0.4696	0.469616	76.22	0.000
Error	28	0.1725	0.006161		
Total	31	0.8077			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0784921	78.64%	76.35%	72.52%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.8110	0.0417	19.47	0.000	
x17	-0.000230	0.000039	-5.89	0.000	1.12
x19	-0.03166	0.00597	-5.30	0.000	1.04
x20	-0.02316	0.00265	-8.73	0.000	1.16

Regression Equation

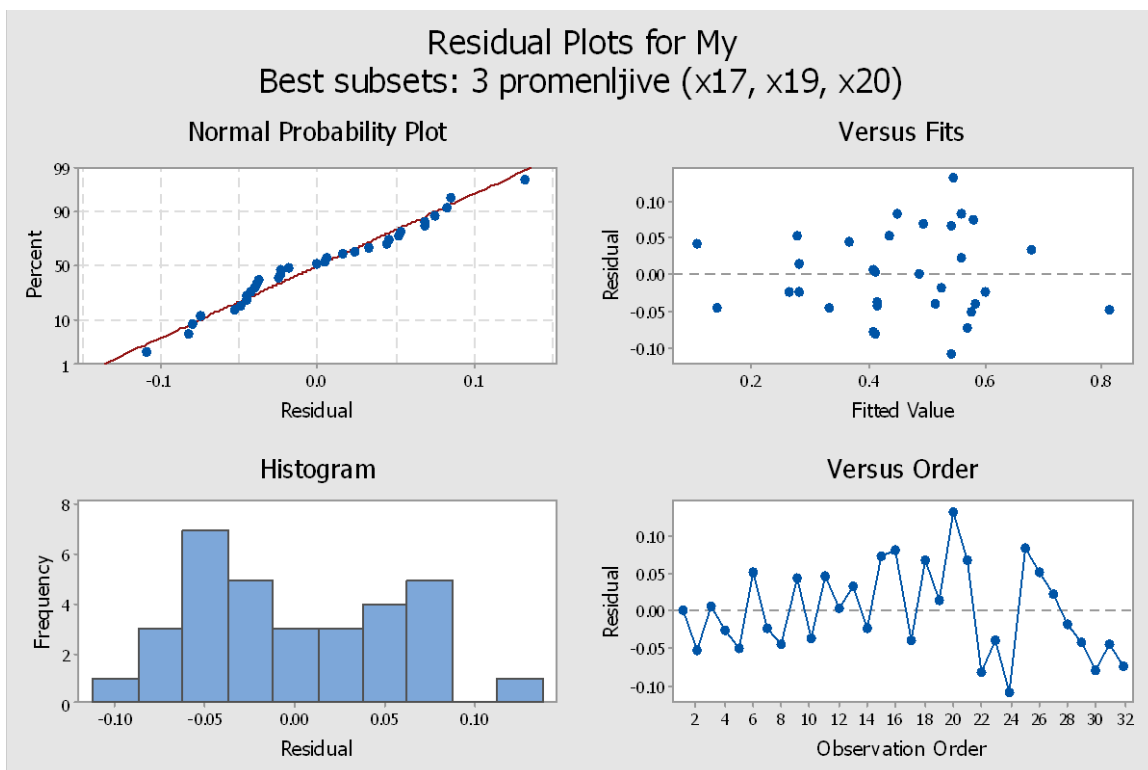
$$\text{My} = 0.8110 - 0.000230 \text{ x17} - 0.03166 \text{ x19} - 0.02316 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	My	Fit	Resid	Std Resid	
8	0.0940	0.1433	-0.0493	-0.83	X
9	0.1500	0.1092	0.0408	0.73	X
25	0.5340	0.3762	0.1578	2.19	R

