



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Немања Гаруновић

**МОДЕЛ ЗА УТВРЂИВАЊЕ УТИЦАЈА
ИЗДВОЈЕНИХ НЕСИГНАЛИСаниХ
ПЕШАЧКИХ ПРЕЛАЗА НА НИВО УСЛУГЕ
ГРАДСКИХ САОБРАЋАЈНИЦА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2020.



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:	Немања Гаруновић	
Ментор, МН:	Др Вук Богдановић, ванредни професор	
Наслов рада, НР:	Модел за утврђивање утицаја издвојених несигналисаних пешачких прелаза на ниво услуге градских саобраћајница	
Језик публикације, ЈП:	Српски	
Језик извода, ЈИ:	Српски	
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија	
Уже географско подручје, УГП:	Војводина	
Година, ГО:	2020	
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука	
Место и адреса, МА:	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/цитата/табела/слика/графика/прилога)	8 поглавља / 167 страна / 78 цитата / 52 табела / 98 слика / 4 прилога	
Научна област, НО:	Саобраћајно инжењерство	
Научна дисциплина, НД:	Планирање, регулисање и безбедност саобраћаја	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Издвојени пешачки прелаз; Градске саобраћајнице; Временски губици; Ниво услуге	
УДК		
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	<p>Предмет ове докторске дисертације су издвојени пешачки прелази односно њихов утицај на услове одвијања моторног саобраћаја на градским саобраћајницама. Оцену услова одвијања моторног саобраћаја на градским саобраћајницама између осталог врши се на основу брзине путовања возила пролазног тока на одсеку која је у обрнуто пропорционална са временом путовања возила на одсеку градске саобраћајнице. Повећање времена путовања зависи од величине остварених временских губитака који настају на издвојеном пешачком прелазу. Кључна претпоставка на којој је заснована ова докторска дисертација је да временски губици возачких токова на издвојеном пешачком прелазу настају услед појаве пешака (или група пешака) и као такви утичу на смањење просечне брзине путовања тј. повећање времена путовања возила на одсеку. У складу са тим циљ рада је дефинисање модела за утврђивање временских губитака возила на издвојеним пешачким прелазима уз могућност имплементације у постојећој методологији за дефинисање услова одвијања саобраћаја на одсецима градских саобраћајница. У складу са дефинисаним циљем извршена је анализа претходних релевантних истраживања, а затим и прикупљане податка о условима одвијања саобраћаја у реалном саобраћајном току. Систематизацијом прикупљених података и применом одговарајућих математичких и статистичких алата утврђене су законитости настанка временских губитака возачких токова који настају на издвојеном пешачком прелазу и формиран модел за њихов прорачун.</p>	
Датум прихватања теме, ДП:		
Датум одбране, ДО:		
Чланови комисије, КО:	Председник: др Валентина Мировић, ванредни професор	
	Члан: др Биљана Ивановић, доцент	
	Члан: др Јелена Иветић, доцент	Потпис ментора
	Члан: др Ненад Рушкић, ванредни професор	
	Члан, ментор: др Вук Богдановић, редовни професор	



KEY WORDS DOCUMENTATION

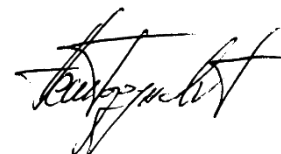
Accession number, ANO :		
Identification number, INO :		
Document type, DT :	Monographic publication	
Type of record, TR :	Printed textual material	
Contents code, CC :	Ph. D. thesis	
Author, AU :	Nemanja Garunović	
Mentor, MN :	Vuk Bogdanović, PhD, Full Professor	
Title, TI :	The influence of an unsignalized midblock crosswalk on the level of service of urban street segments estimating model	
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 :	2020	
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)	8 chapters/ 167 pages/ 78 ref./ 52 tables/ 98 pictures/ 4 appendixes	
Scientific field, SF :	Traffic engineering	
Scientific discipline, SD :	Traffic Planning, Regulation and Safety	
Subject/Key words, S/KW :	Midblock crosswalk; Urban street segments; Delay; Level of service	
UC		
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad	
Note, N :		
Abstract, AB :	<p>The theme of this doctoral thesis is the analysis of the midblock pedestrian crossings influence on traffic conditions on urban street segments. The assessment of motor traffic conditions on urban street segments was carried out on the basis of travel speed of through vehicles. Travel speed of through vehicles for the segment represents the relation between the segment length and segment running time, which implies that running time increase directly affects travel speed decrease. Segment running time greatly depends on the value of the achieved delays which occur on a midblock pedestrian crossing. The key assumption, which this doctoral thesis is based on, is that delays of vehicular flows on midblock pedestrian crossings occur as a consequence of pedestrian (or a group of pedestrians) appearance and that they affect the travel speed of through vehicles decrease, that is, the increase of segment running time. Accordingly, the purpose of this paper is defining the model for determination of vehicular delays on midblock pedestrian crossings, with the possibility of its implementation into the existing methodology for defining traffic conditions on the urban street segments. In accordance with the defined aim within the doctoral thesis, the analysis of previous relevant research studies was carried out, and then the research in a real traffic flow. The systematization of the collected data and the application of the appropriate mathematical and statistical tools enabled how to establish the rules of vehicular flows delays occurrence on midblock pedestrian crossing. On the basis of the established rules and correlation of traffic and geometric characteristics of midblock pedestrian crossings, a model for calculating the value of delays occurring in traffic flows was defined.</p>	
Accepted by the Scientific Board on, ASB :		
Defended on, DE :		
Defended Board, DB :	President: Valentina Mirović, PhD, Associate Professor	
	Member: Biljana Ivanović, PhD, Assistant Professor	
	Member: Jelena Ivetić, PhD, Assistant Professor	Mentor's sign
	Member: Nenad Ruškić, Associate Professor	
	Member, Mentor: Vuk Bogdanović, PhD, Full Professor	

IZJAVA

Ja, Nemanja Garunović, izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da:

- ova doktorska disertacija predstavlja isključivo rezultate mog rada u saradnji sa mentorom, da se temelji na mojim naučno-stručnim saznanjima i istraživanjima i da se oslanjana na popisanu i navedenu literaturu,
- nijedan deo ove doktorske disertacije nije napisan na nedozvoljen i neetičan način, preuzimanjem ili prepisivanjem iz bilo kojeg ne citiranog rada, tuđih dela ili rezultata, koji bi bio u suprotnosti sa akademskom moralnošću,
- predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- sam saglasan da se doktorska disertacija može staviti na trajan uvid u elektronskom obliku u Digitalnu biblioteku disertacija Univerziteta u Novom Sadu i u repozitorijum NaRDuS,
- su istovetne štampana i elektronska verzija doktorske disertacije predate za postavljanje na uvid javnosti na portalu Digitalna biblioteka disertacija Univerziteta u Novom Sadu i u repozitorijum NaRDuS,
- ovu doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnoj biblioteci disertacija Univerziteta u Novom Sadu i u repozitorijum NaRDuS mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u tipu licence „Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade“ definisane od strane Kreativne zajednice (Creative Commons).

Potpis autora



Istraživanja za potrebe izrade disertacije finansirana su sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta:

Modeli integracije transportnog sistema

broj projekta: **36024**

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se svom mentoru, profesoru dr Vuku Bogdanoviću za izuzetnu pomoć i podršku koju mi je pružio tokom izrade doktorske disertacije. Takođe se zahvaljujem članovima Komisije prof. dr Valentini Mirović, doc. dr Biljani Ivanović, doc. Dr Jeleni Ivetić i prof. dr Nenadu Ruškiću, kao i kolegincima doc. dr Jeleni Mitrović Simić koji su mi svojim savetima i sugestijama značajno pomogli u izradi ovog rada.

Posebnu zahvalnost dugujem supruzi Branislavi i ostalim članovima porodice koji su mi pružili neizmernu pomoć i razumevanje, nesebično prihvatili sva odricanja, i na taj način podržali tokom izrade doktorske disertacije. Hvala vam!

Nemanja Garunović

REZIME

Mesta ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova, odnosno pešački prelazi, predstavljaju kritična mesta na uličnoj mreži na kojim je potrebno obezbediti bezbedno kretanje pešaka, a ujedno i nesmetano odvijanje motornog saobraćaja. Predmet ove doktorske disertacije su izdvojeni pešački prelazi odnosno njihov uticaj na uslove odvijanja motornog saobraćaja na gradskim saobraćajnicama.

Ocenu uslova odvijanja motornog saobraćaja na gradskim saobraćajnicama između ostalog vrši se na osnovu brzine putovanja vozila prolaznog toka na odseku. Postojećom i najčešće korišćenom HCM metodologijom za definisanje uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama dat je postupak za proračun brzine putovanja vozila prolaznog toka uz odgovarajuća ograničenja prilikom primene u realnim uslovima. Jedno od ograničenja je to što metodologija predviđa uticaj izdvojenih pešačkih prelaza na brzinu putovanja vozila prolaznog toka ali ne pruža i konkretan postupak za procenu i vrednovanje ovog faktora.

Brzina putovanja vozila prolaznog toka na odseku predstavlja odnos dužine odseka i vremena putovanja na odseku pa se prema tome može zaključiti da povećanje vremena vožnje na odseku direktno utiče na smanjenje brzine putovanja na odseku. Uticaj izdvojenih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica manifestuje se upravo kroz povećanje vremena putovanja vozila na odseku gradske saobraćajnice, a povećanje vremena putovanja zavisi od veličine ostvarenih vremenskih gubitaka koji nastaju na izdvojenom pešačkom prelazu. Ključna pretpostavka na kojoj je zasnovana ova doktorska disertacija je da vremenski gubici vozačkih tokova na izdvojenom pešačkom prelazu nastaju usled pojave pešaka (ili grupa pešaka) i kao takvi utiču na smanjenje prosečne brzine putovanja i povećanje vremena putovanja vozila na odseku. U skladu sa tim cilj rada je definisanje modela za utvrđivanje vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima uz mogućnost implementacije u postojećoj metodologiji za definisanje uslova odvijanja saobraćaja na odsecima gradskih saobraćajnica.

U skladu sa definisanim ciljem u okviru doktorke disertacije izvršena je analiza prethodnih relevantnih istraživanja, a zatim i prikupljane podatka o uslovima odvijanja saobraćaja u realnom saobraćajnom toku. Sistematizacijom prikupljenih podataka i primenom odgovarajućih matematičkih i statističkih alata utvrđene su zakonitosti nastanka vremenskih gubitaka vozačkih tokova koji nastaju na izdvojenom pešačkom prelazu. Na osnovu utvrđenih zakonitosti i međusobne povezanosti saobraćajnih tokova i geometrijskih karakteristika izdvojenih pešačkih prelaza definisan je model kojim je moguće izračunati veličinu vremenskih gubitaka koji nastaju u vozačkim tokovima, a zatim i način implementacije dobijenog modela u postojećoj metodologiji za utvrđivanje uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama.

ABSTRACT

The places of pedestrian and vehicle flows crossings, that is, pedestrian crossings, are critical places in the street network due to the fact that it is necessary to provide safe pedestrian movement, and, simultaneously, uninterrupted motor vehicle traffic. According to the basic traffic rules, drivers are obliged to yield the right of way to pedestrians on midblock pedestrian crossings, which considerably affects traffic flow characteristics and conditions. The theme of this doctoral thesis is the analysis of the midblock pedestrian crossings influence on traffic conditions on urban street segments. The assessment of motor traffic conditions on urban street segments was carried out on the basis of travel speed of through vehicles. HCM (Highway Capacity Manual) methodology is most commonly used for the assessment of traffic conditions on the urban street segments, which has its limitations for the application on the sections with midblock pedestrian crossings. Within HCM methodology the influence of midblock pedestrian crossings on traffic conditions on the segment was especially emphasized. However, its evaluation procedure was not given.

Travel speed of through vehicles for the segment represents the relation between the segment length and segment running time, which implies that running time increase directly affects travel speed decrease. The influence of midblock pedestrian crossings on street traffic conditions is manifested through segment running time increase. Segment running time greatly depends on the value of the achieved delays which occur on a midblock pedestrian crossing. The key assumption, which this doctoral thesis is based on, is that delays of vehicular flows on midblock pedestrian crossings occur as a consequence of pedestrian (or a group of pedestrians) appearance and that they affect the travel speed of through vehicles decrease, that is, the increase of segment running time. Accordingly, the purpose of this paper is defining the model for determination of vehicular delays on midblock pedestrian crossings, with the possibility of its implementation into the existing methodology for defining traffic conditions on the urban street segments.

In accordance with the defined aim within the doctoral thesis, the analysis of previous relevant research studies was carried out, and then the research in a real traffic flow. The systematization of the collected data and the application of the appropriate mathematical and statistical tools enabled how to establish the rules of vehicular flows delays occurrence on midblock pedestrian crossing. On the basis of the established rules and correlation of traffic and geometric characteristics of midblock pedestrian crossings, a model for calculating the value of delays occurring in traffic flows was defined, as well as the way of the developed model implementation into the existing methodology for determining traffic conditions on urban street segments.

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	I
SPISAK SLIKA	IV
SPISAK TABELA	VII
SPISAK PRILOGA	IX
SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA.....	XI
1. UVOD	1
1.1. Definisane problema i cilja istraživanja	2
1.2. Postavljanje polaznih hipoteza	3
1.3. Metode istraživanja	5
1.4. Struktura doktorske disertacije	6
2. OPŠTE KARAKTERISTIKE VOZAČKOG I PEŠAČKOG SAOBRAĆAJA.....	11
2.1. Opšte karakteristike vozačkih tokova	11
2.2. Opšte karakteristike pešačkih tokova	13
2.2.1. Osnovni parametri pešačkih tokova	15
2.3. Interakcija između pešačkih i vozačkih tokova na pešačkom prelazu	17
2.3.1. Prihvatljivi interval sleđenja	19
3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SAOBRAĆAJNICA U URBANIM SREDINAMA	29
3.1. Osnovne karakteristike gradskih magistrala i gradskih saobraćajnica	30
3.2. Osnovne karakteristike izdvojenih pešačkih prelaza.....	32
3.3. Pregled metodologije za utvrđivanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama prema HCM 2016	37
3.3.1. Ulazni parametri.....	38
3.3.2. Postupni metodološki koraci	42
4. ANALIZA POSTOJEĆIH METODOLOGIJA ZA DEFINISANJE UTICAJA IZDVOJENIH PEŠAČKIH PRELAZA NA NIVO USLUGE	55
4.1. Krićka i komparativna analiza	62
5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	67
5.1. Osnove primenjenih matematićkih i statistićkih alata	68

5.2.	Izbor lokacija na kojim je vršeno istraživanje	73
5.2.1.	Uticao načina izvedbe IPP na uslove odvijanja pešačkog i saobraćaja motornih vozila	74
5.3.	Opis lokacija na kojim je izvršeno istraživanje	78
5.3.1.	Opis lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja - mikrolokacije IPP78	
5.3.2.	Opis lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja - odseci gradskih saobraćajnica	83
5.4.	Metodologija prikupljanja i obrade podataka.....	95
5.4.1.	Prikupljanje i obrada podataka na mikrolokaciji IPP	95
5.4.2.	Prikupljanje i obrada podataka na odsecima gradskih saobraćajnica	99
6.	PARAMETRI SAOBRAĆAJNOG TOKA U ZONI IZDVOJENIH PEŠAČKIH PRELAZA NA GRADSKIM SAOBRAĆAJNICAMA	107
6.1.	Karakteristike pešačkih tokova u zoni IPP	107
6.1.1.	Brzina pešaka na IPP	107
6.1.2.	Broj prelazaka i protok pešaka.....	108
6.2.	Karakteristike vozačkih tokova u zoni IPP	110
6.2.1.	Ostvareni vremenski gubici vozila usled propuštanja pešaka.....	113
6.3.	Definisanje uticaja IPP na brzinu saobraćajnog toka i vreme putovanja na odsecima gradskih saobraćajnica	116
7.	MODEL ZA UTVRĐIVANJE UTICAJA NESIGNALISANIH IPP NA NIVO USLUGE GRADSKIH SAOBRAĆAJNICA.....	133
7.1.	Formiranje polazne osnove za formiranje modela za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP.....	134
7.1.1.	Polazne osnove za proračun parametra N_stops.....	136
7.1.2.	Polazne osnove za proračun parametra N_cross.....	137
7.2.	Model za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP	138
7.2.1.	Postupak za utvrđivanje parametra N_cross.....	138
7.2.2.	Postupak za utvrđivanje parametra N_stops.....	141
7.2.3.	Postupak za utvrđivanje vremenskih gubitaka D2_veh	146
7.3.	Postupak za utvrđivanja uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica	150
7.4.	Testiranje modela za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP	152
7.4.1.	Testiranje modela za utvrđivanje parametra N_cross	152
7.4.1.	Testiranje modela za utvrđivanje uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica	154

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA.....	159
SPISAK KORIŠĆENE LITERATURE	163
PRILOG 1 Izvod iz statističke analize karakteristika pešačkih tokova na IPP	171
PRILOG 2 Izvod iz statističke analize karakteristika vozačkih tokova na IPP	182
PRILOG 3 Izvod iz statističke analize karakteristika brzina vozila na deonicama gradskih saobraćajnica.....	195
PRILOG 4 Potvrda o kalibraciji RLPBMIC uređaja	199

SPISAK SLIKA

Slika 2.1 Dijagrami međuzavisnosti protoka, brzine i gustine toka u teorijski idealnim uslovima (<i>Kuzović & Bogdanović, 2010</i>).....	12
Slika 2.2 Alternativni scenariji prelaska preko kolovoza (<i>Cantillo et al., 2015</i>)	15
Slika 2.3 Dijagrami međuzavisnosti osnovnih parametara pešačkih tokova (<i>Pushkarev & Zupan, 1975</i>).....	17
Slika 2.4 Profili brzina vozila u zavisnosti od vremena dolaska vozila do pešačkog prelaza (<i>Bella & Silvestri, 2015</i>)	19
Slika 2.5 Prihvatljivi interval sleđenja	19
Slika 2.6 Vrednosti prihvatljivog intervala sleđenja u odnosu na veličinu konfliktnog toka (<i>Chandra et al., 2014</i>).....	22
Slika 2.7 Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka (<i>Mitrović Simić et al., 2017</i>)	23
Slika 2.8 Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na broj pešaka (<i>Mitrović Simić et al., 2017</i>)	23
Slika 2.9 Procentualna raspodela LPET po trakama i smeru kretanja pešaka (<i>Almodfer et al., 2016</i>).....	25
Slika 3.1 Karakteristični korisnici javnog puta – ulice (<i>NACTO, 2012</i>)	30
Slika 3.2 Šematski prikaz gradske saobraćajnice (<i>NACTO, 2012</i>)	31
Slika 3.3 Šematski prikaz gradske saobraćajnice sa fizički odvojenim smerovima (<i>NACTO, 2012</i>)	31
Slika 3.4 Šematski prikaz odseka gradske saobraćajnice.....	32
Slika 3.5 Izgled nesignalisanog IPP (<i>NACTO, 2012</i>)	34
Slika 3.6 Izgled saobraćajnog znaka i oznake na putu za obeležavanje pešačkog prelaza	34
Slika 3.7 Ilustrativni prikaz prostora za stajanje i kretanje pešaka (<i>Fruin, 1987</i>)	35
Slika 3.8 Dijagram uslova za određivanje nivoa uređenja pešačkih prelaza (<i>JP Putevi Srbije, 2012</i>).....	36
Slika 3.9 Šematski prikaz kriterijuma za uvođenje različitih tipova pešačkog prelaza (<i>Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2002</i>)	36
Slika 3.10 Algoritam metodologije za utvrđivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica (<i>Transportation research board, 2016b</i>)	43
Slika 3.11 Raspodela dolaska ukupnog broja vozila tokom ciklusa	48
Slika 4.1 Uticaj pešaka na automobilski saobraćaj na urbanim saobraćajnicama (<i>Jorg et al., 2012</i>)	56
Slika 4.2 Uticaj veličine protoka pešaka na kapacitet saobraćajnice (<i>Bak & Kiec, 2012</i>).....	57

Slika 4.3 Veličina ostvarenih vremenskih gubitaka vozila u zavisnosti od veličine protoka pešaka i vozila (<i>Bak & Kiec, 2012</i>)	58
Slika 4.4 Dijagram odnosa protok-gustina-brzina na odseku sa i bez IPP (<i>Kadali et al., 2015</i>)	59
Slika 4.5 Uticaj stope dolaska pešaka i vozila na ostvarene vremenske gubitke (<i>Chen et al., 2016</i>)	61
Slika 4.6 Procenat smanjenja kapaciteta u zavisnosti od veličine protoka pešaka (<i>Dhamaniya & Chandra, 2014</i>)	62
Slika 5.1 Oblasti prihvatanja i odbacivanja nulte hipoteze H_0 u slučaju dvosmernog testa (<i>Savić, 2014</i>)	71
Slika 5.2 Izgled pešačkog prelaza pre rekonstrukcije	75
Slika 5.3 Izgled pešačkog prelaza nakon rekonstrukcije	75
Slika 5.4 Grafikoni raspodele podataka za izmerene brzine $Vv_no\ ped\ (BR)$ i $Vv_no\ ped\ (AR)$	75
Slika 5.5 Grafikoni raspodele podataka za izmerene brzine $Vp\ (BR)$ i $Vp\ (AR)$	76
Slika 5.6 Prostorni raspored lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja	79
Slika 5.7 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Fruškogorskoj ulici	80
Slika 5.8 Izgled analiziranih pešačkih prelaza u ulici Narodnog fronta	80
Slika 5.9 Izgled analiziranih pešačkih prelaza na Bulevaru oslobođenja	81
Slika 5.10 Izgled analiziranog pešačkog prelaza na Bulevaru cara Lazara	81
Slika 5.11 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Futoškoj ulici	82
Slika 5.12 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Rumenačkoj ulici	82
Slika 5.13 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Ulici Janka Veselinovića	83
Slika 5.14 Širi prikaz prostornog rasporeda lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja	84
Slika 5.15 Položaj odseka 1 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	85
Slika 5.16 Izgled IPP na odseku 1	86
Slika 5.17 Položaj odseka 2 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	86
Slika 5.18 Izgled IPP na odseku 2	87
Slika 5.19 Položaj odseka 3 i posmatranih pešačkih prelaza u odnosu na uličnu mrežu	87
Slika 5.20 Izgled IPP na odseku 3	88
Slika 5.21 Položaj odseka 4 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	88
Slika 5.22 Izgled IPP na odseku 4	89
Slika 5.23 Položaj odseka 5 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	90
Slika 5.24 Izgled IPP na odseku 5	90
Slika 5.25 Položaj odseka 6 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	91
Slika 5.26 Izgled IPP na odseku 6	92

Slika 5.27 Položaj odseka 7 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	92
Slika 5.28 Izgled IPP na odseku 7	93
Slika 5.29 Položaj odseka 8 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	93
Slika 5.30 Izgled IPP na odseku 8	94
Slika 5.31 Položaj odseka 9 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu	94
Slika 5.32 Izgled IPP na odseku 9	95
Slika 5.33 Prikaz referentnih linija na video snimku obrađenog u „Kinovea“ softveru	96
Slika 5.34 Idealizovane kinematske karakteristike vozila u zoni IPP	97
Slika 5.35 Prikupljanje podataka metodom pokretnog osmatrača	100
Slika 5.36 Merenje brzine metodom pokretnog osmatrača (<i>Bogdanović & Garunović, 2016</i>)	101
Slika 5.37 Izgled uređaja „RaceLogic Performance Box Sport“ (<i>RaceLogic, 2012</i>)	102
Slika 5.38 Prikaz izvornih podataka o brzini i vremenu putovanja vozila u programu „RaceLogic Performance Tools“	102
Slika 5.39 Izgled „HD DVR“ auto kamere	103
Slika 5.40 Karakteristični segmenti i idealizovane kinematske karakteristike vozila na linku	103
Slika 6.1 Prosečno učešće grupnih prelazaka u ukupnom broju prelazaka	109
Slika 6.2 Procentualna raspodela protoka po saobraćajnim trakama	112
Slika 6.3 Raspodela ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh u zavisnosti od pozicije vozila u redu	115
Slika 6.4 Dijagram prosečnih vrednosti vremenskih gubitaka D2_veh u zavisnosti od pozicije vozila u redu	115
Slika 6.5 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 1 i 2	118
Slika 6.6 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 3 i 4	119
Slika 6.7 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 5 i 6	120
Slika 6.8 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 7 i 8	121
Slika 6.9 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odsek 9	122
Slika 6.10 Raspodela prosečnih brzina na segmentu L2 – svi odseci	122
Slika 6.11 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 1 i 2	123
Slika 6.12 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 3 i 4	124
Slika 6.13 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 5 i 6	125
Slika 6.14 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 7 i 8	126
Slika 6.15 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odsek 9	127
Slika 6.16 Raspodela prosečnih brzina na segmentu L3 – svi odseci	127
Slika 6.17 Dijagram ukupnog vremena putovanja na segmentima L2 i L3	130
Slika 7.1 Dijagram toka formiranja modela	133
Slika 7.2 Zavisnost broja zaustavljanja i ostvarenih vremenskih gubitaka vozila	134
Slika 7.3 Karakteristike reziduala regresije za N_cross	140
Slika 7.4 Dijagram zavisnosti broja prelazaka	140
Slika 7.5 Grafikon zavisnosti N_stops sa N_cross i Q_5minxYr	141

Slika 7.6 Karakteristike reziduala regresije za N_stops	143
Slika 7.7 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka Q_5min=25 PAJ/5min/tr	144
Slika 7.8 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka Q_5min=50 PAJ/5min/tr	144
Slika 7.9 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka Q_5min=75 PAJ/5min/tr	145
Slika 7.10 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka Q_5min=100 PAJ/5min/tr	145
Slika 7.11 Karakteristike reziduala regresije za D2_veh	148
Slika 7.12 Dijagram zavisnosti gubitaka D2_veh u odnosu na izabrane prediktore.	148
Slika 7.13 Dijagram zavisnosti gubitaka d_veh u odnosu na protok vozila i pešaka	150
Slika 7.14 Postupni koraci modela za proračun uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica	152

SPISAK TABELA

Tabela 2.1 Procentualna raspodela protoka po trakama za različite tipove saobraćajnica	13
Tabela 2.2 Vrednosti prihvatljivih intervala sleđenja prema različitim autorima	23
Tabela 3.1 Funkcionalna klasifikacija gradske mreže puteva (<i>Maletin, 2009</i>).....	29
Tabela 3.2 Granične vrednosti brzine putovanja za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica	50
Tabela 4.1 Prosečno vreme putovanja automobila na mreži u zavisnosti od broja pešaka (<i>Jorg et al., 2012</i>).....	56
<i>Tabela 4.2 Vrednosti kapaciteta i protoka pešaka na analiziranim odsecima (Dhamaniya & Chandra, 2014).....</i>	62
Tabela 5.1 Rizici greške kod testiranja hipoteza (<i>Petz, 1985</i>).....	69
Tabela 5.2 Rezultati izmerenih brzina vozila	75
Tabela 5.3 Rezultati Mann-Whitney testa za Vv_no ped (BR) i Vv_no ped (AR)	76
Tabela 5.4 Rezultati izmerenih brzina pešaka	76
Tabela 5.5 Rezultati dvosmernog t-testa za izmerene brzine pešaka	77
Tabela 5.6 Vrednosti stepena propuštanja pešaka i vremenskih gubitaka pre i nakon rekonstrukcije	77
Tabela 5.7 Spisak lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja	78
Tabela 5.8 Podaci o datumu i vremenu sprovođenja istraživanja na mikrolokacijama	79
Tabela 5.9 Spisak lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja	83
Tabela 5.10 Podaci o datumu i vremenu sprovođenja istraživanja na mikrolokacijama	85

Tabela 6.1 Deskriptivne vrednosti brzina pešaka	108
Tabela 6.2 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama pešaka	108
Tabela 6.3 Učešće grupnih prelazaka u ukupnom broju prelazaka po lokacijama ..	109
Tabela 6.4 Reprezentativni uzorak broja prelazaka i broja pešaka po lokacijama i 5- min. intervalima	109
Tabela 6.5 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka N_cross sa normalnom i Poasonovom raspodelom.....	110
Tabela 6.6 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka N_ped sa normalnom i Poasonovom raspodelom.....	110
Tabela 6.7 Protok vozila po 5-minutnim intervalima (Q_5min) na analiziranim lokacijama	111
Tabela 6.8 Raspodela udela različitih kategorija vozila po analiziranim lokacijama	112
Tabela 6.9 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka Q_1min sa normalnom raspodelom na lokacijama 1, 2, 3 i 4	113
Tabela 6.10 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka Q_1min sa normalnom raspodelom na lokacijama 5, 6 i 7	113
Tabela 6.11 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka svih zaustavljenih vozila	113
Tabela 6.12 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka D_veh po lokacijama i poziciji u redu čekanja.....	114
Tabela 6.13 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh po lokacijama i poziciji u redu čekanja.....	114
Tabela 6.14 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka prema poziciji u redu čekanja	115
Tabela 6.15 Protok pešaka i vozila na posmatranim odsecima gradskih saobraćajnica – odsek 1-5	116
Tabela 6.16 Protok pešaka i vozila na posmatranim odsecima gradskih saobraćajnica – odsek 6-9	116
Tabela 6.17 Empirijski utvrđene brzine toka na analiziranim odsecima	117
Tabela 6.18 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L2 – saobraćajnice sa razdelnim ostrvom	128
Tabela 6.19 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L2 – nepodeljene saobraćajnice.....	128
Tabela 6.20 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L3 – saobraćajnice sa razdelnim ostrvom	128
Tabela 6.21 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L3 – nepodeljene saobraćajnice.....	129
Tabela 6.22 Osnovni rezultati statističke analize razlike u vremenu putovanja – saobraćajnica sa razdelnim ostrvom	129
Tabela 6.23 Osnovni rezultati statističke analize razlike u vremenu putovanja – nepodeljene saobraćajnice.....	130
Tabela 7.1 Korelacioni faktori zavisne promenljive D2_veh i izabranih prediktora ..	135
Tabela 7.2 Korelacioni faktori zavisne promenljive N_stops i izabranih prediktora .	136
Tabela 7.3 Korelacioni faktori zavisne promenljive N_cross i izabranih prediktora .	138

Tabela 7.4 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za N_cross	139
Tabela 7.5 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za N_stops	142
Tabela 7.6 Koeficijenti determinacije analiziranih varijanti modela za proračun D2_veh.....	146
Tabela 7.7 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za D2_veh	147
Tabela 7.8 Uporedni prikaz rezultata proračuna N_cross na pešačkom prelazu LOK_8.....	153
Tabela 7.9 Uporedni prikaz rezultata proračuna N_cross na pešačkom prelazu LOK_9.....	153
Tabela 7.10 Osnovni rezultati statističke analize ostvarenih i modelom utvrđenih N_cross.....	154
Tabela 7.11 Kriterijumi za definisanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama (BFFS = 55 km/h).....	155
Tabela 7.12 Uporedna analiza empirijski utvrđenih brzina, brzina dobijenih modelom i nivoa usluge	155

SPISAK PRILOGA

- PRILOG 1: Izvod iz statističke analize karakteristika pešačkih tokova na IPP
- PRILOG 2: Izvod iz statističke analize karakteristika vozačkih tokova na IPP
- PRILOG 3: Izvod iz statističke analize karakteristika brzina vozila na deonicama gradskih saobraćajnica
- PRILOG 4: Potvrda o kalibraciji RLPBMIC uređaja

SPISAK SKRAĆENICA I OZNAKA

A	
a	Prosečno ubrzanje vozila (m/s^2)
AWSC	Način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama sa obavezom zaustavljanja na svim prilazima (eng. <i>All-Way Stop Control</i>)
B	
b	Prosečno usporenje vozila (m/s^2)
Bpc	Širina pešačkog prelaza (m)
BUS(%)	Procenat autobusa u toku
C	
c	Kapacitet saobraćajne trake ili grupe traka (voz/h/tr; voz/h/tr)
D	
d_veh	Prosečni vremenski gubici u toku (s/voz; s/voz/tr)
D_veh	Ukupni prosečni vremenski gubici po zaustavljanju (s/stops; s/stops/tr)
D2_veh	Prosečno vreme čekanja vozila po zaustavljanju (s/stops; s/stops/tr)
F	
FVS	Faktor vršnog sata (eng. <i>Peak Hour Factor – PHF</i>)
G	
g	Gustina saobraćajnog toka (voz/km) (eng: <i>Density – d</i>)
H	
HCM 2016	Priručnik za proračun kapaciteta i nivoa usluge, izdanje iz 2016 godine (eng. <i>Highway Capacity Manual 6th edition</i>)
I	
IPP	Izdvojeni pešački prelaz

K	
KV(%)	Procenat komercijalnih vozila u toku (BUS+TV+AV)
L	
LOS	Nivo usluge (<i>eng. Level of service</i>)
L_{pc}	Dužina pešačkog prelaza (m)
L	Dužina analiziranog odseka (m; ft)
M	
Mean	Srednja vrednost uzorka
N	
N	Veličina uzorka
N_{cross}	Broj prelazaka preko pešačkog prelaza u posmatranom 5-minutnom periodu
N_{group}	Broj prelazaka u grupi preko pešačkog prelaza u posmatranom 5-minutnom periodu
N_{lane}	Broj saobraćajnih traka za vozila na mestu pešačkog prelaza
N_{one}	Broj samostalnih prelazaka preko pešačkog prelaza u posmatranom 5-minutnom periodu
N_{ped}	Broj pešaka na pešačkom prelazu u posmatranom 5-minutnom periodu
N_{stop}	Broj zaustavljenih vozila usled propuštanja pešaka
O	
O_{pc}	Prosečna zauzetost pešačkog prelaza od strane pešaka (s)
Q	
q	Protok vozila po saobraćajnoj traci ili grupi traka (voz/h; voz/h/tr) (<i>eng. Volume – v</i>)
q_{ped}	Protok pešaka (ped/h)
q_{p-group}	Protok grupa pešaka (p-group/h)
Q_{5min}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila
Q_{bus}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila, kategorija: autobus
Q_{dst}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila, kategorija: dostavno vozilo
Q_{mot}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila, kategorija: motocikl
Q_{pa}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila, kategorija: putnički automobil
Q_{tv}	Utvrđen (prosečan) 5-minutni protok vozila, kategorija: teretno vozilo

P

PAJ	Jedinice putničkih automobila (<i>eng. Passenger car units - PCU</i>)
ped	Oznaka za pešaka kao mernu jedinicu (<i>eng: Pedestrian</i>)
PIQ	Pozicija vozila u redu čekanja (<i>eng. Position in Queue</i>)

S

StDev	Standardna devijacija uzorka (<i>eng. Standard Deviation</i>)
s_h	Rastojanje sleđenja između vozila (m)

T

t	Vreme putovanja vozila (s; min; h)
t_{h_veh}	Interval sleđenja vozila u toku (s)
t_{h_ped}	Interval sleđenja između pešaka (s)
t_v	Vreme vožnje vozila u toku (s; min)
TV(%)	Procenat teretnih vozila u toku
TWSC	Način regulisanja saobraćaja na raskrsnicama sa obavezom zaustavljanja samo na dva prilaza odnosno na prilazima sporednog putnog pravca (<i>eng. Two-Way Stop Control</i>)

V

V	Brzina saobraćajnog toka (km/h; m/s) (<i>eng: Speed – s</i>)
Vsr	Srednja (prosečna) brzina vozila u toku (km/h; m/s)
Vsr_ped	Srednja (prosečna) brzina vozila u toku sa uticajem prelaska pešaka na IPP (km/h; m/s)
voz	Oznaka za vozilo kao mernu jedinicu
Vp_one	Brzina pešaka pri samostalnom prelasku preko pešačkog prelaza (m/s)
Vp_group	Brzina grupe pešaka pri prelasku preko pešačkog prelaza (m/s)

Y

Yr	Stepen propuštanja pešaka (<i>eng. Yield Rate</i>)
-----------	--

POGLAVLJE

1

Uvod

U okviru uvodnog dela doktorske disertacije dati su osnovni podaci o sadržini rada, uvod u analiziranu problematiku, predmet i cilj istraživanja.

1. UVOD

Pored vožnje biciklom, pešačenje predstavlja najprirodniji i najzdraviji način kretanja. Prema podacima Evropske agencije za životnu sredinu 25 – 56% putovanja obavlja se pešačenjem ili biciklom (EEA, 2013). U većini gradova pešačenje je u vidovnoj raspodeli najzastupljeniji način putovanja, a osim određenog broja putovanja koja se realizuju biciklom, sva ostala najčešće započinju i završavaju se pešačenjem. Pored toga procenat učešća pešačenja u vidovnoj raspodeli zavisi i od veličine grada. Prema poslednjim istraživanjima iz 2017. koja su vršena na teritoriji grada Novog Sada pešačenje u vidovnoj raspodeli učestvuje sa 40% (Bogdanović, Papić, et al., 2018), dok je prema rezultatima istraživanjima iz 2009. godine na istom području pešačenje u vidovnoj raspodeli učestvovalo sa 48% (JP Urbanizam, 2009). Prema istraživanju koje je 2017. godine sprovedeno na području grada Kragujevca utvrđeno je da pešačka putovanja čine 43% ukupnih putovanja u toku dana (Bogdanović, Vračarević, et al., 2018). U gradovima Evropske unije (EU) učešće pešačenja u vidovnoj raspodeli je veoma raznoliko i prema raspoloživim podacima iznosi 26% Ciriha (Švajcarska), 27% za grad Beč (Austrija), 19% Graca (Austrija), dok za grad Torino (Italija) učešće pešačkih putovanja iznosi samo 7% (EPOMM, 2020). Pešačenje u gradskim uslovima odvijanja saobraćaja po pravilu podrazumeva presecanje i ukrštanje sa tokovima vozila, što se najčešće realizuje na pešačkim prelazima. Prema pravilima saobraćaja, pešaci na pešačkim prelazima imaju prednost u odnosu na vozila, ali u praksi to pravilo često može da bude samo deklarativno pravo.

U slučaju istovremene pojave vozila i pešaka na pešačkom prelazu, kao konfliktnom području, nastaje i potreba za zaustavljanjem vozila ili pešaka u cilju propuštanja i izbegavanja saobraćajne nezgode. U skladu sa pravima pešaka definisanim u zakonima svih zemalja sveta, vozila su kategorija učesnika koja ima obavezu da se zaustavi ispred pešačkog prelaza i omogući pešacima da pređu kolovoz. Spremnost vozača da propuste pešake na pešačkom prelazu meri se stepenom propuštanja pešaka i ona zavisi od mnogobrojnih faktora. Stepem propuštanja pešaka zavisi od mnogo faktora kao što su saobraćajni uslovi, karakteristike i saobraćajna kultura vozača, zakonska regulativa itd., tako da je vrednost ovog parametra promenljiva (Bak & Kiec, 2012; Mitrović Simić, 2015). Svako zaustavljanje vozila uzrokuje nastanak vremenskih gubitaka u vozačkim tokovima, što istovremeno znači i pogoršanje uslova odvijanja saobraćaja. Presecanjem kontinualnog toka vozila, odnosno njihovim zaustavljanjem, stvaraju se uslovi za nastanak kolona što dovodi do povećanja vremena putovanja i emisije polutanata.

Ukrštanje pešačkih i vozačkih tokova u nivou je u najvećem broju slučajeva nasledeni element ulične mreže, a takođe je u velikoj meri i nezaobilazni element prilikom

projektovanja novog sistema saobraćajnica. Pešački prelaz je označeni deo kolovoza namenjen za prelazak pešaka preko kolovoza (*Vlada republike Srbije, 2019*). U zavisnosti od potreba koje proizilaze iz geometrije ukrštanja i zahteva za protokom pešaka i vozila, postoje tri osnovna tipa ukrštanja u nivou koja mogu da se jave ne uličnoj mreži: 1. mesta ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova gde nije potrebno obeležavanje prelaza; 2. mesta ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova gde je potrebno obeležavanje nesignalisanog pešačkog prelaza; 3. mesta ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova gde je potrebno obeležavanje pešačkog prelaza opremljenog semaforima (*JP Putevi Srbije, 2012*).

Nesignalisani pešački prelazi su obeleženi propisanom horizontalnom oznakom na kolovozu i odgovarajućim saobraćajnim znakom. Ovi pešački prelazi mogu biti obeleženi na prilazu raskrsnice koja nije regulisana svetlosnim signalima ili kao izdvojen pešački prelaz na delu (odseku) između dve susedne raskrsnice. Obeležavanje pešačkog prelaza vrši se prema unapred određenim i prihvaćenim kriterijumima i pravilima koji su zasnovani na proceni saobraćajnih uslova na posmatranim lokacijama. Obeležavanje izdvojenih pešačkih prelaza, između ostalog, moguće je opravdati i rezultatima nekoliko naučnih istraživanja vezanih za analizu ponašanja pešaka. Rezultati jednog takvog istraživanja pokazali su da verovatnoća za prelaskom preko regulisanog pešačkog prelaza opada sa porastom udaljenosti od ciljne tačke pešaka, te se u tom slučaju pešaci češće odlučuju za direktan prelazak preko kolovoza (*Cantillo, Arellana, & Rolong, 2015*).

1.1. Definisane problema i cilja istraživanja

Osnovni problem kojim se bavi ova doktorska disertacija je uticaj izdvojenih pešačkih prelaza na brzinu i vremena putovanja vozila na odsecima gradskih saobraćajnica, odnosno na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama.

Kao gradska saobraćajnica može se definisati posebna površina koju kao saobraćajnu površinu mogu da koriste svi ili određeni učesnici u saobraćaju. Osnovni element gradske saobraćajnice je odsek koji predstavlja fizički jasno definisan element saobraćajnice i čine ga dva osnovna elementa: Link - deo odseka koji čine jedna ili više saobraćajnih traka namenjenih za vožnju u jednom smeru; Granična raskrsnica - granični element između dva susedna odseka.

Prema Priručniku za proračun kapaciteta i nivoa usluge (*Transportation research board, 2016b*) uslovi odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama definišu se prema vidovima prevoza (motorizovan saobraćaj, pešački tokovi, biciklistički tokovi i javni prevoz), pa u skladu sa tim postoje i različite metodologije. U okviru doktorske disertacije korišćene su metodologije za analizu uslova odvijanja saobraćaja motornih vozila. Za kvalitativno vrednovanje uslova odvijanja saobraćaja na odseku gradskih saobraćajnica, kao i za većinu drugih elemenata putne i ulične mreže, definisan je pojam „nivo usluge“. Pomenutom metodologijom deifinisano je šest različitih nivoa

usluge, gde svaki nivo usluge, na osnovu vrednosti određenih parametara, opisuje karakteristične uslove odvijanja saobraćaja.

Ključni parametri na osnovu kojih se vrši ocena uslova odvijanja motornog saobraćaja, odnosno nivo usluge na gradskim saobraćajnicama, su odnos protoka i kapaciteta tokova koji se kreću pravo na graničnoj raskrsnici analiziranog odseka i brzina vozila koja se kreću pravo duž odseka (u jednom smeru) i ne vrše skretanje na nekoj tački odseka. Brzina vozila na odseku je u direktnoj korelaciji sa vremenom putovanja vozila duž odseka. Vreme putovanja vozila na odseku predstavlja zbir vremenskih gubitaka vozila na graničnoj raskrsnici i vremena vožnje na linku. Vreme putovanja na linku, pa samim tim i na odseku, između ostalog zavisi i od ostalih vremenskih gubitaka koji se mogu javiti na središnjem delu odseka. Ostali vremenski gubici, prema (*Transportation research board, 2016b*), mogu nastati usled uticaja pešaka na izdvojenom pešačkom prelazu, tj. usled potrebe za pružanjem prvenstva pešačkim tokovima. Brzina putovanja na odseku izračunava se kao odnos dužine odseka i vremena putovanja na odseku (zbira vremena vožnje i vremenskih gubitaka na graničnoj raskrsnici). S obzirom na to da povećanje vremena vožnje direktno utiče na smanjenje brzine putovanja na odseku, u postupcima analize uslova odvijanja saobraćaja moraju se precizno definisati svi vremenski gubici na odseku, a samim tim i gubici koji se javljaju na izdvojenim pešačkim prelazima. U okviru dosadašnjih istraživanja nisu definisani postupci za utvrđivanje vremenskih gubitaka na izdvojenim pešačkim prelazima u zavisnosti od karakteristika pešačkih prelaza, pešačkih tokova i tokova vozila. Definisanjem uticaja izdvojenih pešačkih prelaza na vremenske gubitke vozila stvorili bi se uslovi za preciznije utvrđivanje nivoa usluge, odnosno uslova odvijanja saobraćaja na segmentima gradskih saobraćajnica.

Cilj rada ove doktorske disertacije je definisanje modela za utvrđivanje vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima uz mogućnost implementacije u postojećoj metodologiji za definisanje uslova odvijanja saobraćaja na odsecima gradskih saobraćajnica.

1.2. Postavljanje polaznih hipoteza

Prema odredbi Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima Republike Srbije, član 99, stav 3, definisano je da ukoliko saobraćaj na pešačkom prelazu 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 propusti pešaka koji je već stupio ili stupa na pešački prelaz ili pokazuje nameru da će stupiti na pešački prelaz. U skladu sa zakonskim obavezama vozača, objektivno se može pretpostaviti da će se na svakom odseku gradske saobraćajnice sa izdvojenim pešačkim prelazom pojaviti vremenski gubici i produženje vremena putovanja s obzirom na to da će se ispred njih vozila povremeno zaustavljati radi propuštanja pešaka.

U skladu sa definisanim ciljem rada, istraživanje i formiranje modela za utvrđivanje vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima na odsecima gradskih saobraćajnica zasnovano je na sledećim hipotezama:

Hipoteza 1: Vremenski gubici vozačkih tokova koji nastaju na izdvojenom pešačkom prelazu usled pojave pešaka (ili grupa pešaka) utiču na smanjenje prosečne brzine putovanja i povećanje vremena putovanja vozila na odseku.

Hipoteza 2: Mogućnost za nastanak i veličina vremenskih gubitaka vozila na izdvojenom pešačkom prelazu zavisi od karakteristika pešačkih i vozačkih tokova.

Hipoteza 3: Mogućnost za nastanak i veličina vremenskih gubitaka vozila na izdvojenom pešačkom prelazu zavisi od geometrijskih karakteristika izdvojenog pešačkog prelaza i odseka gradske saobraćajnice na kojoj se taj prelaz nalazi.