R Large residual

X Unusual X



VARIJANTA 3: max R², 4 promenljive**Regression Analysis: My versus x16, x17, x19, x20****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	0.70116	0.175290	44.42	0.000
x16	1	0.06597	0.065965	16.72	0.000
x17	1	0.15449	0.154488	39.15	0.000
x19	1	0.13510	0.135102	34.24	0.000
x20	1	0.27216	0.272158	68.97	0.000
Error	27	0.10654	0.003946		
Total	31	0.80770			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0628175	86.81%	84.85%	81.26%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6872	0.0450	15.26	0.000	
x16	0.000240	0.000059	4.09	0.000	1.22
x17	-0.000201	0.000032	-6.26	0.000	1.18
x19	-0.02837	0.00485	-5.85	0.000	1.07
x20	-0.01930	0.00232	-8.30	0.000	1.39

Regression Equation

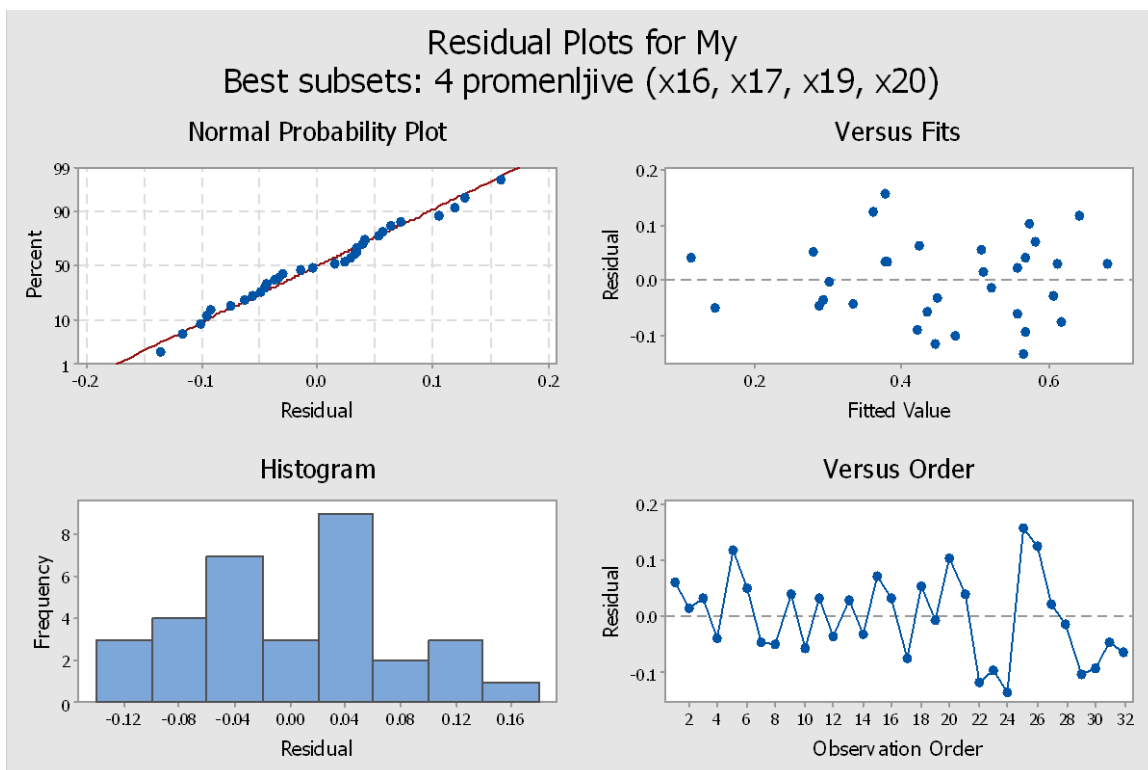
$$\text{My} = 0.6872 + 0.000240 \text{ x16} - 0.000201 \text{ x17} - 0.02837 \text{ x19} - 0.01930 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	My	Fit	Resid	Std Resid	
5	0.7630	0.8120	-0.0490	-1.16	X
9	0.1500	0.1064	0.0436	0.98	X
20	0.6780	0.5452	0.1328	2.19	R

R Large residual

X Unusual X



VARIJANTA 4: max R², 5 promenljivih**Regression Analysis: My versus x9, x16, x17, x19, x20****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.72337	0.144674	44.61	0.000
x9	1	0.02221	0.022214	6.85	0.015
x16	1	0.06925	0.069249	21.35	0.000
x17	1	0.15958	0.159576	49.20	0.000
x19	1	0.10075	0.100754	31.06	0.000
x20	1	0.21876	0.218760	67.45	0.000
Error	26	0.08433	0.003243		
Total	31	0.80770			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0569512	89.56%	87.55%	83.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.7029	0.0413	17.04	0.000	
x9	-0.0562	0.0215	-2.62	0.015	1.14
x16	0.000246	0.000053	4.62	0.000	1.22
x17	-0.000204	0.000029	-7.01	0.000	1.18
x19	-0.02533	0.00455	-5.57	0.000	1.14
x20	-0.01787	0.00218	-8.21	0.000	1.48

Regression Equation

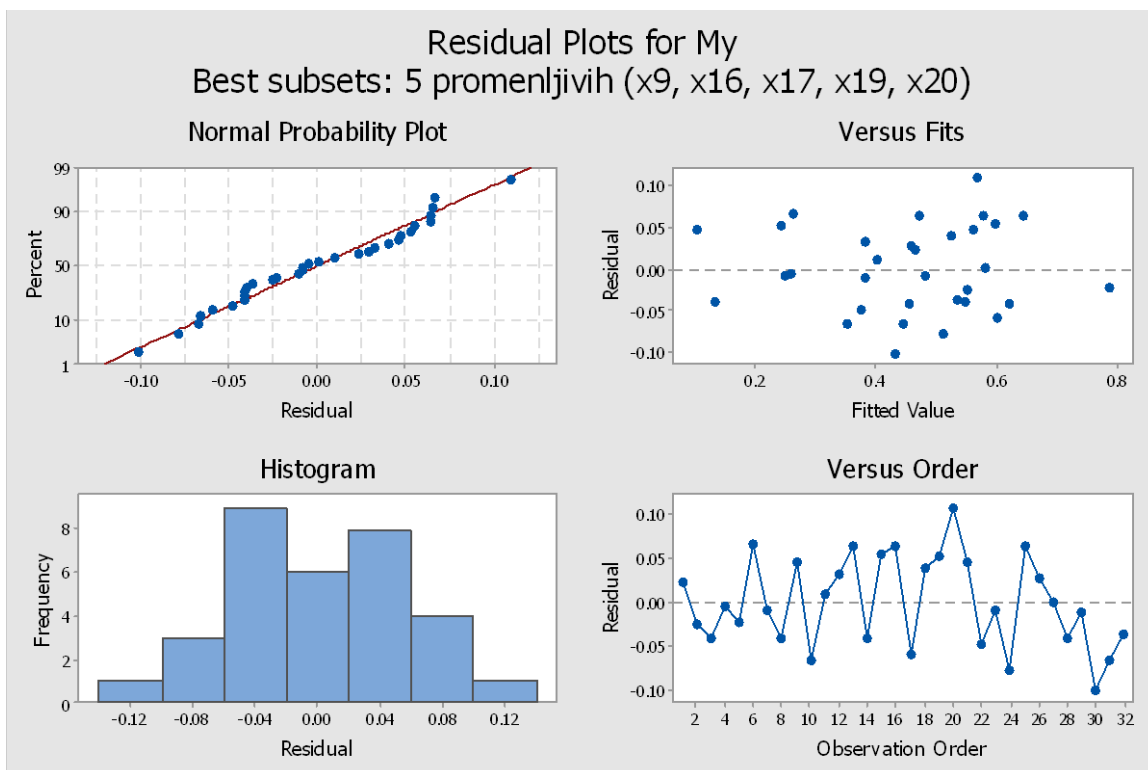
$$\text{My} = 0.7029 - 0.0562 \text{ x9} + 0.000246 \text{ x16} - 0.000204 \text{ x17} - 0.02533 \text{ x19} - 0.01787 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	My	Fit	Resid	Std Resid	
5	0.7630	0.7858	-0.0228	-0.62	X
20	0.6780	0.5684	0.1096	2.02	R