Za formiranje modela potrebno je razlikovati tri karakteristična slučaja:

- A. Nastanak zahteva za prelazak pešaka u trenutku kada vozilo ne prilazi ili se nalazi na dovoljnoj udaljenosti od izdvojenog pešačkog prelaza – u ovom događaju vremenski gubici za vozila ne postoje;
- B. Dolazak vozila do izdvojenog pešačkog prelaza u trenutku kada ne postoji zahtev za prelazak pešaka preko pešačkog prelaza – u ovom događaju ne postoji element koji ometa prolazak vozila preko pešačkog prelaza, pa vremenski gubici vozila ne postoje;
- C. Dolazak vozila do izdvojenog pešačkog prelaza u trenutku kada postoje zahtevi za prelazak pešaka – u ovom događaju prelazak pešaka može da ometa prolazak vozila preko pešačkog prelaza, što utiče na pojavu vremenskih gubitaka, pod uslovom da vozila uspire ili se zaustave ispred pešačkog prelaza.

Ovako definisan treći slučaj podrazumeva situaciju da vozilo može i ne mora da se zaustavi i propusti pešake, što odgovara realnim uslovima odvijanja saobraćaja. Naime, bez obzira na zakonske obaveze vozača, u praksi se dešavaju slučajevi kada se pešaci zaustave i propuste vozila, odnosno odlože prelazak kolovoza. Uticaj izdvojenih pešačkih prelaza na povećanje vremena putovanja pešaka i uslove odvijanja pešačkog saobraćaja neće biti razmatran u okviru disertacije. U skladu sa tim, za potrebe formiranja modela uzeti su u obzir svi relevantni saobraćajni parametri pešačkih i vozačkih tokova kao i geometrijske karakteristike pešačkog prelaza i saobraćajnice.

Uzimajući u obzir rezultate prethodnih istraživanja, prethodno definisane ciljeve i polazne pretpostavke, kao merodavni parametri koji samostalno ili u kombinaciji mogu

uticati na veličinu vremenskih gubitaka vozačkih tokova na izdvojenim pešačkim prelazima uzeti su:

- protok vozila,
- procenat komercijalnih vozila u toku,
- vremenski interval sleđenja vozila u toku,
- broj zaustavljenih vozila,
- stepen propuštanja pešaka,
- protok pešaka,
- broj prelazaka pešaka,
- brzina pešaka,
- prosečna zauzetost pešačkog prelaza od strane pešaka,
- broj saobraćajnih traka koje preseca pešački prelaz,
- razlika tipa saobraćajnice po smeru kretanja motornih vozila,
- dužina pešačkog prelaza,
- širina pešačkog prelaza.

Prilikom odluke o načinu formiranja modela usvojena je metodologija koja podrazumeva analizu uslova odvijanja u realnom saobraćajnom toku, ispitivanje međusobnih relacija između navedenih parametara i kreiranje matematičkog modela za proračun vremenskih gubitaka koji je u domenu uslova koji su definisani karakteristikama (graničnim vrednostima) prikupljenog uzorka.

1.3. Metode istraživanja

Za potrebe izrade predmetne disertacije definisan je metod istraživanja koji je u skladu sa zahtevima predmeta i cilja ovog rada. Metod istraživanja zasnovan je na svim poznatim pravilima i metodama naučnog saznanja. Prilikom analize i izrade rada korišćene su sledeće metode:

- Metode prikupljanja podataka i formiranja baze podataka;
- Metode analize i sinteze. Postupak analize zasnovan je na objašnjenju problema putem raščlanjivanja složenih celina na jednostavnije sastavne delove, a postupak sinteze je zasnovan na spajanju prostih celina u složenije forme;
- Metode indukcije pomoću kojih se na osnovu pojedinačnih činjenica i saznanja dolazi do uopštavanja i formiranja zakonitosti i metode dedukcije pomoću kojih se na osnovu opštih obeležja izvode pojedinačni sudovi, zaključci i tvrdnje;
- Metod generalizacije, odnosno donošenje uopštenih zaključaka na osnovu pojedinačnih opažanja;
- Metod kompilacije koji obuhvata postupak preuzimanja tuđih opažanja, stavova, zaključaka i saznanja;
- Metode klasifikacije, odnosno uočavanje i definisanje skupova podataka sa sličnim svojstvima;
- Metoda deskripcije koja podrazumeva postupak jednostavnog opisivanja činjenica, procesa i predmeta;

- Komparativna metoda, tj. metoda 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 komparativne analize i metoda kompilacije primenjene su u analizama karakteristika vozačkog i pešačkog saobraćaja, kao i karakteristika saobraćajnica. Komparativna analiza i metoda kompilacije korišćene su i prilikom analize postojećih metodologija za definisanje uticaja izdvojenih pešačkih prelaza na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama. Na osnovu pregleda literature definisano je područje rada i priprema za sprovođenje istraživanja nakon čega se pristupilo prikupljanju podataka i formiranju baze podataka. Metodom analize i sinteze izvršeno je raščlanjavanje definisanog skupa podataka na podskupove koji se odnose na karakteristike pešačkog i vozačkog saobraćaja na izdvojenim pešačkim prelazima. Metodom deskripcije, a na osnovu rezultata statističke analize i utvrđivanja međuzavisnosti između pojedinih parametara, određene su činjenice o međusobnoj povezanosti parametara koji opisuju proces odvijanja saobraćaja na izdvojenim pešačkim prelazima i stvoreni su uslovi za definisanje polaznih hipoteza za formiranje modela. Za dokazivanje postavljenih hipoteza korišćene su statističke i matematičke metode, kao i metode analize i sinteze rezultata. Model uticaja izdvojenih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica formiran je sprovođenjem matematičkih i statističkih metoda na osnovu čijih rezultata su metodom indukcije doneseni opšti zaključci. Dobijeni model je metodom kompilacije uvršten u postojeću metodologiju za utvrđivanje uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama. Primenom analize, sinteze, indukcije i kompilacije izvedeni su zaključci na osnovu svih prethodnih istraživanja.

1.4. Struktura doktorske disertacije

Doktorska disertacija sastoji se od osam logički povezanih poglavlja i priloga. U okviru Poglavlja 1 – Uvod, dati su osnovni podaci o sadržini rada, uvod u analiziranu problematiku, kao i predmet i cilj istraživanja.

U okviru Poglavlja 2, u tri nezavisne celine, opisane su opšte karakteristike vozačkih tokova, opšte karakteristike pešačkih tokova i zakonitosti interakcije između pešačkih i vozačkih tokova. Cilj ovog dela disertacije je upoznavanje sa osnovnim parametrima pešačkih i vozačkih tokova kao osnovnih činioca problema koji je predmet ovog rada.

Kako se predmet rada odnosi na određeni tip saobraćajnica, u Poglavlju 3 dat je kratak pregled karakteristika saobraćajnica u urbanim sredinama. Nakon toga opisani su izdvojeni pešački prelazi kao mesta na uličnoj mreži, njihova svrha i potreba za obeležavanjem. U poslednjem delu ovog poglavlja opisana je metodologija za utvrđivanje uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama koja je poslužila kao osnova za kreiranje modela za proračun vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima.

U Poglavlju 4 sumiran je pregled literature koja je vezana za uticaj izdvojenih pešačkih prelaza na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama. U okviru ovog poglavlja prikazani su rezultati istraživanja i izvršena je njihova komparativna analiza. Sadržaj Poglavlja 5 odnosi se na metodologiju istraživanja. U prvom delu poglavlja ukratko su opisani matematički i statistički alati koji su korišćeni za potrebe sprovođenja predmetne analize. Nakon toga opisan je način izbora lokacija na kojima je istraživanje vršeno i opis samih lokacija. U poslednjem delu ovog poglavlja opisana je metodologija prikupljanja podataka i principi koji su usvojeni prilikom obrade podataka.

U prvoj i drugoj tački Poglavlja 6 opisani su rezultati prvog dela istraživanja koje je sprovedeno na mikrolokacijama izdvojenih pešačkih prelaza. Za svaku prethodno opisanu mikrolokaciju na kojoj je vršeno istraživanje za potrebe kreiranja modela date su karakteristike pešačkih i vozačkih saobraćajnih tokova (brzina pešaka, protok pešaka, protok vozila, struktura saobraćajnog toka, ostvareni vremenski gubici vozila itd.). U poslednjem delu ovog poglavlja dati su rezultati drugog dela istraživanja koje je podrazumevalo merenje brzina vozila na odsecima gradskih saobraćajnica. Pored toga u ovom delu dat je uporedni prikaz (tabelarno i grafički) koji se odnosi na izmerene brzine vozila sa i bez uticaja pešaka na kretanje vozila. Podaci prikazani u ovom poglavlju korišćeni su kao ulazni parametri za kreiranje modela za utvrđivanje uticaja izdvojenih nesignalisanih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica.

Poglavlje 7 predstavlja ključnu celinu ovog rada i u okviru njega je prikazan model za proračun vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima. Model je prikazan u postupnim koracima koji podrazumevaju:

1. Formiranje polazne osnove i definisanje hipoteza;
2. Prikaz konačnog modela za proračun vremenskih gubitaka vozila na izdvojenim pešačkim prelazima;
3. Utvrđivanje uticaja izdvojenih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica;
4. Testiranje modela.

U Poglavlju 8 prikazani su osnovni rezultati koji su rezultat doktorske disertacije kao i pravci daljih istraživanja koja bi se bavila uticajem izdvojenih pešačkih prelaza ili drugih uticajnih faktora na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama.

Nakon poslednjeg poglavlja dat je spisak korišćene literature. Sastavni deo doktorske disertacije su prilozi koji u najvećoj meri predstavljaju detaljne izveštaje statističke obrade podataka koji su korišćeni kao ulazni parametri za formiranje modela, kao i statističke obrade podataka za sam model.

POGLAVLJE

2

Opšte karakteristike vozačkog i pešačkog saobraćaja

U okviru drugog poglavlja opisane su opšte karakteristike vozačkih i pešačkih tokova sa posebnim osvrtom na parametre saobraćajnog toka koji figurišu u postupku definisanja nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama, odnosno pešačkim prelazima. Pored toga, dat je pregled dosadašnjih istraživanja i rezultata kojima je moguće opisati interakciju između pešačkih i vozačkih tokova.

2. OPŠTE KARAKTERISTIKE VOZAČKOG I PEŠAČKOG SAOBRAĆAJA

Radi sprovođenja analize i formiranja modela važno je razumeti i analizirati parametre koji opisuju prirodu pešačkih i vozačkih tokova, kao i njihove međusobne zavisnosti. Analiza je fokusirana na one parametre i osobenosti vozačkih i pešačkih tokova koji su ključni za definisanje interakcije pešaka i vozila na mestima njihovih ukrštanja, odnosno pešačkim prelazima.

2.1. Opšte karakteristike vozačkih tokova

Izučavanje karakteristika vozačkih tokova započeto je tridesetih godina dvadesetog veka, a tek nakon 1950. godine naučna disciplina koja se bavi ovom problematikom beleži svoj značajan razvoj. Od tada pa do danas u okviru oblasti teorije saobraćajnog toka vršena su razna istraživanja, između ostalog istraživanja vezana za definisanje merodavnih pokazatelja o veličinama i karakteristikama saobraćajnih tokova. Osnovni parametri saobraćajnog toka služe za opisivanje karakteristika saobraćajnog toka i zakonitosti kretanja vozila u njemu. U osnovne parametre saobraćajnog toka svrstavaju se:

- Protok vozila;
- Gustina toka;
- Brzina toka;
- Vreme putovanja vozila u toku;
- Jedinično vreme putovanja vozila u toku;
- Vremenski interval sleđenja vozila u toku;
- Rastojanje sleđenja vozila u toku.

Pod pojmom protok vozila (q) podrazumeva se broj vozila koja prođu posmatrani presek saobraćajnice u jedinici vremena u jednom smeru za jednosmerne saobraćajnice, ili u oba smera za dvosmerne saobraćajnice. Pored toga, protok vozila na dvosmernim saobraćajnicama može se posmatrati i po smerovima, kao i po saobraćajnim trakama. Gustina saobraćajnog toka (g) je parametar toka koji je prostorno vezan za odsek, a vremenski za trenutak. Gustina toka se definiše kao broj vozila koji se u posmatranom trenutku nalazi na jedinici dužine saobraćajnice po saobraćajnoj traci, po smerovima za jednosmerne saobraćajnice, odnosno u dve trake u oba smera za dvosmerne saobraćajnice. Kako saobraćajni tok podrazumeva više pojedinačnih vozila, pod pojmom brzine saobraćajnog toka (v) misli se na određenu srednju vrednost brzine svih pojedinačnih vozila u toku. Brzina saobraćajnog toka može se posmatrati na odseku u određenom trenutku (trenutno posmatranje – srednja

prostorna brzina) i poprečnom preseku u određenom periodu vremena (lokalno posmatranje – srednja vremenska brzina). Prema tome, srednja prostorna brzina saobraćajnog toka predstavlja aritmetičku sredinu trenutnih brzina svih vozila u saobraćajnom toku, dok srednja vremenska brzina saobraćajnog toka predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila u saobraćajnom toku koja prolaze posmatrani presek puta u određenom periodu vremena.

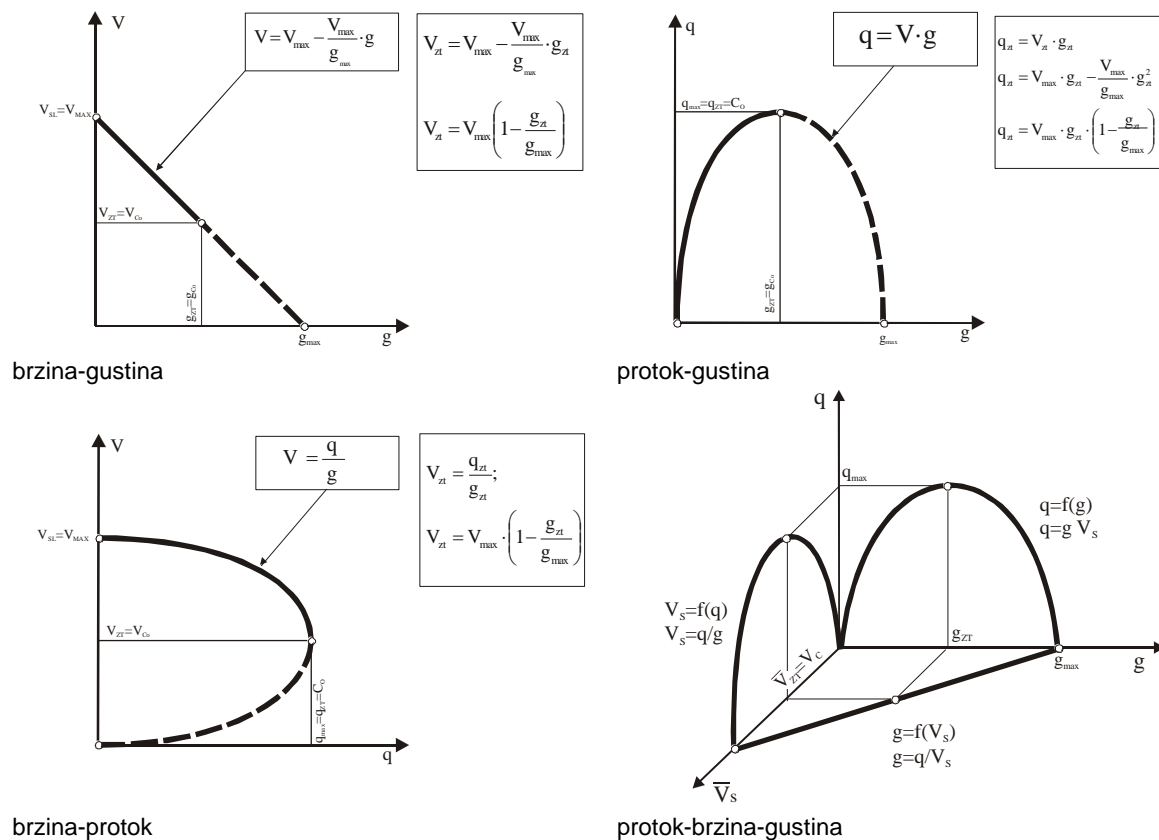
Fundamentalnu relaciju između ova tri osnovna parametara saobraćajnog toka (relacija protok-brzina-gustina) ustanovio je Bob Greenshields prvom polovinom dvadesetog veka (*Greenshields, Bibbins, Channing, & Miller, 1935*)

$$q = v \cdot g \tag{2.1}$$

gde je:

- q - protok vozila,
- v - brzina saobraćajnog toka,
- g - gustina saobraćajnog toka.

Funkcionalne međuzavisnosti parova navedenih parametara saobraćajnog toka (protok, brzina, gustina) u apstraktno zamišljenim teorijski idealnim uslovima prikazani u formi dijagrama imaju oblik kao što je prikazano na sledećoj slici.


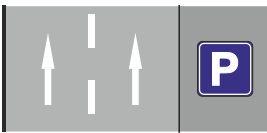



Slika 2.1 Dijagrami međuzavisnosti protoka, brzine i gustine toka u teorijski idealnim uslovima (*Kuzović & Bogdanović, 2010*)

Kada je vozilima koji se kreću u jednom smeru na raspolaganju više saobraćajnih traka, upotreba tih traka varira. Zbog faktora kao što su saobraćajni propisi, struktura

toka, brzina i veličina toka, gustina raskrsnica, izvor i cilj vožnje, razvijenosti okoline i navike vozača, ne postoji tipična iskorišćenost saobraćajnih traka. Važeći podaci ukazuju da ne postoji konzistentnost u korišćenju traka na saobraćajnicama. Prema raspoloživim podacima (*Fakultet tehničkih nauka, 2006*) na raspodelu tokova po trakama značajno utiče prisustvo uličnog parkiranja i nepropisno parkiranih vozila (paralelno parkiranje). U okviru Studije mirujućeg saobraćaja u Novom Sadu utvrđeno je da na saobraćajnicama sa po tri saobraćajne trake po smeru, iskorišćenje krajnje desne trake, odnosno one koja se nalazi do parkirališta iznosi manje od 9,0%. U cilju utvrđivanja načina raspodele protoka po saobraćajnim trakama izvršena je analiza podataka sa automatskih brojača na nekoliko pozicija u Novom Sadu. Analizirana su tri tipa saobraćajnice: saobraćajnice sa po dve trake po smeru bez parkinga, saobraćajnice sa dve trake po smeru sa parkingom i saobraćajnica sa tri trake po smeru sa parkingom. Na osnovu podataka sa automatskih brojača utvrđeno je da na putevima sa dve trake po smeru bez uličnog parkiranja raspodela protoka okvirno iznosi 50-55% za preticajnu traku i 45-50% za voznu traku. Na saobraćajnicama sa dve trake po smeru i parkingom raspodela protoka okvirno iznosi 70-75% za preticajnu traku i 25-30% za voznu traku. Na saobraćajnicama sa tri trake po smeru i parkingom raspodela protoka okvirno iznosi 40-45% za preticajnu traku, 45-50% za srednju traku i 5-15% za voznu traku. U narednoj tabeli prikazana je procentualna podela protoka za svaku analiziranu lokaciju.

Tabela 2.1 Procentualna raspodela protoka po trakama za različite tipove saobraćajnica

Oznaka automatskog brojača saobraćaja							
	preticajna traka	vozna traka	preticajna traka	vozna traka	preticajna traka	srednja traka	vozna traka
01NSaVojvode Stepe	55,7%	44,3%	-	-	-	-	-
06NSaVeterinik M-7	50,4%	49,6%	-	-	-	-	-
06NSbVeterinik M-7	50,0%	50,0%	-	-	-	-	-
24NSa Cara Dusana	-	-	69,6%	30,4%	-	-	-
24NSb Cara Dusana	-	-	75,7%	24,3%	-	-	-
15NSaPS Vojvodjanska	-	-	-	-	43,5%	46,2%	10,3%
15NSbPS Vojvodjanska	-	-	-	-	39,7%	47,7%	12,6%
23NSa Bul. cara Lazara	-	-	-	-	45,1%	50,4%	4,6%
23NSb Bul. cara Lazara	-	-	-	-	42,0%	54,0%	4,0%

2.2. Opšte karakteristike pešačkih tokova

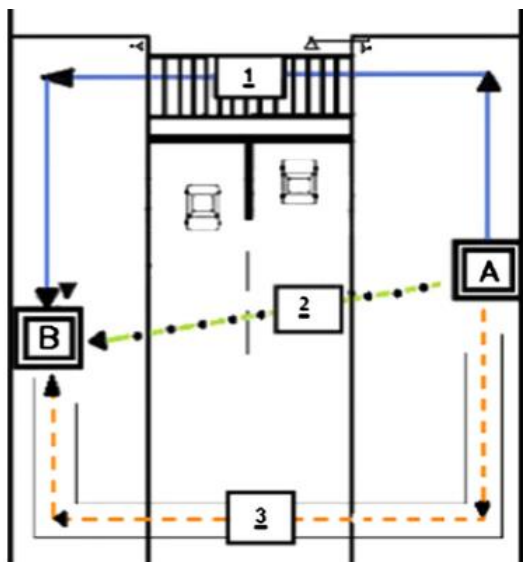
Pešačenje predstavlja vid kretanja koji je prihvatljiv većini korisnika, odnosno učesnika u saobraćaju. Skoro svako putovanje započinje i završava se pešačenjem. Zbog karakteristika kretanja i izloženosti motornim vozilima na mestima presecanja tokova, pešaci spadaju u grupu ranjivih učesnika u saobraćaju. Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije, svake godine, na globalnom nivou, preko 270.000 pešaka smrtno stradaju kao učesnici u saobraćaju. Čak 22,0% svih smrtnih slučajeva u drumskom saobraćaju čine pešaci, a u nekim zemljama ovaj procenat iznosi čak dve

trećine od ukupnog broja (*World Health Organization, 2013*). Prema istom izvoru oko 70,0% svih povreda pešaka u EU i oko 76,0% povreda pešaka u Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) nastaju u urbanim sredinama, najčešće prilikom prelaska pešaka preko kolovoza. Ova činjenica takođe predstavlja jedan od razloga koji ukazuju na značaj istraživanja uslova odvijanja saobraćaja na mestima ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova.

Na odvijanje pešačkog saobraćaja i ponašanje pešaka utiče veliki broj faktora. Faktori koji u najvećoj meri utiču na kretanje pešaka i kvalitet pešačkog saobraćaja u urbanim sredinama su komfor, praktičnost, bezbednost, sigurnost i ekonomičnost (*Mitrović Simić, 2015*). Pod faktorom komfora podrazumeva se zaštita od nepogodnih vremenskih uslova, udaljenost pešačkih tokova od motornog saobraćaja i njegov obim, kapacitet pešačkih staza i raspoloživost posebnih pogodnosti za odvijanje pešačkog saobraćaja. Faktor praktičnosti u najvećoj meri vezuje se za geometrijske karakteristike saobraćajnica i obuhvata direktnu povezanost pešačkih staza, nagib terena, postojanje pristupnih rampi za pešake, vremenske gubitke koji nastaju na pešačkim prelazima, pešačka rastojanja, postojanje signalizacije za vođenje pešačkih tokova itd. Faktor bezbednosti i opšte sigurnosti obuhvata postojanje svih mera koje doprinose smanjenju mogućnosti nastanka konflikta između pešačkih tokova i tokova motornih vozila (pothodnici, pasarele, pešačke zone, preglednost i sl.). Takođe, adekvatno osvetljenje navodi se kao jedan od značajnih faktora opšte sigurnosti pešaka prilikom prelaska kolovoza (*Pawar & Patil, 2015*).

Pregledom raspoložive literature utvrđeno je da ponašanje pešaka može da zavisi i od drugih faktora, socioekonomskih (npr. godine starosti i pol) i subjektivnih faktora (percepcija i lični stavovi pešaka). Prema određenim autorima (*Barton, Kologi, & Siron, 2016*) ponašanje pešaka može biti nepredvidivo u toj meri da njihovi postupci zavise od mišljenja ljudi u njihovoj sredini, odnosno karakteristike ponašanja pešaka mogu biti zasnovane na teoriji planiranog ponašanja (*eng. Theory of Planned Behavior – TPB*). Prema ovoj teoriji, ako osobe koji su na neki način povezane sa određenim pešakom smatraju da prelazak preko pešačkog prelaza uz istovremeno telefoniranje nije pogrešno, velika je verovatnoća da će taj isti pešak tu radnju prihvatiti kao ispravnu, bez obzira na to da li je takav postupak zabranjen ili ne.

Istraživanjem sprovedenim u Bogoti (*Cantillo et al., 2015*) ispitano je ponašanje pešaka u smislu izbora načina prelaska preko kolovoza prema tri ponuđena scenarija: prelazak preko signalisanog pešačkog prelaza (scenario 1), direktan prelazak preko kolovoza (scenario 2) i upotreba denivelisanog prelaza – pasarele (scenario 3). Kao atributi na kojima je zasnovano vrednovanje izbora scenarija usvojeni su: vremenski gubici pešaka koji nastaju tokom prelaska ulice, prisustvo lica (deteta) kojem je posmatrani pešak pratilac, veličina protoka vozila, dodatno pešačenje do signalisanog pešačkog prelaza i dodatno pešačenje do denivelisanog pešačkog prelaza. Istraživanje je pokazalo da se pešaci koji se kreću u prisustvu drugog lica (deteta) radije odlučuju za bezbedniji tip prelaska (signalisan pešački prelaz ili pasarela) nego za, u ovom slučaju, manje atraktivan scenario direktnog prelaska kolovoza. Vremenski gubici takođe utiču na izbor nekog od navedenih scenarija.



Slika 2.2 Alternativni scenariji prelaska preko kolovoza (Cantillo et al., 2015)

Prema (Cantillo et al., 2015) pešaci su više skloni direktnom prelasku koji uključuje kraće pešačenje, odnosno manje vremenske gubitke. Međutim, porastom veličine saobraćajnog toka smanjuje se broj prihvatljivih intervala sleđenja u saobraćajnom toku koji omogućava neometan prelazak pešaka, što dovodi do povećanja vremena čekanja pešaka na mestu direktnog prelaska, pa se u tom slučaju pešaci odlučuju za bezbedniju varijantu prelaska (scenario 1 ili 3).

Takođe, na osnovu sprovedene analize zaključeno je da povećanjem udaljenosti mesta prelaska preko signalisanog ili denivelisanog prelaza opada verovatnoća da će pešaci izabrati bezbedniju varijantu – scenario. Smanjenje verovatnoće izbora bezbednijeg scenarija izraženije je kod izbora prelaska preko denivelisanog prelaza što se može objasniti time da u ovom slučaju postoji dodatni napor zbog potrebe penjanja stepenicama.

Kao i svi drugi vidovi prevoza, pešačenje ima svoje prednosti i nedostatke. Jedna od prednosti pešačkog saobraćaja je kretanje pri velikim gustinama i zauzimanje male površine za kretanje, a s obzirom na to da se kreću malim brzinama imaju mogućnost za velike manevarske sposobnosti. Pešačka infrastruktura je konstruktivno jednostavnija i jeftinija u odnosu na ostale vidove prevoza. Pored toga, objekat i sredstvo transporta su jedna celina, pa u slučaju pešaka ne postoji potreba za dodatnom infrastrukturom (parkirališta, garaža itd.). Pešačenje je najprirodniji način kretanja, kao način prevoza je dostupno gotovo svim stanovnicima, a za njegovo realizovanje nisu potrebna posebna predznanja. Posmatrano sa aspekta regulisanja saobraćaja, regulacija pešačkih tokova zahteva jednostavna tehnička rešenja. Sa ekološkog stanovišta pešačenje kao vid prevoza je najprihvatljivije rešenje jer emisija polutanata praktično ne postoji, a nivo buke koji stvaraju pešaci je zanemarljivo mali u odnosu na motorna vozila. Osnovni nedostatak pešačkog saobraćaja su ograničena mogućnost savlađivanja prostora i relativno mala brzina, izloženost drugim vidovima saobraćaja i ranjivost pešaka kao učesnika u saobraćaju.

2.2.1. Osnovni parametri pešačkih tokova

U osnovne parametre pešačkih tokova spadaju:

- Protok pešaka;
- Gustina pešaka;
- Brzina pešaka;

- Pešački prostor;
- Plotun.

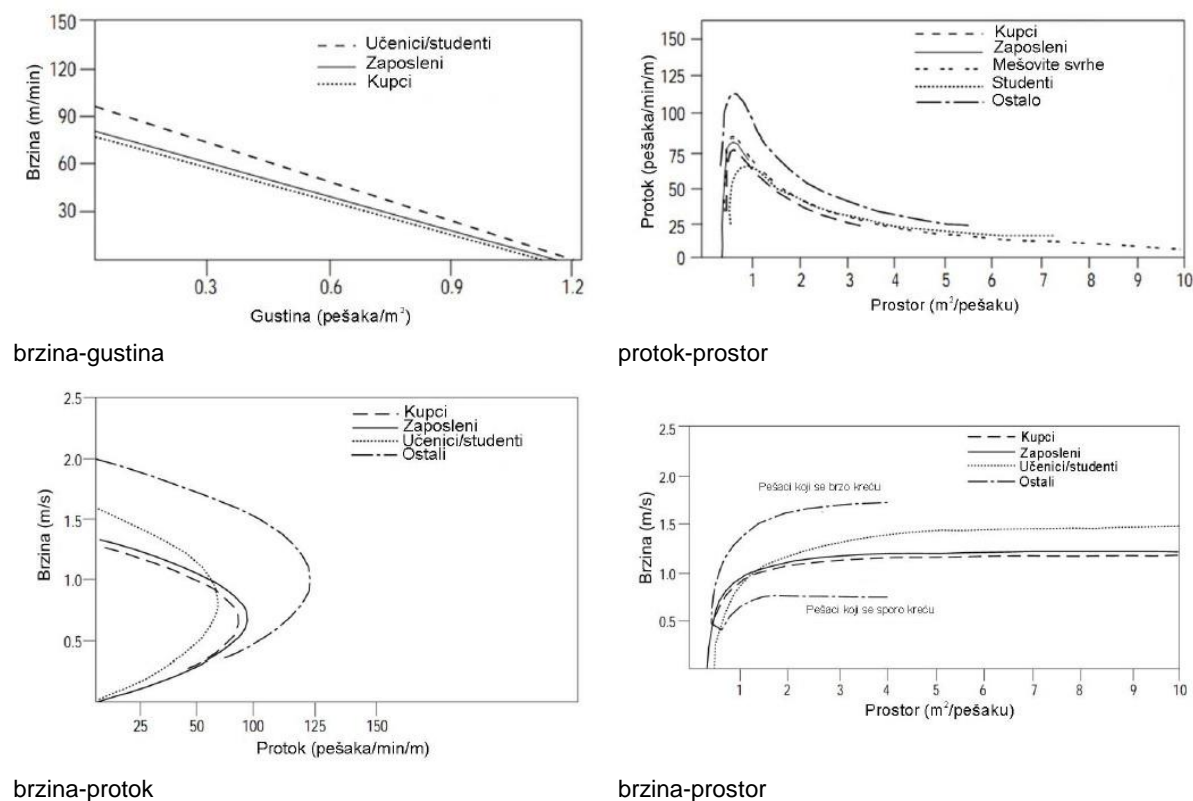
Protok pešaka (q_{ped}) predstavlja broj pešaka koji prođu kroz zamišljeni poprečni presek u jedinici vremena. Osnovna jedinica kojom se izražava protok pešaka je broj pešaka na čas (ped/h) ili broj pešaka na 15 minuta (ped/15min). U izuzetnim situacijama, za potrebe teorijskih analiza, protok pešaka je moguće analizirati i po manjim petominutnim intervalima. Protok pešaka može biti izražen i po jedinici širine prolaza i predstavlja prosečan broj pešaka po jedinici efektivne širine prolaza, a izražava se kao broj pešaka u minutu po metru širine (ped/min/m). Gustina pešaka predstavlja prosečan broj pešaka po jedinici površine namenjene za kretanje pešaka, odnosno kvadratnom metru (ped/m²).

Brzina kretanja pešaka zavisi od karakteristika pešaka u toku i objekta po kom se kreću pešaci. Prema (*FHA, 2012*) usvojena brzina pešaka za proračun zaštitnog vremena na signalisanim pešačkim prelazima iznosi 0,92 m/s (3,03 ft/s) za starije pešake, odnosno 1,15 m/s (3,77 ft/s) za mlađe pešake. Prema određenim autorima prilikom usvajanja brzine pešaka u obzir treba uzeti starosnu strukturu pešačkog toka. Ukoliko je u pešačkom toku učešće starih osoba manje od 20,0% usvojena brzina treba da iznosi 1,0 m/s, a u suprotnom treba koristiti brzinu 0,90 m/s. Za analizu tokova na trotoarima i šetalištima prihvatljiva brzina kretanja pešaka iznosi 1,50 m/s (*Rouphail, Hummer, Milazzo, & Allen, 1998*). Određena istraživanja su pokazala da brzina prelaska pešaka preko kolovoza zavisi od toga da li pešak prelazi sam ili prelazi u grupi (*Dipietro & King, 1970; Lobjois, Benguigui, & Cavallo, 2013*). Istraživanje sprovedeno u Novom Sadu na nesignalisanom pešačkom prelazu (*Mitrović Simić, Bogdanović, Basarić, & Saulić, 2017*) pokazalo je da prosečna brzina pešaka koji samostalno prelazi kolovoz iznosi 1,48 m/s dok je za grupu pešaka srednja brzina jednaka 1,34 m/s. Istim istraživanjem utvrđeno je da srednja brzina kretanja žena iznosi 1,40 m/s dok se muškarci kreću prosečnom brzinom 1,50 m/s. Takođe, prema istom izvoru, srednja vrednost brzine pešaka utvrđena na nivou svih pešaka u analiziranom toku iznosi 1,45 m/s.

U zavisnosti od tipa regulacije pešačkog prelaza razlikuje se tip prelaska pešaka preko kolovoza. Na nesignalisanim pešačkim prelazima prelazak pešaka je uslovljen veličinom vozačkog toka, odnosno pojavom prihvatljivih intervala sleđenja. U tom slučaju pešaci preko kolovoza prelaze po sličnoj raspodeli po kojoj i dolaze do pešačkog prelaza. Ovo je pogotovo izraženo ukoliko su vozački tokovi malog intenziteta. Kod pešačkih prelaza koji su regulisani semaforima pešaci u akumulacionu zonu dolaze po jednoj raspodeli a prelazak je uslovljen pojavom zelenog svetla, kada se najčešće javljaju plotunski prelasci. Plotun predstavlja određen broj pešaka koji se kreću u grupi, približno jednakom brzinom, sve do trenutka kada se ne stvore uslovi za razilaženje grupe.

Međuzavisnosti protoka, gustine i brzine pešačkog toka principijelno su iste onim koje se ostvaruju kod vozačkih tokova. Protok pešaka jednak je proizvodu brzine i gustine pešaka. Na sledećoj slici prikazani su dijagrami međuzavisnosti protoka, gustine i brzine pešačkog toka. Od strane nekoliko autora, kao još jedan koristan parametar,

uvršena je promenljiva „pešački prostor“ koja predstavlja recipročnu vrednost gustine (m^2/ped).



Slika 2.3 Dijagrami međuzavisnosti osnovnih parametara pešačkih tokova (Pushkarev & Zupan, 1975)

2.3. Interakcija između pešačkih i vozačkih tokova na pešačkom prelazu

Prema određenim autorima, nastanak konflikta između pešaka i vozila zavisi od različitih faktora, a oni sa najvećim uticajem su visok protok vozila, brzina vozila, plotunski dolazak vozila, broj pešaka, vreme čekanja pešaka, veličina grada, tip pešačkog prelaza, geometrijske karakteristike pešačkog prelaza (Almodfer, Xiong, Fang, Kong, & Zheng, 2016). Jedan od modela kojim je moguće opisati interakciju između pešaka i vozačkih tokova na pešačkom prelazu zasnovan je na ponašanju vozača, odnosno na izbegavanju neželjenih ili potencijalno neprihvatljivih događaja (radnji) koje nastaju tokom vožnje (Fuller, 1984). Prema ovom pristupu, pojava pešaka na nesignalisanom (zebra) pešačkom prelazu predstavlja nepoželjan događaj za vozača koji u tom slučaju može da prihvati taj događaj ili da pokuša da ga izbegne. Prihvatanje „nepovoljnog“ slučaja značilo bi smanjenje brzine kretanja vozila i propuštanje pešaka, što sa druge strane dovodi do nastanka vremenskih gubitaka u vozačkom toku. U drugom scenariju vozač može da teži ka tome da izbegne „nepovoljan“ slučaj. Tada vozač nastavlja svoje kretanje istom brzinom čime signalizira pešaku da nema nameru da ga propusti i u tom slučaju moguće su dve varijante daljih

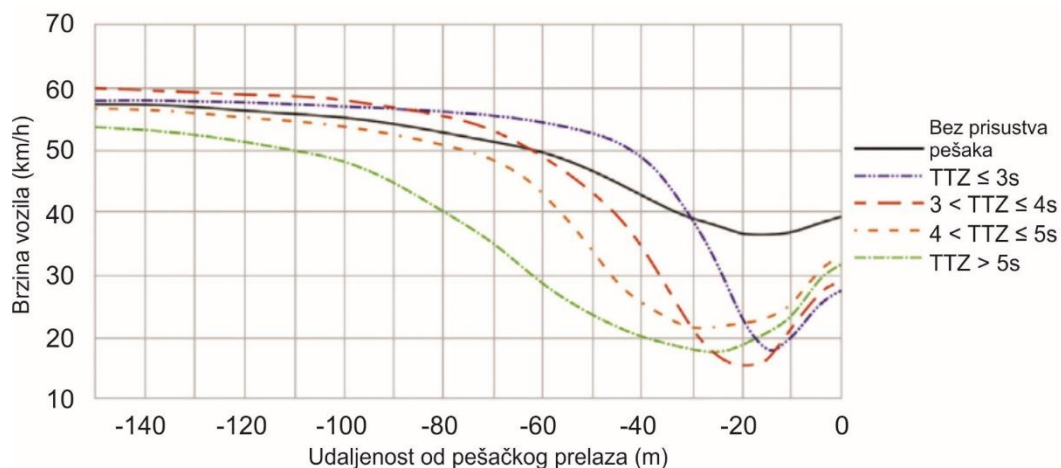
događaja: a) pešak može da se zaustavi i propusti vozilo; b) pešak može da nastavi svoje kretanje što prouzrokuje forsirano zaustavljanje vozila i nastanak konfliktne situacije. Pored toga, ovaj model uzima u obzir i treći scenario, a to je mogućnost nastanka događaja u kom vozač može da ne uoči pešaka. Tada su moguće dve varijante, a to je: a) propuštanje vozila od strane pešaka; b) nepropuštanje vozila od strane pešaka, što najčešće dovodi do incidentne situacije.

Interakcija pešak-vozilo analizirana je kasnije od strane drugih autora i na osnovu različitih relevantnih parametara. Karakteristike vozača i njihova sklonost za propuštanjem pešaka, karakteristike pešaka i njihova procena bezbednog prelaska preko kolovoza, kao i kinematske karakteristike vozačkih tokova navode se kao glavni parametri koji figurišu u definisanju interakcije između pešaka i vozila. U istraživanju ([Várhelyi, 1998](#)) kinematski parametri vozila u toku (brzina vozila, udaljenost od konfliktne zone, prihvatljivo usporenje/ubrzanje) navode se kao ključni za definisanje interakcije pešak-vozilo jer oni direktno utiču na vreme dolaska vozila do pešačkog prelaza, a dalje i na odluku pešaka o izvršenju prelaska preko kolovoza. Prema ovom autoru, vreme dolaska do pešačkog prelaza (*Time to Zebra Arrive – TTZ*) je definisano kao preostalo vreme potrebno za dolazak nailazećeg vozila do pešačkog prelaza mereno od trenutka kada pešak dođe neposredno ispred pešačkog prelaza. Ovo vreme izračunava se kao odnos udaljenosti vozila od pešačkog prelaza u trenutku dolaska pešaka neposredno ispred pešačkog prelaza i trenutne brzine vozila. Istraživanjem koje je obuhvatilo analizu ponašanja vozača u različitim trenucima TTZ definisana su tri karakteristična obrasca ponašanja vozača koja su u direktnoj vezi sa vremenom dolaska vozila do pešačkog prelaza:

- $TTZ < 1$ s: profil brzine vozila u situaciji kada se ispred pešačkog prelaza nalazi pešak se ne razlikuje značajno od slučaja kada na pešačkom prelazu nema pešaka. Ovo ponašanje se objašnjava činjenicom da vozači i pešaci ovo vreme dolaska vozila do pešačkog prelaza prepoznaju kao nedovoljno za zaustavljanje u slučaju nastanka potencijalnog konflikta, pa u tom slučaju pešaci propuštaju vozila koja prolaze preko pešačkog prelaza bez potrebe za značajnim smanjenjem brzine.
- $1 \text{ s} \leq TTZ \leq 4 \text{ s}$: brzine vozila u situaciji kada se ispred pešačkog prelaza nalazi pešak značajno su veće od slučaja kada na pešačkom prelazu nisu prisutni pešaci. Ovo ponašanje obrazloženo je činjenicom da ove vrednosti TTZ vozači prepoznaju kao dovoljne za nastanak potencijalnog konflikta ukoliko pešak koji čeka započne svoj prelazak. U ovom slučaju vozila ubrzavaju, povećavaju brzinu kretanja kako bi do pešačkog prelaza stigli pre pešaka, a sa druge strane svojim ponašanjem pešacima daju informaciju o nameri prolaska preko pešačkog prelaza bez ustupanja prvenstva prolaza.
- $TTZ > 4$ s: brzine vozila u situaciji kada se ispred pešačkog prelaza nalazi pešak značajno su manje od slučaja kada na pešačkom prelazu nisu prisutni pešaci. Vrednosti dolaska vozila do pešačkog prelaza koje su veće od 4 s omogućuju pešacima komforan prelazak preko pešačkog prelaza. Sa druge strane vrednost TTZ preko 4 s vozači prepoznaju kao nedovoljnu za dolazak do

pešačkog prelaza pre pešaka te iz tog razloga smanjuju brzinu svog kretanja, odnosno prilagođavaju je tako da omoguće prelazak pešaka preko pešačkog prelaza.

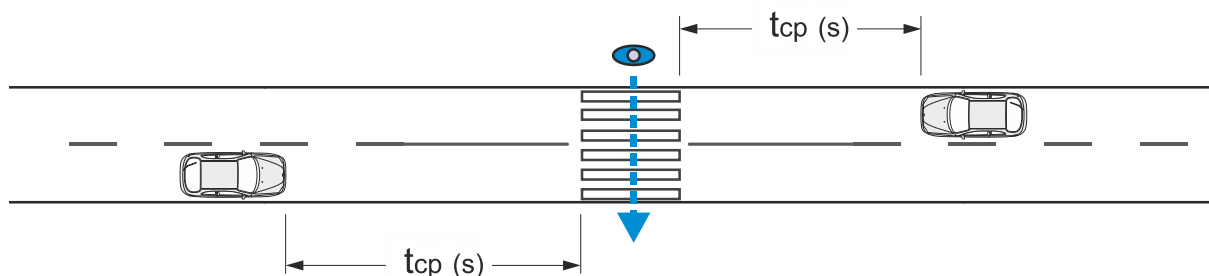
Jedno od novijih istraživanja (*Bella & Silvestri, 2015*) vezano za uticaj nesignalisanih pešačkih prelaza na brzinu vozačkog toka zasnovano na prethodno opisanom biheviorističkom principu pokazalo je slične rezultate. Na sledećoj slici prikazani su profili brzina vozila na prilazu nesignalisanom pešačkom prelazu za različite vrednosti TTZ i slučaj bez prisustva pešaka.



Slika 2.4 Profili brzina vozila u zavisnosti od vremena dolaska vozila do pešačkog prelaza (*Bella & Silvestri, 2015*)

2.3.1. Prihvatljivi interval sleđenja

Prihvatljivi interval sleđenja ili kritični interval sleđenja (t_{cp}) sa aspekta pešaka predstavlja minimalno vremensko rastojanje između pešaka odnosno pešačkog prelaza i nailazećeg vozila koje omogućava bezbedan prelazak pešaka preko kolovoza.



Slika 2.5 Prihvatljivi interval sleđenja

Da li je određeno vremensko rastojanje između vozila i pešaka dovoljno za bezbedan prelazak predstavlja subjektivnu procenu pešaka. Ukoliko pešak proceni da je raspoloživi interval sleđenja veći od prihvatljivog intervala sleđenja on će izvršiti prelazak preko kolovoza, u suprotnom, ako je procena pešaka ta da je raspoloživi interval sleđenja manji od prihvatljivog pešak će čekati na prelazak sve do ponovne

pojave intervala sleđenja dovoljnog za izvršenje prelaska (*Transportation research board, 2016a*). Veličina prihvatljivog intervala sleđenja prvenstveno zavisi od procene pešaka i mogućnosti njegovog kretanja koje je uslovljeno brzinom kretanja pešaka i rastojanjem koje je potrebno da pređe. Prema HCM 2016 prihvatljivi interval sleđenja moguće je proračunati na osnovu sledeće relacije:

$$t_{cp} = \frac{L}{S_p} + t_s \quad (2.2)$$

gde je:

- t_{cp} - prihvatljivi interval sleđenja za jednog pešaka (s),
- L - dužina pešačkog prelaza (širina kolovoza) (ft),
- S_p - srednja vrednost brzine pešaka (ft/s),
- t_s - vreme izgubljeno na startu i završetku prelaska preko kolovoza (s)

Prema HCM 2016 preporučena srednja vrednost brzine pešaka iznosi 3,5 ft/s što je približno 1,1 m/s, dok za vreme izgubljeno na startu i završetku prelaska preko kolovoza preporučena vrednost iznosi 3,0 s (*Transportation research board, 2016a*). U skladu sa preporukama HCM 2016, prihvatljivi interval sleđenja za prelazak kolovoza širine 6,0 m iznosio bi 8,5 s.

S obzirom na to da prelazak pešaka preko kolovoza nije isključivo vezan za prelazak samo jednog pešaka nego je moguća i pojava prelaska grupe pešaka, u tom slučaju prihvatljivi interval sleđenja mora biti uvećan odnosno prilagođen grupi pešaka na sledeći način:

$$t_{cp,G} = t_{cp} + 2 (N_p - 1) \quad (2.3)$$

gde je:

- $t_{cp,G}$ - prihvatljivi interval sleđenja za grupu pešaka (s),
- N_p - prostorni raspored pešaka (ped),

Prostorni raspored pešaka predstavlja broj redova pešaka koji čekaju na prelazak. Ukoliko pešački prelaz ima dovoljnu širinu koja omogućava kretanje pešaka paralelno jedan pored drugog, bez potrebe da se kreću u redu drugi iza prvog, ili ukoliko ne postoji formiranje grupe pešaka, vrednost prostornog rasporeda iznosi 1. Veličinu prostornog rasporeda pešaka moguće je izračunati na osnovu sledeće matematičke relacije (*Transportation research board, 2016a*):

$$N_p = \text{int} \left[\frac{8,0 (N_c - 1)}{W_c} \right] + 1 \quad (2.4)$$

gde je:

- N_c - ukupan broj pešaka u grupi - plotunu (ped),
- W_c - širina pešačkog prelaza (ft),
- int - matematička oznaka za ceo broj (*eng. Integer*). Rezultat dobijen relacijom u zagradi matematički se zaokružuje na manju ili veću vrednost.