R Large residual

X Unusual X



VARIJANTA 5: max R², 6 promenljivih**Regression Analysis: My versus x9, x15, x16, x17, x19, x20****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	0.724973	0.120829	36.51	0.000
x9	1	0.023785	0.023785	7.19	0.013
x15	1	0.001601	0.001601	0.48	0.493
x16	1	0.070070	0.070070	21.17	0.000
x17	1	0.091317	0.091317	27.60	0.000
x19	1	0.083930	0.083930	25.36	0.000
x20	1	0.215742	0.215742	65.20	0.000
Error	25	0.082728	0.003309		
Total	31	0.807701			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0575249	89.76%	87.30%	83.02%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6813	0.0520	13.11	0.000	
x9	-0.0608	0.0227	-2.68	0.013	1.24
x15	0.00497	0.00714	0.70	0.493	2.43
x16	0.000248	0.000054	4.60	0.000	1.22
x17	-0.000226	0.000043	-5.25	0.000	2.53
x19	-0.02430	0.00483	-5.04	0.000	1.26
x20	-0.01778	0.00220	-8.07	0.000	1.48

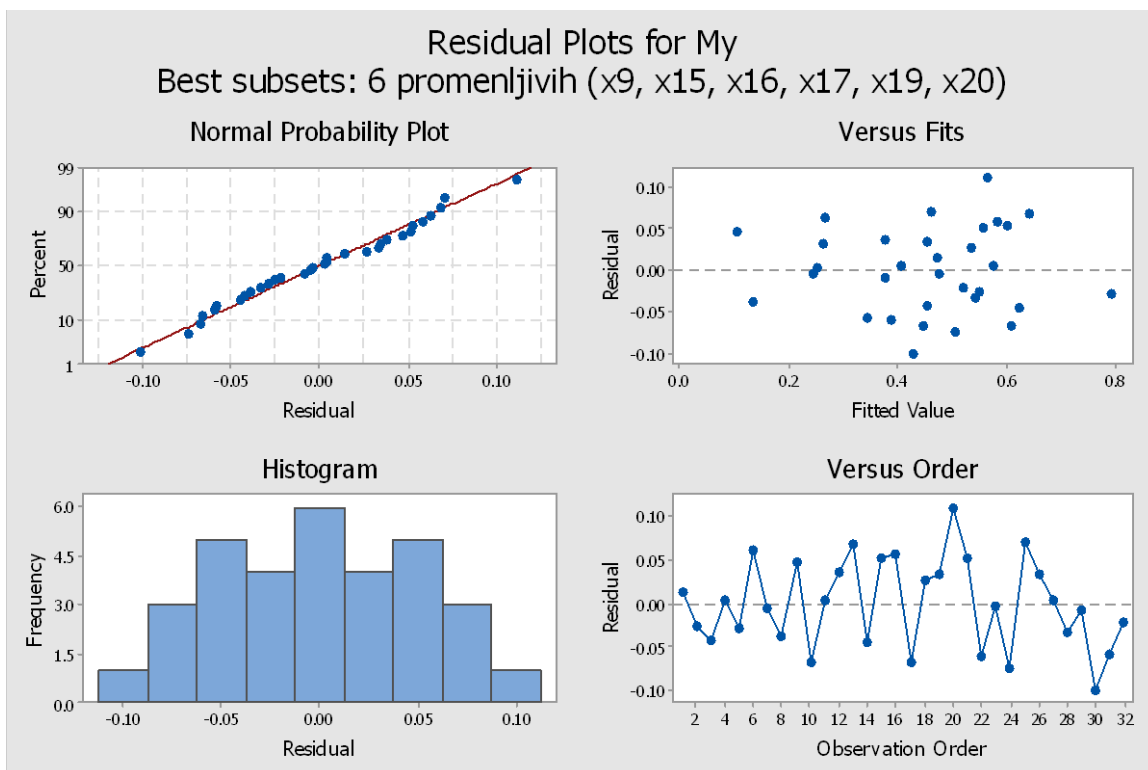
Regression Equation

$$\text{My} = 0.6813 - 0.0608 \text{ x9} + 0.00497 \text{ x15} + 0.000248 \text{ x16} - 0.000226 \text{ x17} - 0.02430 \text{ x19} - 0.01778 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	My	Fit	Resid	Std Resid	
20	0.6780	0.5662	0.1118	2.05	R

R Large residual



VARIJANTA 6: STEPWISE analiza**Regression Analysis: My versus x1, x8, x9, x15, x16, x17, x18, x19, x20****Stepwise Selection of Terms**

Candidate terms: x1, x8, x9, x15, x16, x17, x18, x19, x20

	-----Step 1-----		-----Step 2-----		-----Step 3-----	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	0.6110		0.6530		0.6811	
x18	-0.04227	0.000	-0.04147	0.000	-0.03204	0.000
x19			-0.02144	0.006	-0.02682	0.000
x20					-0.01081	0.001
x17						
x16						