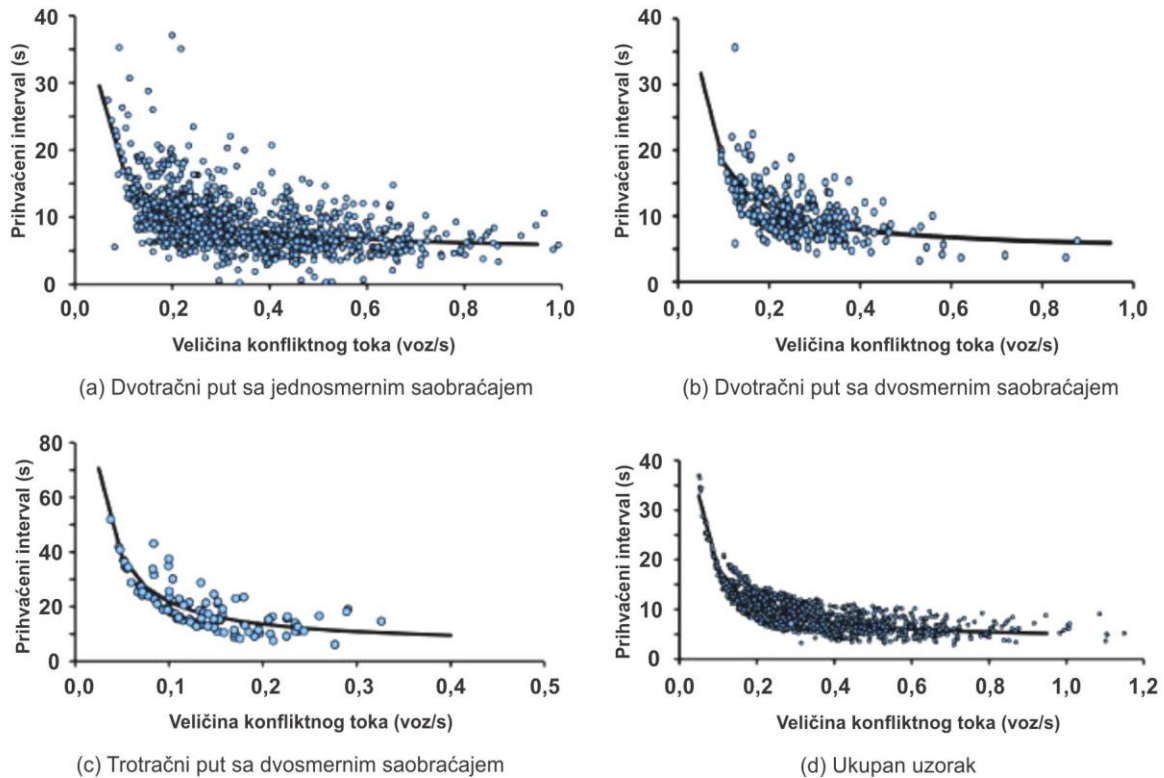
Prihvatljivi interval sleđenja u velikoj meri može da zavisi i od navika i ponašanja pešaka i vozača kao i od zakonske regulative određene zemlje. Značaj ovog parametra ogleda se u tome što se na osnovu njegove vrednosti može delom opisati interakcija između pešaka i vozila, dok sa druge strane ovaj parametar direktno utiče na nastanak i veličinu vremenskih gubitaka pešačkih tokova (*Transportation research board, 2016a*).

U dosadašnjim istraživanja utvrđene su različite zavisnosti veličine prihvatljivog intervala sleđenja sa raznim drugim parametrima pešačkog ili vozačkog toka. Jednim od ranijih istraživanja iz ove oblasti (*Moore, 1953*) utvrđeno je da se prihvatljivi intervali sleđenja kreću u granicama od 3,0 s do 7,0 s. Pored toga utvrđena je međusobna zavisnost između brzine kretanja pešaka i vrednosti prihvatljivog intervala sleđenja po kojoj se prelasci sa manjim prihvaćenim intervalom sleđenja po pravilu odvijaju sa većom brzinom pešaka. Istraživanje (*Cohen, Dearnaley, & Hansel, 1955*) pokazalo je da za 92,0% pešaka prihvatljivi interval sleđenja iznosi 7,0 s. Sa druge strane, u istraživanju koje je sprovedeno na nekoliko izdvojenih pešačkih prelaza u Iraku u gradu Dohuk, utvrđeno je da oko 50,0% pešaka prihvata interval sleđenja koji je veći od 3,5 s (*AMAL-Taei, 2016*). Rezultati istraživanja (*Harrell, 1991*) pokazali su da na odluku pešaka o prihvatanju kritičnog intervala sleđenja utiču direktni faktori kao što je veličina saobraćajnog toka i indirektni faktori kao što su doba dana i vremenski uslovi.

Istraživanje sprovedeno u Grčkoj u Atini (*Yannis, Eleonora, & Athanasios, 2010*) obuhvatilo je ispitivanje uticaja različitih parametara na prihvatljivi interval sleđenja prilikom prelaska pešaka na izdvojenom pešačkom prelazu i u skladu sa tim definisanje modela za njegovo izračunavanje. Rezultati istraživanja su pokazali da na odluku o izvršenju prelaska peška u većoj meri utiče udaljenost vozila od pešačkog prelaza nego brzina kojom se to vozilo kreće. Pored dva navedena parametra (brzina i rastojanje vozila) analiziran je još i uticaj nepropisno parkiranih vozila na kolovozu i tipa vozila na prihvatljivi interval sleđenja odnosno odluku o izvršenju prelaska. Utvrđeno je da je prihvatljivi interval sleđenja generalno teži manjim vrednostima u slučaju ako je vozilo koje nailazi manjih dimenzija (motocikl ili automobil) za razliku od slučaja kada pešačkom prelazu prilazi vozilo većih dimenzija (kamion ili autobus). Takođe, prema ovim autorima, ukoliko na kolovozu postoje nepropisno parkirana vozila ona će imati uticaj na povećanje prihvatljivog intervala sleđenja, što odgovara zaključcima i drugih autora (*Hine & Russell, 1993*).

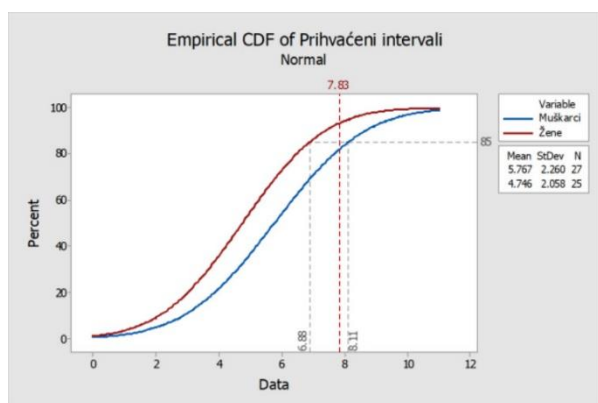
(*Chandra, Rastogi, & Das, 2014*) vršili su istraživanje u kom je analizirana povezanost prihvatljivog intervala sleđenja se tipom saobraćajnice i veličinom konfliktnog toka. Istraživanjem su obuhvaćena tri karakteristična putna profila i to: put sa dve saobraćajne trake i jednosmernim saobraćajem, put sa dve saobraćajne trake i dvosmernim saobraćajem i put sa tri saobraćajne trake i dvosmernim saobraćajem. Rezultati istraživanja pokazali su da postoji značajna statistička povezanost između veličine konfliktnog toka i vrednosti prihvaćenog intervala, ali i da se ove veze statistički značajno razlikuju u zavisnosti od tipa saobraćajnice. Kao veličina konfliktnog toka definisan je broj vozila u toku kog presecaju pešaci prilikom prelaska kolovoza, izražen

u voz/s. Na narednoj slici dati su grafikoni na kojim su prikazane krive koje opisuju zavisnost veličine prihvaćenog kritičnog intervala sleđenja od veličine konfliktnog toka.

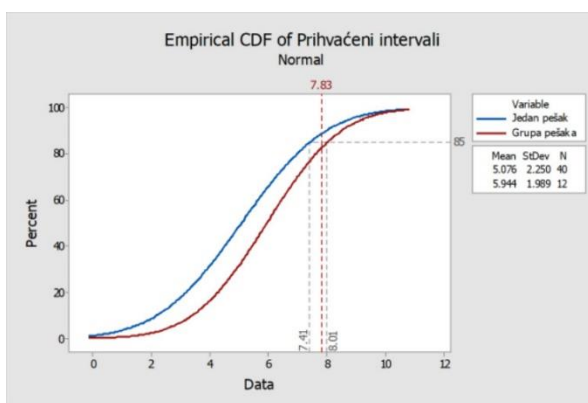


Slika 2.6 Vrednosti prihvatljivog intervala sleđenja u odnosu na veličinu konfliktnog toka (Chandra et al., 2014)

Istraživanjem sprovedenim u Srbiji, na izdvojenom pešačkom prelazu u Novom Sadu (Mitrović Simić et al., 2017) analizirani su prihvaćeni i odbijeni intervali za prelazak pešaka preko kolovoza. Rezultati ovog istraživanja pokazali su da 85% vrednosti prihvaćenih intervala iznosi 7,83 s, kao i da su prihvaćeni intervali saglasni sa normalnom raspodelom ($p=0,509$). Posmatrajući odbijene intervale utvrđeno je da je 85% vrednost odbijenih intervala 4,12 s, kao i da se odbijeni intervali ponašaju po lognormalnoj raspodeli ($p=0,070$). Pored toga izvršena je i raspodela prihvaćenih intervala prema polu pešaka, a analizom je utvrđeno je da pešaci ženskog pola prihvataju kraće intervale za prelazak preko kolovoza u odnosu na pešake muškog pola.



Slika 2.7 Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na pol pešaka (Mitrović Simić et al., 2017)



Slika 2.8 Kumulativna raspodela prihvaćenih intervala u odnosu na broj pešaka (Mitrović Simić et al., 2017)

Pregledom literature utvrđeno je da postoji razlika u ponašanju pešaka koji se kreću pojedinačno i pešaka koji se kreću u grupi. Rezultati istraživanja sprovedenih u zemljama Azije (Pawar & Patil, 2015; Wang, Wu, Zheng, & McDonald, 2010) pokazali su da pešaci koji se kreću u grupi prihvataju kraće intervale sleđenja za razliku od pešaka koji se kreću pojedinačno. Sa druge strane, na osnovu istraživanja koja su sprovedena u Evropskim zemljama (Mitrović Simić et al., 2017; Yanniss et al., 2010) dobijeni su potpuno suprotni rezultati, odnosno da pešaci koji prelaze pojedinačno prihvataju manje intervale sleđenja u odnosu na pešake koji prelaze u grupi (Slika 2.8). Neka od sprovedenih istraživanja pokazala su da starost pešaka takođe utiče na prihvaćen interval sleđenja, te da mlađe osobe prihvataju vrednost kritičnog intervala sleđenja koji je u istoj situaciji odbijen od strane starijih pešaka (Das, Manski, & Manuszak, 2005; Dommès, Cavallo, Dubuisson, Tournier, & Vienne, 2014; Oxley, Fildes, Ihsen, Charlton, & Day, 1997). Jedan od razloga kojim se može objasniti ova činjenica je da stariji pešaci imaju poteškoće prilikom opažanja vozila koja dolaze iz različitih smerova, što je pogotovo izraženo u uslovima sa intenzivnim saobraćajnim tokovima (Carthy, Packham, Salet, & Silock, 1995).

Tabela 2.2 Vrednosti prihvatljivih intervala sleđenja prema različitim autorima

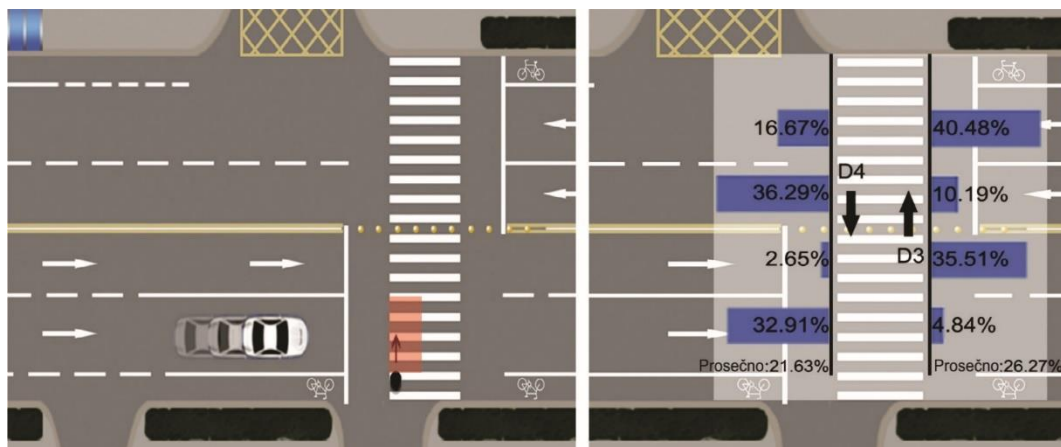
Država	Vrednost t_{cp} (s)	Izvor
Velika Britanija	3,00 – 7,00	(Moore, 1953)
Velika Britanija	7,00	(Cohen et al., 1955)
SAD	3,00 – 10,00	(Dipietro & King, 1970)
SAD	3,33 – 7,14	(Palamarthy, Mahmassan, & Machemehl, 1994)
Kina	5,79	(Zhao & Wu, 2004)
Indija	8,00	(Das et al., 2005)
SAD	5,30 – 9,40	(Brewer, Fitzpatrick, Whitacre, & Lord, 2006)
Grčka	6,00	(Yanniss et al., 2010)
Indija	8,54 – 10,25	(Chandra et al., 2014)
Malezija	3,50 – 8,00	(Siti Naquiyah et al., 2017)
Srbija	4,12 – 7,56	(Mitrović Simić et al., 2017)

Pored prihvatljivog intervala sleđenja, u stručnoj literaturi definisani su različiti parametri kojima je moguće opisati interakciju između pešaka i vozila. Jedan od parametara kojim je moguće opisati interakciju pešaka i vozila kroz brzine kretanja je prekonfliktno vreme (*eng. time to collision - TTC*) koje predstavlja procenjeno vreme do nastanka konflikta vozila i pešaka pod uslovom da se oni kreću konstantnom brzinom i ne menjaju putanju (*Archer, 2005*). Pored pomenutog prekonfliktnog vremena – TTC u analizama interakcije pešaka i vozila koristi se pojam postkonfliktnog vremena (*eng. post-encroachment time - PET*). Prema osnovnoj definiciji PET je vreme koje protekne od trenutka kada pešak napusti potencijalno konfliktnu zonu, u ovom slučaju pešački prelaz, pa do trenutka kada vozilo pristigne u potencijalno konfliktnu zonu (*Almodfer et al., 2016*). Oba navedena parametra (TTC i PET) opisuju konflikt između vozila i pešaka na pešačkom prelazu pri čemu je mnogo jednostavnije odrediti postkonfliktno vreme - PET koje ne uzima u obzir brzinu vozila i pešaka i njihovu udaljenost od konfliktne tačke (*Archer, 2005*). U slučaju kada pešački prelaz preseca više saobraćajnih traka konfliktna zona predstavlja prostorno promenljiv faktor što značajno otežava opisivanje interakcije između vozila i pešaka, pa se u tom slučaju postkonfliktno vreme definiše za svaku saobraćajnu traku (*eng. lane-based post-encroachment time - LPET*) (*Almodfer et al., 2016*).

Postkonfliktno vreme, izraženo u sekundama, može se kategorisati u tri osnovne grupe (*Almodfer et al., 2016*) i to:

- $LPET \leq 1$ s: u ovoj situaciji pešaci prelaze kolovoz u prisustvu vozila koje nailazi i nalazi se u neposrednoj blizini pešačkog prelaza.
- $1 \text{ s} < LPET \leq 5$ s: u ovoj situaciji pešaci prelaze kolovoz u prisustvu vozila koje nailazi, ali se nalazi na tolikoj udaljenosti od pešačkog prelaza da je omogućen bezbedan prelazak pešaka.
- $LPET > 5$ s: u ovoj situaciji vozilo koje prilazi pešačkom prelazu nalazi se na velikoj udaljenosti od pešačkog prelaza tako da je mogućnost nastanka stvarnog konflikta samo potencijalna, a prelazak pešaka apsolutno bezbedan.

Prema analiziranom istraživanju (*Almodfer et al., 2016*) procenat nebezbednih prelazaka ($LPET \leq 1$) u ukupnom broju prelazaka iznosi 26,27% za pešake u smeru D3 i 21,63% za pešake u smeru D4 (Slika 2.9). Takođe, utvrđena je i procentualna raspodela nebezbednih prelazaka ($LPET \leq 1$) po saobraćajnim trakama na četvorotračnom putu sa razdelnim ostrvom. Prilikom utvrđivanja procenta nebezbednih prelazaka u analizu nisu uvrštene situacije u slučaju $LPET > 5$ s. Na sledećoj slici prikazane su konfliktne situacije kada je $LPET \leq 1$ s i procentualna raspodela ovog parametra po trakama.



Slika 2.9 Procentualna raspodela LPET po trakama i smeru kretanja pešaka (Almodfer et al., 2016)

Pomenutim istraživanjem utvrđeno je da je povećanje broja prelazaka sa nebezbednim LPET povezano sa pešačkim vremenskim gubicima. Naime, u preko 80,0% konfliktnih situacija vreme čekanja je iznosilo manje od 3 s, pri čemu broj prelazaka u konfliktnim situacijama opada sa porastom vremena čekanja. Drugi autori koji su se bavili sličnim istraživanjima došli su do sličnih rezultata (Li, 2014; Martin, 2006).

POGLAVLJE

3

Osnovne karakteristike saobraćajnica u urbanim sredinama

U okviru trećeg poglavlja prikazani su osnovni principi planiranja ulične mreže, projektovanja gradskih saobraćajnica, opšta klasifikacija i kratak pregled metodologije za proračun nivoa usluge. Pored toga, opisane su vrste izdvojenih pešačkih prelaza sa ključnim karakteristikama, načinom uređenja okoline, i opisom drugih elemenata koji su relevantni za definisanje uslova odvijanja pešačkog i motornog saobraćaja na ovim mestima.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SAOBRAĆAJNICA U URBANIM SREDINAMA

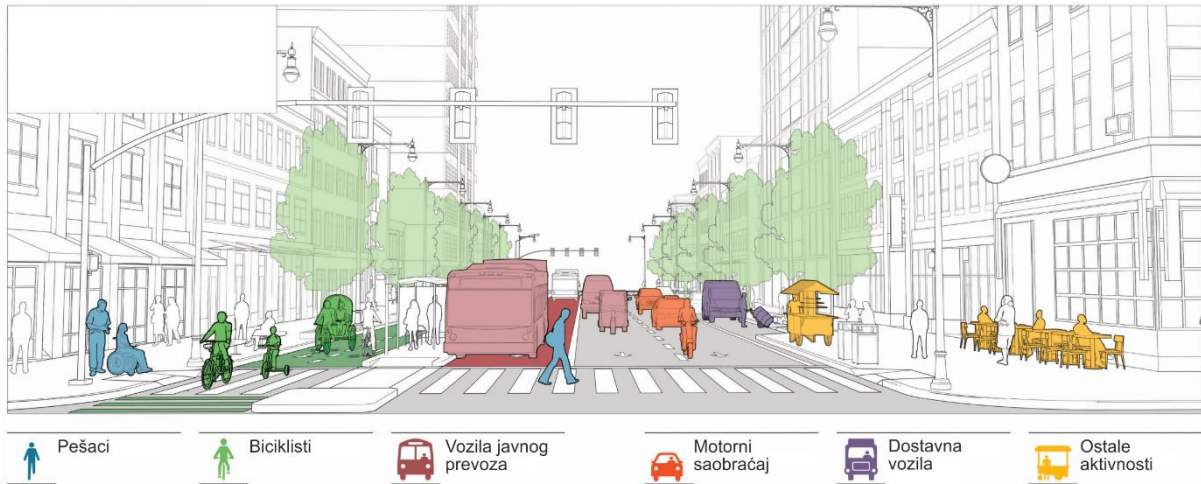
Klasifikacija gradske putne mreže prema funkciji koju obavlja zasnovana je na relativnom odnosu funkcije saobraćajnog povezivanja delova gradske teritorije i funkcije opsluživanja lokacija i objekata neposredno uz saobraćajnicu. U zavisnosti od odnosa navedenih funkcija, podela gradskih saobraćajnica može se izvršiti na način prikazan u narednoj tabeli.

Tabela 3.1 Funkcionalna klasifikacija gradske mreže puteva (*Maletin, 2009*)

PRIMARNA MREŽA	Gradski autoput	Služe za direktne kontakte grada sa međunarodnom, državnim i međuregionalnom putnom mrežom. U internom saobraćaju služe za brzo povezivanje udaljenih delova grada međusobno i sa gradskim težištem.
	Gradska magistrala	Visokokapacitetne saobraćajnice koje prolaze kroz gradsko aktivno tkivo i oslanjaju se na vangradske vezne i regionalne putne pravce. Povezuju različite gradske celine (poslovne zone, stanovanje, centralne zone).
	Gradska saobraćajnica	Služe za povezivanje pojedinih delova grada sa centrima i zonama aktivnosti, a u odnosu na spoljnu putnu mrežu, mogu se oslanjati na puteve regionalnog dometa. Namenjene su pre svega javnom i individualnom putničkom saobraćaju.
SEKUNDARNA MREŽA	Sabirna ulice	Vrše funkciju veznog elementa između primarne i sekundarne gradske putne mreže. Njihov zadatak je da vrše distribuciju ciljnog i izvornog saobraćaja u okviru kompaktnih urbanističkih zona.
	Pristupna ulice	Ulice koje neposredno opslužuju urbanističke sadržaje. U ovu kategoriju spadaju svi tipovi stambenih i poslovno trgovačkih ulica, namenjenih isključivo individualnom i snabdevačkom saobraćaju.
	Parkirališta	Deo puta namenjen, uređen i označen prvenstveno za parkiranje vozila, koji se sastoji od jednog ili više parking mesta.

Gradske saobraćajnice su javne površine koje imaju ključnu ulogu u funkcionisanju i razvoju gradova i generalno naselja. Prema određenim izvorima površine za odvijanje saobraćaja (nemotornog i motornog) zauzimaju preko 80,0% javne gradske površine (*NACTO, 2012*). Generalno, površinu namenjenu za odvijanje saobraćaja moguće je podeliti na sledeće funkcionalne celine:

- površine za kretanje pešaka
- površine za kretanje biciklista
- površine za kretanje motornih vozila (privatna vozila, komercijalna vozila i vozila javnog gradskog prevoza)
- površine za parkiranje
- ostale aktivnosti



Slika 3.1 Karakteristični korisnici javnog puta – ulice (NACTO, 2012)

Predmetna disertacija bavi se analizom vozačkih tokova na odsecima gradskih magistrala i gradskih saobraćajnica, i pešačkih tokova na izdvojenim pešačkih prelazima. U nastavku biće opisane karakteristike ova dva funkcionalna elementa ulične mreže.

3.1. Osnovne karakteristike gradskih magistrala i gradskih saobraćajnica

Gradske magistrale su u većini gradova u Srbiji najvažnije saobraćajnice u gradu. Namenjene su za intenzivan saobraćaj motornih vozila i povezuju najvažnije gradske celine i podceline. Normativno, poprečni profil gradskih magistrala sastoji se iz dva razdvojena kolovoza sa najmanje dve saobraćajne trake po smeru. Međutim u praksi, zbog ograničenih uslova, često saobraćajnice koje imaju funkciju gradskih magistrala nemaju fizički odvojene kolovoze. U zavisnosti od intenziteta i strukture saobraćaja raskrsnice na gradskim magistralama mogu biti denivelisane ili u nivou sa kanalisanim tokovima i regulisane koordinisanom svetlosnom signalizacijom. Gradske saobraćajnice međusobno povezuju gradske magistrale i mogu da se nadovezuju na mrežu vangradskih puteva regionalnog značaja. Poprečni profil gradskih saobraćajnica normalno sadrži po dve saobraćajne trake po smeru, ali se javljaju situacije kada u nasleđenom stanju funkciju gradske saobraćajnice ima ulica sa po jednom saobraćajnom trakom po smeru. Iz tih razloga gradske saobraćajnice dele se na dve grupe: gradske saobraćajnice I reda (sa po dve saobraćajne trake po smeru) i gradske saobraćajnice II reda (sa po jednom saobraćajnom trakom po smeru).

Raskrsnice na gradskim saobraćajnicama su u nivou, regulisane svetlosnom signalizacijom (Vračarević, 2001).

Izbor tipa saobraćajnice u najvećoj meri zavisi od željenog nivoa usluge, pa se u tom slučaju na prvom mestu uzima u obzir veličina očekivanog protoka. S obzirom da izgradnja ovakvih saobraćajnica sa pratećom infrastrukturom karakterišu velika ulaganja, izgled i tip gradskih magistrala/saobraćajnica bira se na osnovu prognoziranе veličine protoka za budući period od najmanje 10 godina, a najčešće 20 godina od planiranog momenta završetka izgradnje (AASHTO, 2001).



Slika 3.2 Šematski prikaz gradske saobraćajnice (NACTO, 2012)



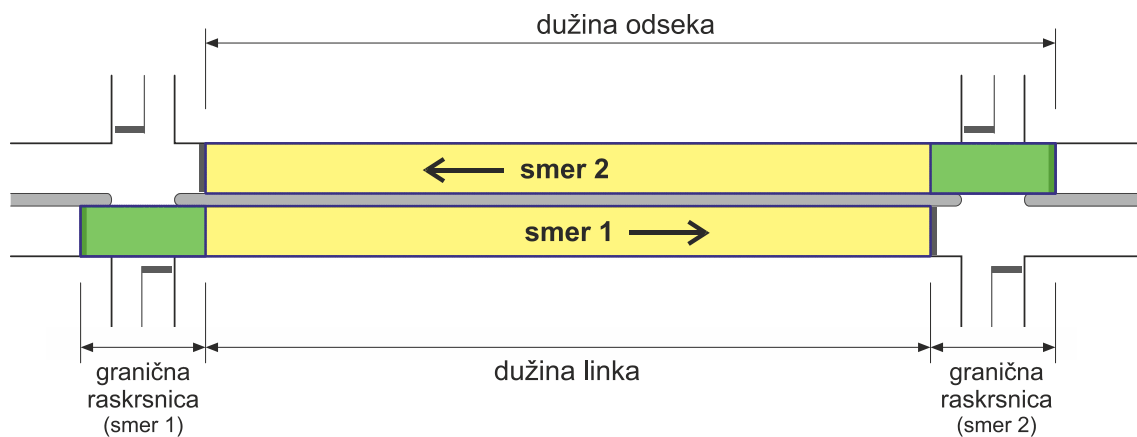
Slika 3.3 Šematski prikaz gradske saobraćajnice sa fizički odvojenim smerovima (NACTO, 2012)

Trasa pružanja gradske magistrale/saobraćajnice može biti planirana delom po postojećoj uličnoj mreži kroz urbanizovana gradska područja ili može biti projektovana kroz relativno neizgrađeno područje. Izbor položaja ovakvih saobraćajnica prvenstveno zavisi od generalnih planskih dokumenata razvoja gradova i šireg (regionalnog) područja.

Osnovni element svake gradske saobraćajnice¹, je deonica koja predstavlja fizički jasno definisan element saobraćajnice, koji kao zaseban entitet opslužuje učesnike u saobraćaju (motorna vozila, pešake, bicikliste). Deonicu gradske saobraćajnice čine

¹ U nastavku rada, pojam „gradska saobraćajnica“ koristi se kao objedinjen naziv za tipove „gradska magistrala“ i „gradska saobraćajnica“ koji su definisani funkcionalnom klasifikacijom gradske mreže puteva.

dva osnovna elementa: raskrsnica i link. Link je deo deonice koji se nalazi između susednih raskrsnica. Link mogu da čine jedna ili više saobraćajnih traka namenjenih za kretanje vozila u istom smeru. Raskrsnica je granični element odseka i nalazi se između krajeva linkova susednih odseka. Izbor raskrsnice kao graničnog elementa odseka razlikuje se u zavisnosti od načina regulisanja saobraćaja duž posmatrane saobraćajnice. Ukoliko se posmatrani odsek nalazi u sistemu koordinisanih svetlosnih signala, isključivo signalisana raskrsnica može biti usvojena kao granična, a duž odseka odnosno linka između dve susedne granične raskrsnice mogu postojati samo raskrsnice na kojima tokovi posmatranog odseka imaju pravo prvenstva prolaza. U slučaju kada se posmatrani odsek ne nalazi u sistemu koordinisanih svetlosnih signala, kao granična raskrsnica može biti usvojena ona raskrsnica na kojoj vozila koja se kreću posmatranim odsekom imaju obavezu da se zaustave. U ovom slučaju obaveza zaustavljanja može biti regulisana saobraćajnim znakom (obavezno zaustavljanje ili nailazak na put sa pravom prvenstva prolaza) ili svetlosnom signalizacijom – semaforom. Kod odseka koji se ne nalazi u sistemu koordinacije svetlosnih signala, raskrsnice na kojima su tokovi posmatranog odseka prioritetni tokovi samo u izuzetnim slučajevima mogu biti prihvaćene kao granične raskrsnice ([Transportation research board, 2016b](#)).



Slika 3.4 Šematski prikaz odseka gradske saobraćajnice

U slučaju potrebe vršenja specifičnih analiza u saobraćajnim tokovima na gradskim saobraćajnicama odsek može biti podeljen na manje delove odnosno na segmente.

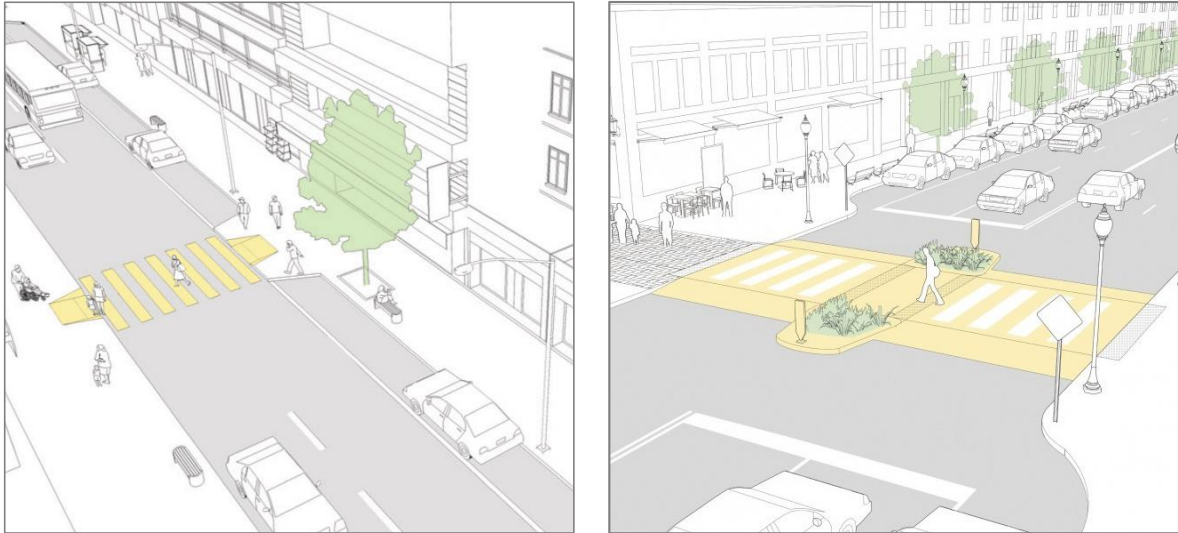
3.2. Osnovne karakteristike izdvojenih pešačkih prelaza

S obzirom na karakteristike pešačkih putovanja pešačenje predstavlja najfleksibilniji način kretanja. Kvalitet odvijanja pešačkog saobraćaja direktno zavisi od uslova koji vladaju u pešačkom okruženju, počev od uslova pristupačnosti pešaka različitim urbanom sadržaju do saobraćajnih uslova koji vladaju na mestima ukrštanja pešačkih tokova sa tokovima drugih korisnika saobraćajnih površina. Prema opštoj podeli površine i objekti namenjeni pešacima mogu se razvrstati na sledeći način:

- trotoari, pešačke staze i pešačke zone, površine namenjene za kretanje pešaka odvojeno od ostalog saobraćaja;
- pešačko-biciklističke staze, površine namenjene kretanju pešaka i biciklista (ili drugog nemotorizovanog saobraćaja) sa jasno definisanom prostornom podelom;
- pešački prelazi, površine namenjene prelasku pešaka preko kolovoza u nivou, mesto ukrštanja pešačkih i vozačkih tokova;
- akumulacione zone, površine namenjene privremenom zadržavanju pešaka tokom realizacije putovanja (površine ispred pešačkog prelaza, zona uz autobusko stajalište i sl.);
- stepenište, objekti namenjeni povezivanju vertikalno razdvojenih pešačkih saobraćajnica;
- pasarele i podzemni prolazi, objekti namenjeni za denivelisana ukrštanja pešačkih površina sa površinama za kretanje motornih vozila, železničke pruge ili premošćavanje drugih prirodnih prepreka.

Pešački prelaz je označeno mesto za prelazak pešaka preko kolovoza i predstavlja kritično mesto na kojem se ukrštaju saobraćaj vozilima i pešački saobraćaj. Zbog ukrštanja vozačkih i pešačkih tokova, na pešačkim prelazima postoji rizik, odnosno mogućnost konflikta vozila sa pešacima. Pešacima je potrebno obezbediti što bezbednije kretanje, a ujedno i protočnost saobraćajnice namenjene za kretanje motornih vozila, odnosno nesmetano odvijanje saobraćaja. Prema načinu regulisanja, pešački prelaz može biti opremljen samo saobraćajnim znakovima i oznakama na putu ili svetlosnom signalizacijom – semaforima. Prema položaju postoje pešački prelazi obeleženi u zoni raskrsnice i izdvojeni pešački prelazi.

Izdvojeni pešački prelaz (skraćeno IPP) predstavlja označeno mesto namenjeno za prelazak pešaka preko kolovoza na delu odseka gradske saobraćajnice ili puta između dve susedne raskrsnice. IPP može biti izveden u nivou sa kolovozom ili kao denivelisan. Predmet ovog rada su nesignalisani IPP koji se nalaze u nivou sa kolovozom. Pozicioniranje IPP vrši se u skladu sa veličinom pešačkog saobraćaja i karakteristikama zone u kojoj se postavlja. U naseljenim zonama sa uskim ulicama, malom brzinom kretanja vozila i čestim raskrsnicama sa označenim pešačkim prelazima označavanje IPP gotovo da nije ni potrebno. Gradske zone sa širokim saobraćajnicama, dugačkim stambenim blokovima i dugi odseci su mesta pogodna za označavanje IPP. Obeležavanje IPP vrši se na lokacijama kao što su škole, tržni centri i stajališta javnog gradskog prevoza, odnosno na mestima gde se pojavljuju intenzivni pešački tokovi ([Broek, 2011](#)).

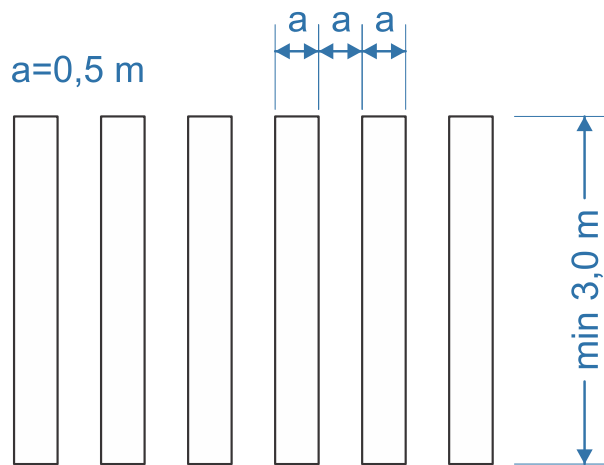


Slika 3.5 Izgled nesignalisanog IPP (NACTO, 2012)

Nesignalisani IPP koji se nalaze u nivou sa kolovozom, prema važećim propisima u Republici Srbiji obeležavaju se saobraćajnim znakom „pešački prelaz“ (III-6) i oznakom na putu „pešački prelaz“ (V-3) (MGSI, 2017). U određenim slučajevima, IPP radi bolje uočljivosti može biti izdignut, izveden u vidu popločane platforme, pa tako u isto vreme pored pešačkog prelaza vrši i funkciju usporivača (Bogdanović et al., 2017).



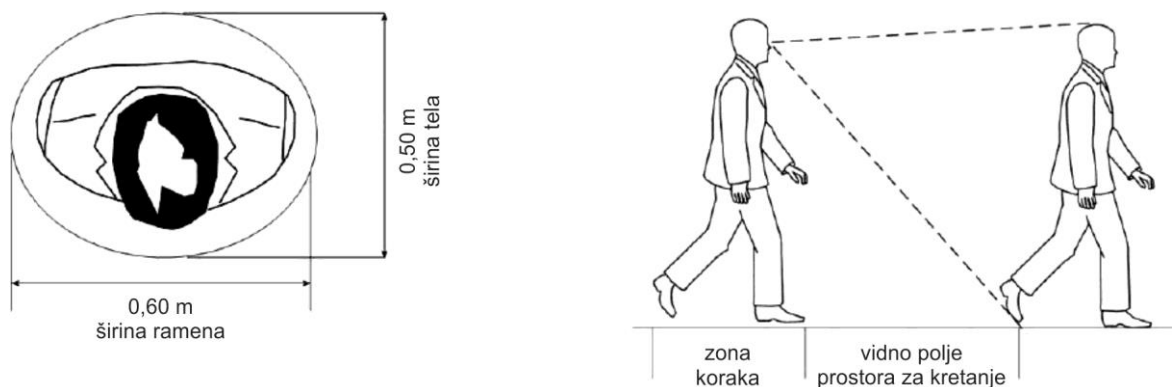
a) saobraćajni znak „pešački prelaz“ (III-6)



b) oznaka na putu „pešački prelaz“ (V-3)

Slika 3.6 Izgled saobraćajnog znaka i oznake na putu za obeležavanje pešačkog prelaza

Projektne elemente pešačke infrastrukture, pa samim tim i pešačkih prelaza, određeni su prema dimenzijama ljudskog tela kao minimalnim merama za definisanje prostora potrebnog za kretanje pešaka. Prema preporukama (Transportation research board, 2010) minimalna površina koju zauzima pešak dimenzija 0,60 m x 0,50 m iznosi 0,30 m², dok se prilikom projektovanja pešačkih površina kao relevantna vrednost usvaja površina 0,75 m² koja uključuje i zaštitne zone za nesmetano kretanje pešaka.

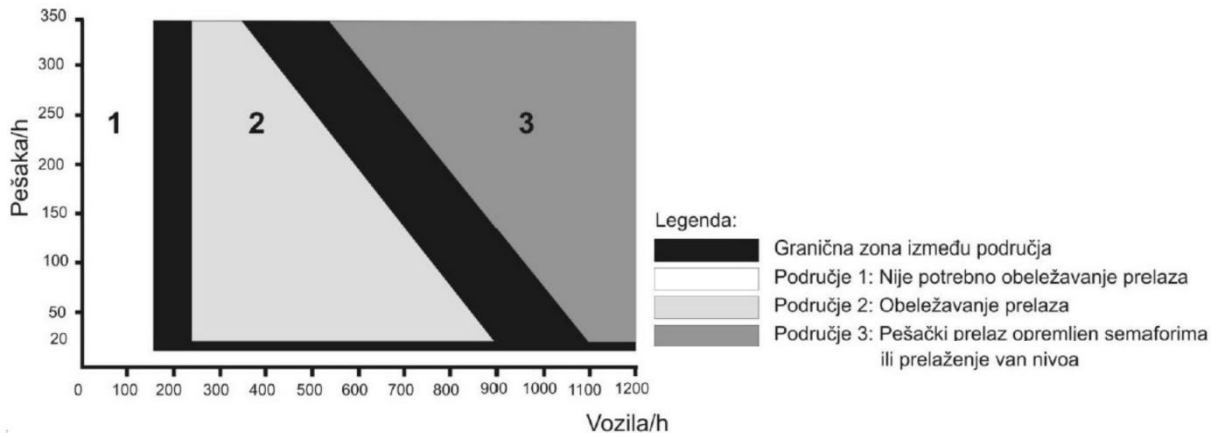


Slika 3.7 Ilustrativni prikaz prostora za stajanje i kretanje pešaka (Fruin, 1987)

Prema domaćim preporukama (JP Putevi Srbije, 2012) osnovni profil za kretanje pešaka definiše se na osnovu dimenzije širine ramena pešaka (0,60 m) i širine tela pešaka (0,40 m). Pored toga, za dimenzionisanje površine namenjene pešacima potrebno je obezbediti i manevarski prostor između pešaka koji omogućava bezbedno i neometano kretanje. Manevarski prostor između pešaka razlikuje se u zavisnosti od toga da li se pešak kreće ili stoji. Preporuka je da razmak između pešaka vertikalno u odnosu na širinu ramena iznosi 0,60 m za površine na kojoj pešaci stoje i 1,00 m za površine namenjene kretanju pešaka, dok za oba slučaja razmak između pešaka paralelno u odnosu na širinu ramena iznosi 0,80 m.

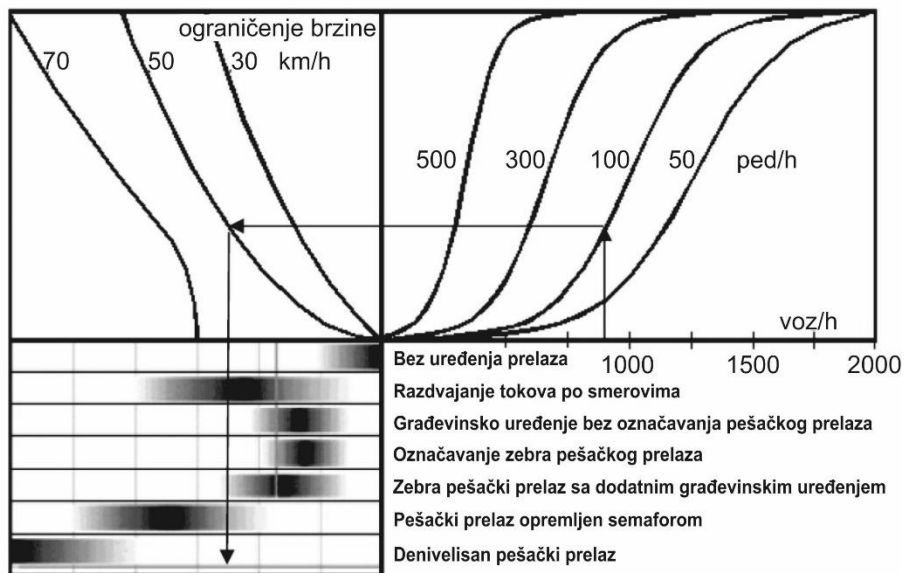
Kao propusna moć pešačkog prelaza, odnosno kapacitet, definiše se sposobnost prolaska određenog broja pešaka u jedinici vremena. Prema (JP Putevi Srbije, 2012) kao bazna vrednost kapaciteta jednosmernog pešačkog toka uzima se protok od 39 do 82 pešaka/m/min. Za pešačke prelaze u gradskim zonama uobičajena usvojena vrednost kapaciteta pešačkog prelaza iznosi 66 pešaka/m/min. Navedenim priručnikom date su i smernice za obeležavanje i izbor tipa pešačkog prelaza u zavisnosti od veličine pešačkog toka i toka motornih vozila, a prema istim smernicama IPP je moguće obeležiti kada su ispunjeni sledeći uslovi:

- obezbeđena preglednost na zaustavnoj udaljenosti,
- udaljenost do susednog prelaza veća od 100m,
- obezbeđen minimalni koeficijent trenja na voznoj površini,
- obezbeđene površine za čekanje pored prelaza koje moraju da budu povezane sa trotoarom,
- obezbeđeno odgovarajuće osvetljenje mesta pešačkog prelaza,
- saobraćaj pešaka i vozila mora da bude takvog intenziteta da je opravdano uređenje pešačkog prelaza u skladu sa dijagramom (Slika 3.8).



Slika 3.8 Dijagram uslova za određivanje nivoa uređenja pešačkih prelaza (*JP Putevi Srbije, 2012*)

Domaće preporuke prepoznaju samo tri varijante regulacije pešačkog prelaza, a izbor varijante zasnovan je samo na veličini pešačkog i vozačkog toka. Sa druge strane, preporuke nemačkih stručnih tela (*Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2002*) u većoj meri su fokusirane na aspekt bezbednosti saobraćaja. Prema ovim preporukama pored veličine vozačkih i pešačkih tokova, kao dodatni faktor uključeno je i definisano ograničenje brzine na posmatranoj lokaciji i na osnovu toga date su preporuke za uvođenje različitih tipova rešenja, odnosno izvedbe pešačkog prelaza. Šematski prikaz kriterijuma za uvođenje različitih tipova rešenja za regulisanje mesta prelaska pešaka preko kolovoza prikazan je na narednoj slici.



Slika 3.9 Šematski prikaz kriterijuma za uvođenje različitih tipova pešačkog prelaza (*Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2002*)

Prema ovim preporukama pored označavanja pešačkog prelaza predloženo je i vršenje određenih građevinskih intervencija na promeni geometrije profila puta na mestu pešačkog prelaza kao mere za usporenje saobraćaja, dok domaćim preporukama ovo nije obuhvaćeno.

Najčešće korišćene metode za proračun kapaciteta i nivoa usluge gradskih saobraćajnica HCM 2016 (*Transportation research board, 2016b*) i HBS 2001 (*Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2001*) ne uzimaju u obzir uticaj pešačkih prelaza na uslove odvijanja saobraćaja u vozačkim tokovima. Poslednjim izdanjem priručnika HCM iz 2016. godine uticaj pešačkih tokova na motorni saobraćaj samo je delimično uzet u obzir i to u metodologiji za proračun nivoa usluge na nesignalisanim raskrsnicama, dok uticaj pešaka na motorni saobraćaj na IPP i dalje nije konkretno definisan.