x9						
S		0.107844		0.0959054		0.0791519
R-sq		56.80%		66.98%		78.28%
R-sq(adj)		55.36%		64.70%		75.95%
R-sq(pred)		48.34%		58.70%		67.46%
Mallows' Cp		65.02		45.11		22.77
	-----Step 4-----		-----Step 5-----			
	Coef	P	Coef	P		
Constant	0.7766		0.6981			
x18	-0.01921	0.005	-0.00804	0.270		
x19	-0.02872	0.000	-0.02781	0.000		
x20	-0.01683	0.000	-0.01744	0.000		
x17	-0.000141	0.004	-0.000170	0.000		
x16			0.000191	0.014		
x9						
S		0.0689734		0.0625034		
R-sq		84.10%		87.42%		
R-sq(adj)		81.74%		85.01%		
R-sq(pred)		75.04%		80.72%		
Mallows' Cp		12.25		7.08		
	-----Step 6-----		-----Step 7-----			
	Coef	P	Coef	P		
Constant	0.6872		0.7029			
x18						
x19	-0.02837	0.000	-0.02533	0.000		
x20	-0.01930	0.000	-0.01787	0.000		
x17	-0.000201	0.000	-0.000204	0.000		
x16	0.000240	0.000	0.000246	0.000		
x9			-0.0562	0.015		
S		0.0628175		0.0569512		
R-sq		86.81%		89.56%		
R-sq(adj)		84.85%		87.55%		
R-sq(pred)		81.26%		83.91%		
Mallows' Cp		6.41		2.48		

 α to enter = 0.15, α to remove = 0.15

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.72337	0.144674	44.61	0.000
x9	1	0.02221	0.022214	6.85	0.015
x16	1	0.06925	0.069249	21.35	0.000
x17	1	0.15958	0.159576	49.20	0.000
x19	1	0.10075	0.100754	31.06	0.000
x20	1	0.21876	0.218760	67.45	0.000
Error	26	0.08433	0.003243		
Total	31	0.80770			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0569512	89.56%	87.55%	83.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.7029	0.0413	17.04	0.000	
x9	-0.0562	0.0215	-2.62	0.015	1.14
x16	0.000246	0.000053	4.62	0.000	1.22
x17	-0.000204	0.000029	-7.01	0.000	1.18
x19	-0.02533	0.00455	-5.57	0.000	1.14
x20	-0.01787	0.00218	-8.21	0.000	1.48

Regression Equation

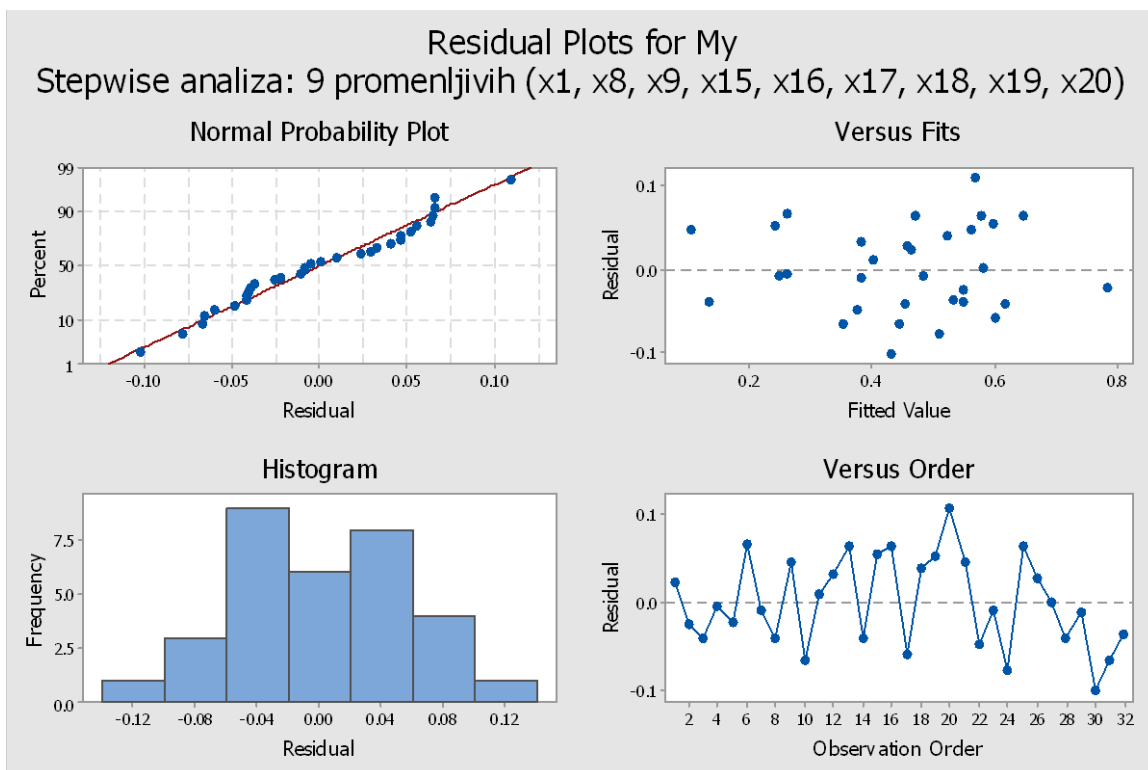
$$\text{My} = 0.7029 - 0.0562 \text{ x9} + 0.000246 \text{ x16} - 0.000204 \text{ x17} - 0.02533 \text{ x19} - 0.01787 \text{ x20}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