3.3. Pregled metodologije za utvrđivanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama prema HCM 2016

Uslovi odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama definisani su uslovima na pojedinačnom odseku. Uslovi odvijanja saobraćaja na odseku određuju se kao kombinacija uslova odvijanja saobraćaja na linku i graničnim raskrsnicama odseka za posmatrani smer kretanja. Granična raskrsnica može biti ulazna (ona koja se nalazi na početku analiziranog odseka posmatrano u smeru vožnje) i izlazna (ona koja se nalazi na kraju analiziranog odseka posmatrano u smeru vožnje). Kako bi se vrednovali i opisali uslovi odvijanja saobraćaja uveden je pojam nivoa usluge – LOS (*eng. Level of Service*). LOS predstavlja kvalitativnu meru uslova odvijanja saobraćaja, a kriterijumi za njegovo definisanje određeni su metodologijom koja se razlikuje u zavisnosti od tipa elementa na putnoj mreži (raskrsnice, ulivno-izlivne rampe, gradske saobraćajnice, vangradske deonice, itd.).

Prema HCM 2016 na gradskim saobraćajnicama kriterijumi za definisanje nivoa usluge razlikuju se prema vidovima prevoza, pa su prema tome date i različite metodologije za motorizovan saobraćaj, pešačke tokove, biciklističke tokove i javni prevoz (*Transportation research board, 2016b*). S obzirom na to da je tema predmetne disertacije usmerena na uslove odvijanja motornog saobraćaja, u daljem tekstu biće ukratko opisana metodologija za proračun nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama za motorni saobraćaj.

Dva ključna parametra na osnovu kojih se određuje nivo usluge motornog saobraćaja na gradskim saobraćajnicama su:

- a) Brzina putovanja vozila prolaznog toka. Ovaj faktor direktno opisuje uticaj vremena putovanja vozila duž linka i vremenskih gubitaka nastalih u tokovima koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici analiziranog odseka.
- b) Odnos protoka i kapaciteta (v/c) za tokove koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici analiziranog odseka.

Kvalitativno vrednovanje uslova odvijanja saobraćaja na odseku gradskih saobraćajnica definisano je kroz šest različitih nivoa usluge, gde svaki nivo usluge opisuje karakteristične uslove odvijanja saobraćaja (*Transportation research board, 2016b*).

- LOS A: opisuje prevashodno uslove slobodnog toka. Interakcija između vozila u toku skoro da ne postoji, pa vozila imaju potpunu slobodu i mogućnost za vršenje manevra u okviru saobraćajnog toka. Vremenski gubici na izlaznoj graničnoj raskrsnici su minimalni. Brzina putovanja prelazi 80% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je od 1,0.
- LOS B: opisuje stanje toka sa postojanjem manje interakcije između vozila gde je mogućnost vršenja manevra u saobraćajnom toku blago ograničena, a vremenski gubici na izlaznoj graničnoj raskrsnici nisu značajni. Brzina putovanja je između 67% i 80% bazne brzine slobodnog toka, dok je odnos v/c manji od 1,0.
- LOS C: opisuje uslove stabilnog stanja toka. Mogućnost manevrisanja i promene traka duž odseka mogu biti više ograničene nego u uslovima nivoa usluge B. Duži redovi čekanja na izlaznoj graničnoj raskrsnici mogu uticati na smanjenje brzine putovanja. Brzina putovanja je između 50% i 67% bazne brzine slobodnog toka, dok je odnos v/c manji od 1,0.
- LOS D: opisuje uslove manje stabilnog stanja toka gde mala povećanja u veličini protoka mogu prouzrokovati značajna povećanja vremenskih gubitaka i smanjenje brzine putovanja. Ovakvi uslovi mogu se javiti zbog lošeg sistema koordinacije svetlosnih signala, visokih zahteva za protokom ili neusklađenosti signalnih planova na graničnim raskrsnicama. Brzina putovanja je između 40% i 50% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je od 1,0.
- LOS E: opisuje uslove nestabilnog saobraćajnog toka i značajnih vremenskih gubitaka. Ovakvi uslovi mogu se javiti zbog lošeg sistema koordinacije svetlosnih signala, visokih zahteva za protokom ili neusklađenosti signalnih planova na graničnim raskrsnicama. Brzina putovanja je između 30% i 40% bazne brzine slobodnog toka, a odnos v/c manji je od 1,0.
- LOS F: opisuje uslove odvijanja saobraćaja sa ekstremno niskom brzinom toka. U ovom slučaju najčešće dolazi do stvaranja zastoja na raskrsnicama, praćenih visokim vremenskim gubicima i stvaranjem dugih redova čekanja. Brzina putovanja iznosi 30% i manje od bazne brzine slobodnog toka, dok je odnos v/c veći od 1,0.

3.3.1. Ulazni parametri

Ulazni parametri koji figurišu u metodologiji za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica za motorni saobraćaj dele se u četiri osnovne grupe:

1. Podaci o veličini toka
2. Geometrijske karakteristike odseka
3. Ostali relevantni podaci
4. Podaci o uslovima odvijanja saobraćaja.

Podaci o veličini toka

Podacima o veličini toka opisuje se obim saobraćajnog toka, odnosno veličina protoka vozila na posmatranom odseku tokom nekog vremenskog perioda i obuhvata:

Protok vozila na graničnim raskrsnicama

Predstavlja veličinu protoka na ulaznoj i izlaznoj graničnoj raskrsnici. Podaci o protoku se prikazuju po smerovima kretanja, a najčešće se izražava u vozilima na čas (voz/h).

Protok vozila na pristupnim tačkama

Pristupna tačka (priključak) je mesto gde se pristupna ulica ili kolski prilaz kao sporedna saobraćajnica ukršta sa glavnom saobraćajnicom – odsekom. Protok vozila na pristupnim tačkama prikazuje se prema svim smerovima kretanja, a najčešće se izražava u vozilima na čas (voz/h).

Protok vozila na odseku

Protok vozila na odseku predstavlja broj vozila koja prođu duž odseka u posmatranom vremenskom periodu, najčešće tokom jednog sata.

Geometrijske karakteristike odseka

Broj traka na izlaznoj graničnoj raskrsnici

Predstavlja broj saobraćajnih traka za sve dozvoljene smerove kretanja na prilazu izlazne granične raskrsnice. Kao trake za skretanje uzimaju se u obzir samo trake za isključivo leva ili desna skretanja. Ukoliko na prilazu figurišu zajedničke (deljene) trake one se razmatraju kao trake za pravo.

Širina ulazne granične raskrsnice

Kod dvosmernih saobraćajnica širina ulazne granične raskrsnice jednaka je rastojanju između zaustavnih linija na naspramnim prilazima dva susedna odseka, mereno duž ose kolovoza ili razdelne linije. Kod jednosmernih saobraćajnica širina ulazne granične raskrsnice jednaka je rastojanju između zaustavne linije prethodnog odseka i zamišljenog produžetka najudaljenije ivice kolovoza sporedne ulice koja sa glavnom saobraćajnicom čini posmatranu raskrsnicu.

Dužina traka za skretanje na izlaznoj graničnoj raskrsnici

Dužina trake za skretanje predstavlja dužinu dela trake za skretanja sa punom širinom saobraćajne trake, na kom je moguće formiranje reda čekanja. Dužina se meri paralelno sa osom kolovoza.

Broj traka za pravo na odseku

Predstavlja broj saobraćajnih traka na odseku namenjenih vozilima koja sa posmatranog odseka nastavljaju kretanje pravo. Ukoliko se duž odseka nalazi traka namenjena isključivo za tokove koji skreću onda se ona pri proračunu ne uzima u obzir. U slučaju suženja kolovoza na središnjem delu odseka kao merodavan broj traka za pravo uzima se onaj broj traka koje su na mestu suženja otvorene za saobraćaj.

Broj traka na pristupnom prilazu

Predstavlja broj saobraćajnih traka za svaki smer kretanja na pristupnom prilazu. Ovaj podatak je potreban za sve prilaze (glavne i sporedne) na aktivnim pristupnim prilazima na odseku. Kao aktivni pristupni prilaz po pravilu uzima se onaj na kom veličina toka koji se uključuje na glavnu saobraćajnicu iznosi više od 10 voz/h.

Dužina traka za skretanje na pristupnom prilazu

Predstavlja dužinu dela trake za skretanja sa punom širinom saobraćajne trake, na kom je moguće formiranje reda čekanja. Ovaj podatak se utvrđuje samo za prilaze na glavnom toku na aktivnim pristupnim prilazima. Kao aktivni pristupni prilaz po pravilu uzima se onaj na kom veličina toka koji se uključuje na glavnu saobraćajnicu iznosi više od 10 voz/h.

Dužina odseka i dužina linka

Dužina odseka predstavlja rastojanje između dve granične raskrsnice koje definišu odsek. Dužina odseka se meri paralelno sa osom kolovoza, od zaustavne linije (ili druge oznake koja ima istu funkciju) jedne granične raskrsnice do zaustavne linije (ili druge oznake koja ima istu funkciju) naredne granične raskrsnice. Dužina linka se izračunava kao razlika dužine odseka i širine ulazne granične raskrsnice.

Dužina razdelnog ostrva

Predstavlja dužinu izdignutog razdelnog ostrva mereno od vrha ostrva sa jedne do vrha razdelnog ostrva sa druge strane. U ukupnu dužinu razdelnog ostrva ne uračunavaju se prekidi ostrva koji su izvedeni u nivou sa kolovozom.

Procenat dela linka sa ivičnjakom

Izražava se kao odnos dužine linka na kojoj postoji ivičnjak sa desne strane kolovoza na udaljenosti manjoj od 1,2 m (4 ft) od najbliže ivice saobraćajne trake, i ukupne dužine linka.

Ukupan broj pristupnih prilaza

Pod ukupnim brojem pristupnih prilaza podrazumeva se zbir svih aktivnih i neaktivnih prilaza duž odseka za posmatrani smer vožnje. Ukoliko je ulazna granična raskrsnica odseka nesignalisana njen sporedni prilaz koji se nalazi sa desne strane posmatrano u smeru vožnje uračunava se u ukupan broj pristupnih prilaza. Ukoliko nije poznat broj pristupnih prilaza na odseku ovaj parametar je moguće proračunati na osnovu podrazumevanih vrednosti datih u okviru metodologije HCM 2016.

Procenat dela linka sa uličnim parkiranjem

Predstavlja odnos dela linka sa označenim prostorom na kom je dozvoljeno parkiranje (ili zaustavljanje) duž desne strane linka posmatrano u smeru vožnje, i ukupne dužine linka. Ovaj procenat se određuje posebno za svaki smer kretanja, a u obzir se uzima celokupan parking prostor, bilo da se radi o parkiranju paralelno sa osom kolovoza ili parkiranju pod uglom.

Ostali relevantni podaci

Dužina vremenskog perioda analize

Prema predloženoj metodologiji uslovi odvijanja saobraćaja mogu se izraziti na nivou jednog ili više 15-minutnih intervala, a maksimalno na nivou 1h. Vremenski period na nivou kog se posmatraju uslovi odvijanja saobraćaja predstavlja vremenski period analize. Preporuke su da se u okviru operativne analize uslova odvijanja saobraćaja analize vrše na nivou 15-minutnog intervala, jer je na taj način najbolje moguće obuhvatiti period vršnog opterećenja. Analize u procesu planiranja moguće je vršiti na 15-minutnom nivou ili na nivou 1 časa.

Ograničenje brzine

Predstavlja maksimalnu dozvoljenu brzinu kretanja vozila na posmatranom odseku. Maksimalna dozvoljena brzina može biti propisana saobraćajnim znakom ili opštim ograničenjem brzine propisanim zakonom.

Podaci o uslovima odvijanja saobraćaja

Vremenski gubici na izlaznoj graničnoj raskrsnici

Predstavljaju ukupne vremenske gubitke vozila na izlaznoj graničnoj raskrsnici posmatranog odseka. U zavisnosti od tipa raskrsnice (ukrštanja) koristi se odgovarajuća metodologija koja je definisana u okviru sledećih poglavlja izdanja HCM 2016:

- Poglavlje 19: Signalisane raskrsnice
- Poglavlje 20: Nesignalisane raskrsnice sa prioritetom (*eng. Two-Way Stop Control - TWSC*)
- Poglavlje 21: Nesignalisane raskrsnice sa obavezom zaustavljanja (*eng. All-Way Stop Control - AWSC*)
- Poglavlje 22: Kružne raskrsnice
- Poglavlje 23: Denivelisane raskrsnice (petlje) i alternativna ukrštanja.

Broj zaustavljenih vozila i dužina reda čekanja na izlaznoj graničnoj raskrsnici

Ovaj podatak je potreban samo u slučaju da je izlazna granična raskrsnica signalisana. Broj zaustavljenih vozila i dužina reda čekanja izračunavaju se samo za grupu traka za vozila koja se na izlaznoj graničnoj raskrsnici kreću pravo. Postupak proračuna ovih parametara opisan je u okviru HCM 2016 - Poglavlje 31.

Kapacitet grupe traka na graničnim raskrsnicama

Kapacitet je definisan kao maksimalan broj vozila koja u posmatranom vremenskom periodu analize mogu da napuste određenu traku odnosno grupu traka. Kapacitet se utvrđuje za sve grupe traka, odnosno tokove koji pristižu na odsek na ulaznoj graničnoj raskrsnici, i za tokove koji napuštaju odsek na izlaznoj graničnoj raskrsnici. Postupak utvrđivanja kapaciteta grupe traka zavisi od tipa granične raskrsnice i dat je u okviru metodologije HCM 2016 (poglavlja 19-23).

Vremenski gubici i zaustavljanje na središnjem delu odseka

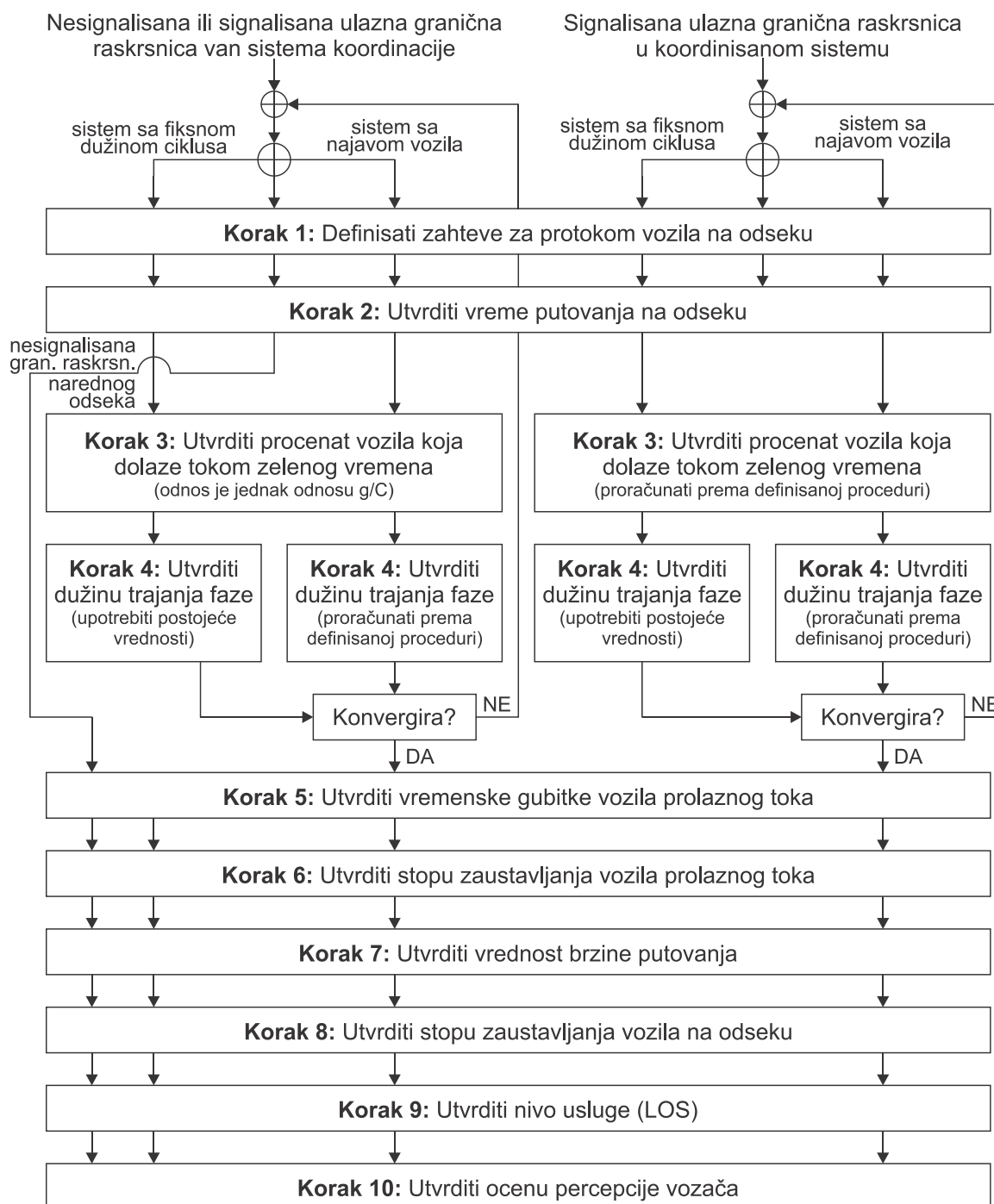
U realnom saobraćajnom toku, kretanje vozila na više načina može biti ometano na sredini odseka, što dalje može rezultovati smanjenjem brzine ili do potpunog zaustavljanja vozila, odnosno nastankom vremenskih gubitaka. Vremenski gubici koji nastaju na središnjem delu odseka direktno utiču na povećanje vremena putovanja, a mogu se javiti u sledećim situacijama:

- prilikom skretanja vozila sa glavnog toka na prilaz pristupne saobraćajnice,
- usled propuštanja pešaka na IPP,
- usled manevra ulaska ili izlaska sa prostora za parkiranje koje se nalazi uz kolovoz,
- na mestima zaustavljanja ili parkiranja vozila u traci za vožnju,
- na mestima ukidanja saobraćajne trake.

U okviru metodologije za proračun nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama data je samo procedura za utvrđivanje vremenskih gubitaka nastalih usled skretanja vozila levo ili desno sa glavnog toka na prilaz pristupne saobraćajnice. Procedure za proračun vremenskih gubitaka koji nastaju u ostalim navedenim situacijama nisu date kao deo HCM 2016. Sa druge strane navodi se da ukoliko postoje vremenski gubici koji nastaju kao rezultat neke od navedenih situacija oni bi trebali biti utvrđeni neposrednim merenjem na terenu i kao takvi uvršteni u metodologiju ([Transportation research board, 2016b](#)).

3.3.2. Postupni metodološki koraci

Postupak utvrđivanja nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama vrši se u nekoliko koraka prikazanih na sledećoj slici.



Slika 3.10 Algoritam metodologije za utvrđivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica (Transportation research board, 2016b)

Korak 1. Definisavanje zahteva za protokom vozila na odseku

Ovaj korak obuhvata analizu i usaglašavanje protoka vozila na svim tokovima koji pripadaju posmatranom odseku kako bi se dobila realna slika o uslovima odvijanja saobraćaja, i podrazumeva:

- analizu kapacitetnog ograničenje odseka,
- balansiranje veličine ulaznih i izlaznih tokova,

- određivanje izvor-cilj matrice,
- analizu mogućnosti nastanka blokade prethodne raskrsnice.

Kapacitetna ograničenja odnose se na sve tokove na ulaznoj graničnoj raskrsnici koji nastavljaju kretanje duž posmatranog odseka. Kada su zahtevi za protokom u određenom toku veći od kapaciteta trake, odnosno grupe traka za te tokove, tada je prolazak vozila ograničen, a stvaran broj vozila koji prođe kroz posmatranu traku ili grupu traka je manji od realnog kapaciteta. Ukoliko se ovakav poremećaj javi u tokovima koji se uključuju na link posmatranog odseka, veličina stvarnog zahteva za protokom mora biti smanjena na vrednost koja je jednaka kapacitetu.

Balansiranje protoka predstavlja postupak izjednačavanja broja vozila koja uđu na odsek sa brojem vozila koja izađu sa odseka. Nebalansiran protok se može javiti u slučaju kada se brojanje saobraćaja na graničnim raskrsnicama vrši u različitim vremenskim periodima ili kada na linku postoje pristupne tačke na kojima se ne vrši brojanje.

Izvorno-ciljnom matricom odseka predstavlja se distribucija po smerovima ulaznih tokova na izlazne tokove. U izvorno-ciljnoj matrici odseka jasno je definisana raspodela broja vozila jednog ulaznog toka na izlazne tokove sa odseka. I-C matrica je neophodna u postupku određivanja broja vozila koja dolaze tokom zelenog vremena, i postupku utvrđivanja vremena prolaska plotuna kroz pristupnu tačku i efektivne blokade sporednog prilaza na pristupnoj tački.

Kao posledica dolaska velikog broja vozila tokom perioda crvenog svetla na raskrsnici na izlazu sa odseka moguća je pojava reda čija je dužina veća od dužine prethodnog linka, pa samim tim i blokada prethodne raskrsnice. Blokada raskrsnice koja nastane iz navedenog razloga naziva se još i „spillback“ blokada. Opisana metodologija nije predviđena za uslove u kojim se javlja ovakav poremećaj na mreži, pa je u ovim situacijama potrebno redukovati period analize do trenutka pre pojave blokade prethodne raskrsnice, ili koristiti alternativne metode koje mogu modelovati efekte nastale usled navedenog tipa blokade.

Korak 2. Vreme putovanja na odseku

Procedura proračuna vremena putovanja na linku obuhvata sledeće korake:

- proračun brzine slobodnog toka,
- proračun faktora gustine saobraćajnog toka,
- proračun vremenskih gubitaka nastalih usled skretanja vozila sa prioritetnog toka na prilaz pristupne saobraćajnice,
- utvrđivanje vremenskih gubitaka nastalih usled uticaja ostalih faktora na središnjem delu odseka.

Brzina slobodnog toka

Brzina slobodnog toka je prosečna vrednost brzine svih vozila u toku koja se kreću duž odseka i nastavljaju kretanje pravo, mereno u uslovima slobodnog toka i u slučajevima kada ne postoje ometanja od strane vozila ili uređaja za regulisanja saobraćaja. Brzinom slobodnog toka opisuje se uticaj prostornih karakteristika saobraćajnice na

vozačev izbor brzine kretanja, a faktori koji utiču na taj izbor su: ograničenje brzine, gustina pristupnih prilaza, tip razdelnog ostrva, procenat dela linka sa ivičnjakom i dužina linka. Brzina slobodnog toka izražava se kao proizvod bazne brzine slobodnog toka i faktora udaljenosti signalisanih raskrsnica.