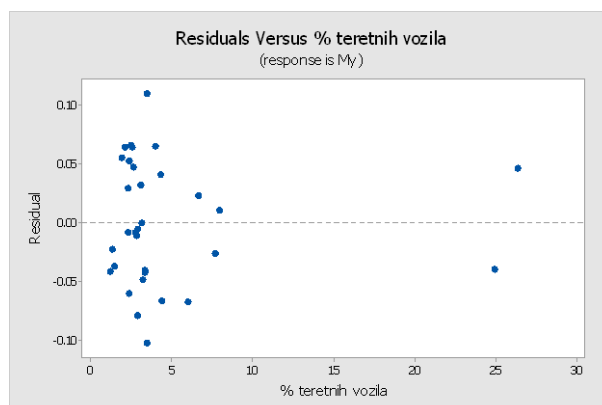
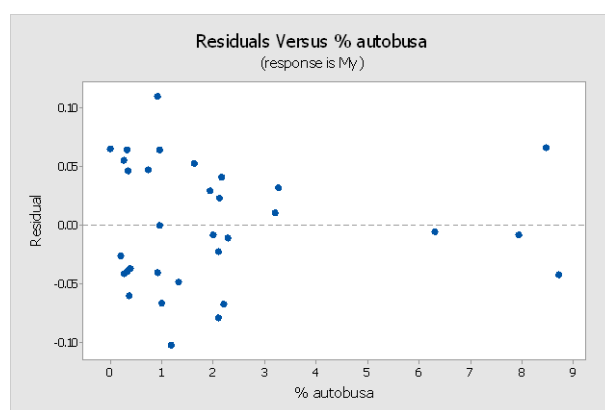
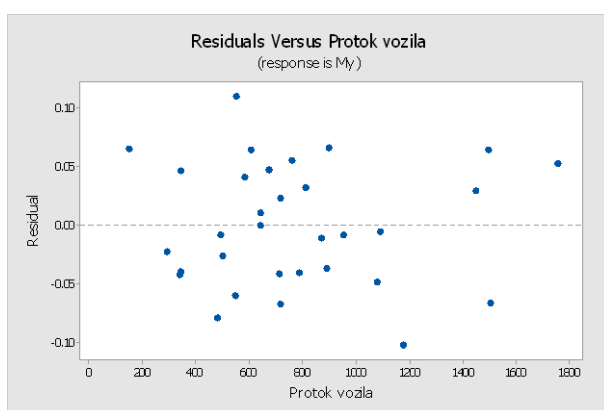
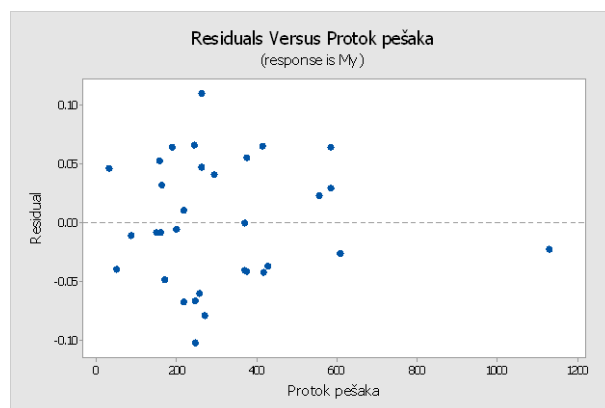
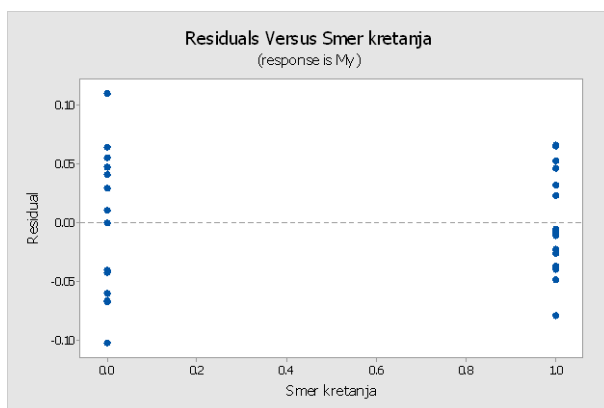
Obs	My	Fit	Resid	Std Resid	
5	0.7630	0.7858	-0.0228	-0.62	X
20	0.6780	0.5684	0.1096	2.02	R

R Large residual

X Unusual X



Analiza reziduala za izabrani model (Varijanta 4)



PRILOG 5: Vrednosti nezavisno promenljivih za lokacije korišćene za testiranje modela

R.br.	1	2	3	4	5	6
Grad	Subotica	Zrenjanin	Bijeljina	Novi Sad	Novi Sad	Bijeljina
Naziv lokacije	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Država	1	1	0	1	1	0
Veličina grada	0	0	0	1	1	0
Centar grada	0	1	1	0	0	1
Tip	0	1	0	1	1	1
Zona škole	0	0	0	0	0	0
Smirivanje saobraćaja	0	0	0	0	0	0
Ograničenje brzine	50	50	50	50	50	50
Razdelno ostrvo	0	0	1	1	0	0
Smer kretanja	1	1	0	0	1	1
Parkirana vozila	1	0	1	0	1	0
Biciklistička staza	0	0	0	1	0	0
Broj traka	1	1	1	1	0	1
Širina trake [m]	3	3,5	4	3,5	3	3
Širina pešačkog prelaza [m]	3	3	4	5	4	3
Dužina pešačkog prelaza [m]	6	7	8	7	12	6
Protok pešaka [pešaka/h]	710	446	257	293	124	867
Protok vozila [PAJ/h]	752	834	485	588	1042	644
odnos paj/peš	1,06	1,87	1,89	2,01	8,40	0,74
%BUS	0,8	0,9	0,0	2,5	1,4	0,0
%teretna	1,5	8,0	1,2	3,0	3,0	2,2
M_{izm}	0,659	0,412	0,595	0,449	0,354	0,61

Država: 1- Republika Srbija; 0 - Bosna i Hercegovina
 Veličina grada: 1 - preko 100 000 stanovnika; 0 - ispod 100 000 stanovnika
 Centar grada: 1 - da; 0 - ne
 Tip: 1 - raskrsnica; 0 - izdvojeni pešački prelaz
 Zona škole: 1 - da; 0 - ne

Smirivanje saobraćaja: 1 - da; 0 - ne
 Razdelno ostrvo: 1 - da; 0 - ne
 Smer kretanja: 1 - dvosmerno; 0 - jednosmerno
 Parkirana vozila: 1 - da, 0 - ne
 Biciklistička staza: 1 - da; 0 - ne
 Broj traka: 1 - jedna ili dve; 0 - više od dve

PRILOG 6: Postupak proračuna vremenskih gubitaka za utvrđivanje nivoa usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima primenom metoda HCM 2010 (primer)

The spreadsheet is titled "Proračun za utvrđivanje nivoa usluge za pješake u vršnim periodima u toku dana primjenom metoda HCM 2010". It is organized into several sections:

- Input Data (Rows 3-6):**
 - LOKACIJA: Z3
 - NAZIV: MIŠE DIMITRIJEVIĆ A 1
 - GRAD: NOVI SAD
- Notes (Row 7):** NAPOMENA: DVIJE SAOBRAĆAJNE TRAKE
- Vehicle Flow (Row 13):** Protok vozila: v = 493 voz/h
- Pedestrian Parameters (Rows 15-20):**
 - Prosjecna brzina kretanja pješaka (Sp): 4 [ft/s]
 - Zaštitno vrijeme za pješaka pri prelasku kolovoza (ts): 3 s
 - Prostorna distribucija pješaka (Np): 1 pješaka
 - Duzina pješacke (L): 20 ft
 - Stepen propuštanja pješaka (Mj): 0.5
 - Broj saobraćajnih traka koje pješak treba da pređe (L): 2
- Step 1: Identification of crossing type (Row 23):** KORAK 1: Identifikacija tipe preleska kolovoza. Prelazak kolovoza u jednoj fazi.
- Step 2: Determination of critical interval (Row 27):** KORAK 2: Određivanje kritičnog intervala. ts = 3, tc = 7.92 s.
- Step 3: Estimation of pedestrian waiting probability (Row 31):** KORAK 3: Procjena vjerovatnoće čekanja pješake na prelazak kolovoza. v = 0.14 voz/s. P_b = 0.42, P_d = 0.662.
- Step 4: Calculation of average waiting time (Row 36):** KORAK 4: Proračun prosječnog vremene čekanja na adekvatan interval. dg = 6 s, dgd = 10 s.
- Step 5: Estimation of delay reduction (Row 42):** KORAK 5: Procjena smanjenja dužine čekanja zbog propuštanja pješake od strane motornih vozila. h = 14.6 s, n = 1.
- Final Results (Rows 49-60):**
 - 0 P(Y0) = 0
 - 1 P(Y1) = 0.287
 - Σ = 0.287
 - dp = A+B = 5.71 s