Bazna brzina slobodnog toka definisana je kao brzina slobodnog toka na odsecima veće dužine, a može se izračunati na pomoću jednačine (3.1).

$$S_{f0} = S_{calib} + S_0 + f_{CS} + f_A + f_{PK} \quad (3.1)$$

gde je:

- S_{f0} - bazna brzina slobodnog toka (mi/h),
- S_{calib} - kalibracioni faktor bazne brzine slobodnog toka (mi/h),
- S_0 - konstanta brzine toka,
- f_{CS} - faktor poprečnog preseka (mi/h),
- f_A - faktor broja pristupnih prilaza (mi/h),
- f_{PK} - faktor uličnog parkiranja (mi/h),

Vrednosti navedenih konstanti i faktora reprezentuju uticaj geometrije odseka na vrednost bazne brzine slobodnog toka, a njihov detaljan opis, referentne vrednosti i način proračuna dat je u okviru poglavlja 18 - HCM 2016.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da vozači koji se kreću na kratkim odsecima koji su ograničeni signalisanim raskrsnicama, teže ka manjim brzinama kretanja ([Bonneson, Pratt, & Vandehey, 2008](#)). Prema tome uticaj dužine odseka sa signalisanim graničnim raskrsnicama mora se uzeti u obzir prilikom proračuna nivoa usluge gradskih saobraćajnica. Faktor uticaja odseka malih dužina ima vrednost između 0,0 i 1,0 a izračunava se na osnovu jednačine (3.2).

$$f_L = 1,02 - 4,7 \frac{S_{f0} - 19,5}{\max(L_S, 400)} \quad (3.2)$$

gde je:

- f_L - faktor uticaja dužine odseka,
- S_{f0} - bazna brzina slobodnog toka (mi/h),
- L_S - rastojanje između susednih graničnih raskrsnica – dužina linka (ft),

Na kraju, brzinu slobodnog toka moguće je izračunati pomoću jednačine (3.3), ili alternativno može biti utvrđena neposrednim merenjem na terenu.

$$S_f = S_{f0} f_L; S_f \geq S_{pl} \quad (3.3)$$

gde je:

- S_f - brzina slobodnog toka (mi/h),
- S_{pl} - vrednost ograničenja brzine na odseku,

Faktor gustine saobraćajnog toka

Faktorom gustine saobraćajnog toka definiše se uticaj gustine saobraćajnog toka na vreme putovanja na linku koje se ostvaruje u uslovima slobodnog toka. Povećanje gustine saobraćajnog toka utiče na smanjenje brzine vozila, odnosno na porast

vremena putovanja. Do redukcije brzine putovanja dolazi zbog malih rastojanja sleđenja koji se javljaju pri povećanim zahtevima za protokom odnosno većoj gustini toka. Faktor gustine toka moguće je izračunati pomoću jednačine (3.4).

$$f_V = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{v_m}{52,8 N_{th} S_f}\right)^{0,21}} \quad (3.4)$$

gde je:

- f_V - faktor gustine saobraćajnog toka,
- v_m - protok vozila meren na preseku na linku (voz/h),
- N_{th} - broj traka za pravo za posmatrani smer odseka,
- S_f - brzina slobodnog toka (mi/h).

Vremenski gubici nastali usled skretanja vozila na pristupni prilaz

Vozila koja sa prioritetnog toka vrše skretanje na pristupni (sporedni) prilaz mogu da ometaju kretanje vozila koja ga prate, pa samim tim i da prouzrokuju nastanak vremenskih gubitaka. Vremenski gubici nastali usled vozila koja vrše skretanje u desno na pristupni prilaz manifestuju se u vidu smanjenja brzine vozila koja ga slede u skladu sa brzinom vozila koje vrši skretanje. Vozila koja vrše skretanje u levo sa prioritetnog pravca ka pristupnom prilazu mogu da ostvare vremenske gubitke usled zaustavljanja radi obaveznog propuštanja vozila koja im dolaze iz suprotnog smera. U slučaju da postoji izdvojena traka za skretanje levo, odnosno desno sa prioritetnog prilaza na sporedni pristupni prilaz, i ukoliko traka za skretanje ima dovoljnu dužinu za formiranje reda, smatra se da ti manevri neće negativno uticati na vozila koja se kreću pravo duž odseka.

Vreme putovanja na odseku

Vreme putovanja na odseku izračunava se postupkom koji uzima u obzir vremenske gubitke na startu vozila koja prolaze pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici, brzinu slobodnog toka, gustinu toka i vremenske gubitke koji se javljaju na središnjem delu odseka. Vreme putovanja na odseku izračunava se na osnovu jednačine (3.5).

$$t_R = \frac{6,0 - l_1}{0,0025 L} f_x + \frac{3600 L}{5280 S_f} f_V + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (3.5)$$

$$f_x = \begin{cases} 1,00 & \text{(signalisana ili AWSC granična raskrsnica)} \\ 0,00 & \text{(TWSC granična raskrsnica, odsek je prioritetni pravac)} \\ \min \left[\frac{v_{th}}{c_{th}}, 1,00 \right] & \text{(TWSC granična raskrsnica, odsek je sporedni pravac)} \end{cases} \quad (3.6)$$

gde je:

- t_R - vreme putovanja na odseku (s),
- l_1 - vremenski gubici na startu vozila: 2,0 s za signalisane raskrsnice; 2,5 s za nesignalisane raskrsnice,
- L - dužina odseka (ft),
- f_x - faktor tipa ulazne granične raskrsnice,

- v_{th} - veličina toka pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici (voz/h),
 c_{th} - kapacitet trake ili grupe traka za pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici (voz/h),
 $d_{ap,i}$ - ukupni vremenski gubici usled skretanja vozila ka pristupnim prilazima (s/voz),
 N_{ap} - ukupan broj aktivnih pristupnih prilaza duž odseka:

$$N_{ap} = N_{ap,s} + p_{ap,lt}N_{ap,o}$$

 $N_{ap,s}$ - broj pristupnih prilaza sa desne strane odseka posmatrano u smeru vožnje,
 $N_{ap,o}$ - broj pristupnih prilaza sa desne strane posmatrano u suprotnom smeru,
 $p_{ap,lt}$ - procenat $N_{ap,o}$ na koje je moguće pristupiti levim skretanjem iz smera vožnje,
 d_{other} - ostali vremenski gubici koji se mogu javiti na središnjem delu odseka.

Postojećom metodologijom HCM 2016 identifikovane su situacije gde se se mogu javiti ostali vremenski gubici na središnjem delu odseka (d_{other}), ali je definisan samo postupak za utvrđivanje vremenskih gubitaka usled skretanja vozila ka pristupnim prilazima. U ostale vremenske gubitke ubrajaju se i gubici vozila nastali usled propuštanja pešaka na IPP. Veličina i uslovi za nastanak vremenskih gubitaka vozila na IPP analizirani su u okviru ove doktorske disertacije.

Korak 3. Broj vozila pristiglih tokom zelenog svetla

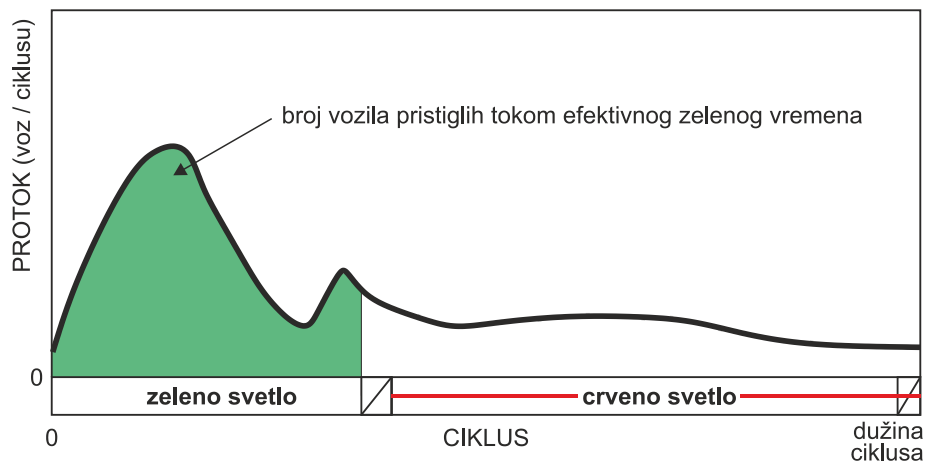
Metodologija opisana u ovom koraku primenjuje se samo u slučaju kada je izlazna granična raskrsnica signalisana, u suprotnom ovaj korak se preskače. U okviru ovog koraka vrši se proračun broja (procenata) vozila koja na izlaznu graničnu raskrsnicu pristižu tokom efektivnog zelenog svetla.

Ukoliko je ulazna granična raskrsnica posmatranog odseka nesignalisana (ili je signalisana, ali se ne nalazi u sistemu koordinacije) procenat vozila koji tokom efektivnog zelenog vremena stignu na izlaznu graničnu raskrsnicu jednak je odnosu dužine zelenog svetla i dužine ciklusa.

U slučaju da je ulazna granična raskrsnica posmatranog odseka signalisana i da se nalazi u sistemu koordinacije potrebno je izvršiti proračun na osnovu fiksnih signalnih planova graničnih raskrsnica analiziranog odseka. Kada svetlosni signali na ulaznoj graničnoj raskrsnici posmatranog odseka funkcionišu po principu najave tada broj vozila koja pristignu tokom zelenog svetla direktno utiče na signalni plan i kapacitet raskrsnice. U ovom slučaju usvaja se prosečno vreme trajanja faze koje se dalje koristi u proračunu nivoa usluge.

U ukupnom broju vozila koja tokom ciklusa dolaze na izlaznu graničnu raskrsnicu su vozila koja prolaze pravo sa prioritnog toka na ulaznoj graničnoj raskrsnici, vozila koja skreću levo odnosno desno sa sporednog toka na ulaznoj graničnoj raskrsnici i deo vozila sa pristupnih prilaza na odseku. Vozila koja se sa prioritnog toka ulazne granične raskrsnice kreću pravo često ulaze na odsek u plotunu. Forma plotuna se najčešće gubi tokom vožnje duž odseka. Na narednoj slici (Slika 3.11) šematski je prikazana raspodela broja vozila koja tokom ciklusa pristignu na izlaznu graničnu

raskrsnicu. Zasenčena (zelena) površina predstavlja vozila koja sa ulazne granične raskrsnice i pristupnih prilaza na odseku dolaze na izlaznu graničnu raskrsnicu tokom trajanja zelenog svetla.



Slika 3.11 Raspodela dolaska ukupnog broja vozila tokom ciklusa

Za proračun procenta broja vozila pristiglih tokom zelenog svetla potrebni su podaci o veličini zahteva za protokom i dužini trajanja ciklusa, a izračunava se pomoću jednačine (3.7).

$$P = \frac{n_g}{q_d C} \quad (3.7)$$

gde je:

- P - procenat vozila pristiglih tokom efektivnog zelenog svetla
- n_g - broj vozila pristiglih tokom efektivnog zelenog svetla (voz)
- q_d - veličina toka vozila na odseku (voz/s)
- C - dužina trajanja ciklusa (s)

Korak 4. Dužina trajanja faze

Ovaj korak se primenjuje samo u slučaju kada je izlazna granična raskrsnica signalisana, u suprotnom slučaju ovaj korak se preskače. Ukoliko signalisana raskrsnica radi po principu fiksnog faznog plana definisana vrednost dužine faze uzima se kao ulazni parametar. Za raskrsnice koje rade po sistemu sa najavom, sa promenljivom dužinom faza, kao ulazni parametar usvaja se prosečna dužina trajanja faze. Određivanje prosečne dužine trajanja faze vrši se prema metodologiji opisanoj u okviru HCM 2016 ([Transportation research board, 2016b](#)).

Korak 5. Vremenski gubici vozila prolaznog toka

Prolaznom toku pripadaju vozila koja na odsek dolaze kao vozila koja se kreću pravo na ulaznoj graničnoj raskrsnici posmatranog odseka i napuštaju odsek kao vozila koja prolaze pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici. Vremenski gubici koji nastaju kod ovih vozila ključni su za izračunavanje vremena putovanja. Ovi vremenski gubici predstavljaju zbir vremenskih gubitaka nastalih na izlaznoj graničnoj raskrsnici. U

zavisnosti od tipa raskrsnice, namene traka na prilazu, da li je koordinisan sistem ili sistem izolovanih signalisanih raskrsnica, primenjuje se odgovarajuća metodologija za proračun vremenskih gubitaka. U HCM 2016 svaka metodologija je detaljno razrađena u okviru poglavlja 19, 21, 22 i 23 u zavisnosti od tipa raskrsnice (*Transportation research board, 2016b*).

Korak 6. Stopa zaustavljanja vozila prolaznog toka

Stopa zaustavljanja vozila definiše se kao prosečna vrednost broja potpunih zaustavljanja po vozilu na izlaznoj graničnoj raskrsnici, pri čemu se posmatraju samo vozila prolaznog toka. Kao potpuno zaustavljanje podrazumeva se događaj tokom kog vozilo usporava do brzine $V=0$ ili se kreće ekstremno niskom brzinom ukoliko se nalazi u koloni. Potpuno zaustavljanje nastaje kao posledica načina regulisanja saobraćaja na izlaznoj graničnoj raskrsnici. U slučaju kada je prilaz izlazne granične raskrsnice regulisan saobraćajnim znakom „obavezno zaustavljanje“ vrednost stope zaustavljanja iznosi 1,0, dok za prilaze koji pripadaju prioritetnom pravcu vrednost stope zaustavljanja vozila iznosi 0,0. Kada je izlazna granična raskrsnica regulisana svetlosnom signalizacijom primenjuje se postupak koji je definisan u okviru HCM 2016, u okviru kog figurišu dužina trajanja ciklusa, dužina efektivnog zelenog svetla, veličina zasićenog toka i karakteristike reda čekanja. Uobičajena vrednost stope zaustavljanja na signalisanom prilazu kreće se u granicama od 0,4 zaustavljanja/vozilu pri niskom odnosu v/c , do 2,0 zaustavljanja/vozilu u slučaju kada je odnos v/c približno jednak 1,0.

Korak 7. Brzina putovanja na odseku

Brzina putovanja na odseku je jedan od dva osnovna parametra za određivanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama, a izračunava se na osnovu jednačine (3.8):

$$S_{T,seg} = \frac{3600 L}{5280 (t_R + d_t)} \quad (3.8)$$

gde je:

$S_{T,seg}$ - brzina putovanja vozila prolaznog toka na odseku (mi/h)

L - dužina odseka (ft)

t_R - vreme putovanja na odseku (s),

d_t - vremenski gubici vozila prolaznog toka (s)

Korak 8. Stopa zaustavljanja vozila na odseku

Stopa zaustavljanja vozila na odseku izražava se u broju zaustavljanja na dužini od jedne milje. Izračunava se za svaki smer posmatranog odseka i moguće je proračunati na osnovu jednačine (3.9).

$$H_{seg} = 5280 \frac{h + h_{other}}{L} \quad (3.9)$$

gde je:

H_{seg} - stopa zaustavljanja vozila na odseku (zaust./mi)

- h - broj potpunih zaustavljanja vozila prolaznog toka (zaust./voz)
 h_{other} - broj potpunih zaustavljanja vozila usled uticaja ostalih faktora (zaust./voz)
 L - dužina odseka (ft)

Broj potpunih zaustavljanja vozila usled uticaja ostalih faktora odnosi se na zaustavljanja koja se mogu javiti na središnjem delu odseka. Ovaj tip zaustavljanja može se javiti na IPP, u zonama autobuskih stajališta, na pristupnim prilazima. Priručnikom HCM 2016 je samo naznačeno postojanje ovih zaustavljanja, ali nije data konkretna metodologija za njihovo utvrđivanje.

Korak 9. Određivanje nivoa usluge odseka gradske saobraćajnice

Da bi se dobila stvarna slika o uslovima odvijanja saobraćaja na posmatranom odseku svaki smer kretanja mora biti analiziran posebno. Na osnovu prethodno opisane metodologije izračunava se brzina putovanja na osnovu koje se u zavisnosti od utvrđene vrednosti brzine slobodnog toka određuje nivo usluge (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Granične vrednosti brzine putovanja za određivanje nivoa usluge gradskih saobraćajnica

LOS	Brzina slobodnog toka (mi/h)							Odnos v/c*
	55	50	45	40	35	30	25	
A	>44	>40	>36	>32	>28	>24	>20	≤ 1,0
B	>37	>34	>30	>27	>23	>20	>17	
C	>28	>25	>23	>20	>18	>15	>13	
D	>22	>20	>18	>16	>14	>12	>10	
E	>17	>15	>14	>12	>11	>9	>8	
F	≤17	≤15	≤14	≤12	≤11	≤9	≤8	
F	bilo koja od navedenih vrednosti							> 1,0

* Odnos protoka i kapaciteta (v/c) za tokove koji se kreću pravo na izlaznoj graničnoj raskrsnici.

Opisana metodologija primenjuje se na odseke čija dužina ne prelazi 2 mi (≈3,2 km), a preporučuje se pažljiva primena na odsecima koji su kraći od 700 ft (≈200 m). U vremenskom smislu analiza može da se vrši na nivou jednog (vršnog) 15-minutnog intervala, na nivou jednog sata ili višestruka analiza po 15-minutnim intervalima tokom jednog sata. Analize na nivou jednog 15-minutnog intervala i na nivou jednog sata su uobičajene u fazi planiranja saobraćajnice. Višestruka 15-minutna analiza se primenjuje u slučajevima kada je odnos v/c veći od 1,0, i u tom slučaju analizira se svaki pojedinačni 15-minutni interval uzimajući u obzir period pre nastanak redova čekanja i nakon razilaženja vozila iz reda.

Korak 10. Ocena percepcije vozača

Ocena percepcije vozača predstavlja meru kvaliteta usluge odvijanja saobraćaja procenjenu od strane učesnika u saobraćaju. Vrednost ocene percepcije vozača izračunava se na osnovu verovatnoće da će vozači uslove odvijanja u saobraćaju oceniti određenim nivoom usluge (od B do F) koja u određenoj meri zavisi od dužine odseka i procenta raskrsnica duž odseka koje imaju izdvojenu traku za leva skretanja.

$$I_{a,seg} = 1 + P_{BCDEF} + P_{CDEF} + P_{DEF} + P_{EF} + P_F \quad (3.10)$$

gde je:

- $I_{a,seg}$ - ocena percepcije vozača
- P_{BCDEF} - verovatnoća da će vozač oceniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom B, C, D, E ili F
- P_{CDEF} - verovatnoća da će vozač oceniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom C, D, E ili F
- P_{DEF} - verovatnoća da će vozač oceniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom D, E ili F
- P_{EF} - verovatnoća da će vozač oceniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom E ili F
- P_F - verovatnoća da će vozač oceniti uslove odvijanja saobraćaja nivoom F

Ocena percepcije vozača koja ima vrednost manju od 2 označava veoma dobre uslove odvijanja saobraćaja. U slučaju kada ocena percepcije vozača ima vrednost veću od 5 smatra se da će vozač uslove odvijanja u saobraćaju oceniti kao veoma loše. Iako je koncept ocene percepcije vozača usko povezan sa nivoima usluge na gradskim saobraćajnicama ova veličina se ne može poistovetiti sa nivoom usluge jer predstavlja isključivo procenu kvaliteta odvijanja saobraćaja iz perspektive vozača.

POGLAVLJE

4

Analiza postojećih metodologija za definisanje uticaja izdvojenih pešačkih prelaza na nivo usluge

U okviru ovog poglavlja analizirana su postojeća istraživanja koja se odnose na utvrđivanje uticaja IPP na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama. Takođe, obrađene su preporuke za način regulisanja saobraćaja na IPP.

4. ANALIZA POSTOJEĆIH METODOLOGIJA ZA DEFINISANJE UTICAJA IZDVOJENIH PEŠAČKIH PRELAZA NA NIVO USLUGE

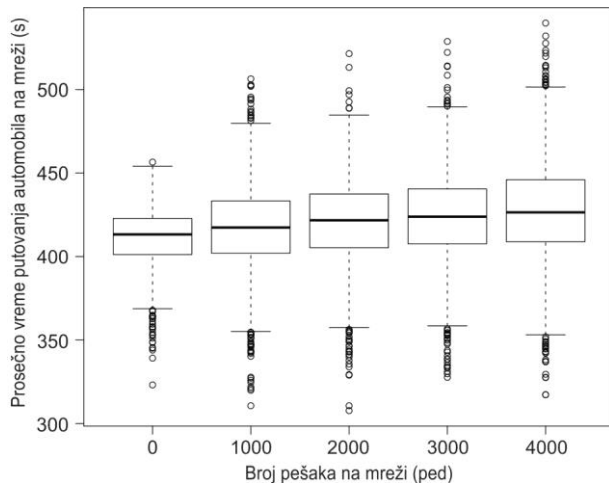
Najveći broj učesnika u saobraćaju barem u jednom delu svog puta učestvuje kao pešak, pa je odvijanje saobraćaja na gradskim saobraćajnicama gotovo nemoguće zamisliti bez interakcije između pešačkih i vozačkih tokova, barem u jednom delu mreže. Interakcija između pešaka i vozila najčešće se javlja na pešačkim prelazima. U poslednje dve decenije problematika uticaja IPP na uslove odvijanja saobraćaja u vozačkim tokovima bila je predmet nekoliko istraživanja u različitim delovima sveta. Predmetna istraživanja najvećim delom bazirana su na uticaju prelazaka pešaka na brzinu saobraćajnog toka i kapacitet saobraćajnice na kojoj se nalazi IPP. Različiti autori došli su do rezultata koji se u manjoj ili većoj meri podudaraju, što zavisi od načina pristupa problemu, specifičnih uslova područja obuhvaćenog istraživanjem, navika i ponašanja vozača. Iako postoje razlike u vrednostima dobijenih rezultata, na osnovu analize dosadašnjih istraživanja može se doneti generalni zaključak da pešačkih tokovi na IPP mogu uticati na pogoršanje uslova odvijanja saobraćaja na odseku kom pripada.

Uticaj pešaka na uslove odvijanja saobraćaja na uličnoj mreži

Da pešaci utiču na uslove odvijanja saobraćaja pokazano je u istraživanju koje je sprovedeno na simulacionom modelu ulične mreže grada Hanau u Nemačkoj ([Jorg, Andreas, & Ingo, 2012](#)). Ovo istraživanje nije konkretno vezano za uslove odvijanja saobraćaja na IPP, ali na dobar način opisuje uticaj pešačkih tokova na uslove odvijanja saobraćaja motornih vozila. Istraživanje je sprovedeno na mezo nivou gde je ispitan uticaj broja pešaka na mreži na prosečno vreme putovanja vozila na mreži. Analiziranim uličnom mrežom u simulacionom modelu obuhvaćeno je 550,0 km saobraćajnica, u gradu sa oko 89.000 stanovnika. Za potrebe ispitivanja uticaja pešaka na uslove odvijanja motornog saobraćaja formiran je bazni model sa 2.000 korisnika ulične mreže, od čega 95,0% automobila i 5,0% bicikala. Nakon analize zasnovane na baznom scenariju, simulacija je ponovljena uz dodavanje 1.000, 2.000, 3.000 i 4.000 pešaka na mreži.

U simulaciji je postavljen uslov da je broj pešaka na mreži uvek konstantan, kao i da se prelasci preko kolovoza vrše isključivo na pešačkim prelazima u zoni raskrsnice. Iz navedenih podataka ([Jorg et al., 2012](#)) može se zaključiti da je simulacija uticaja pešaka na saobraćajne tokove vršena u uslovima male gustine saobraćajnih tokova. Kako je navedeno, obradom rezultata simulacije utvrđeno je da postoji značajna

statistička razlika između vremena putovanja automobila na mreži prema različitim scenarijima. Drugim rečima, prisustvo pešaka, pa samim tim i prelazaka pešaka preko kolovoza, može da ima uticaj na uslove odvijanja saobraćaja na mreži, a u kojoj meri utiče prvenstveno zavisi od karakteristika tih tokova.



Slika 4.1 Uticaj pešaka na automobilski saobraćaj na urbanim saobraćajnicama (Jorg et al., 2012)

Tabela 4.1 Prosečno vreme putovanja automobila na mreži u zavisnosti od broja pešaka (Jorg et al., 2012)

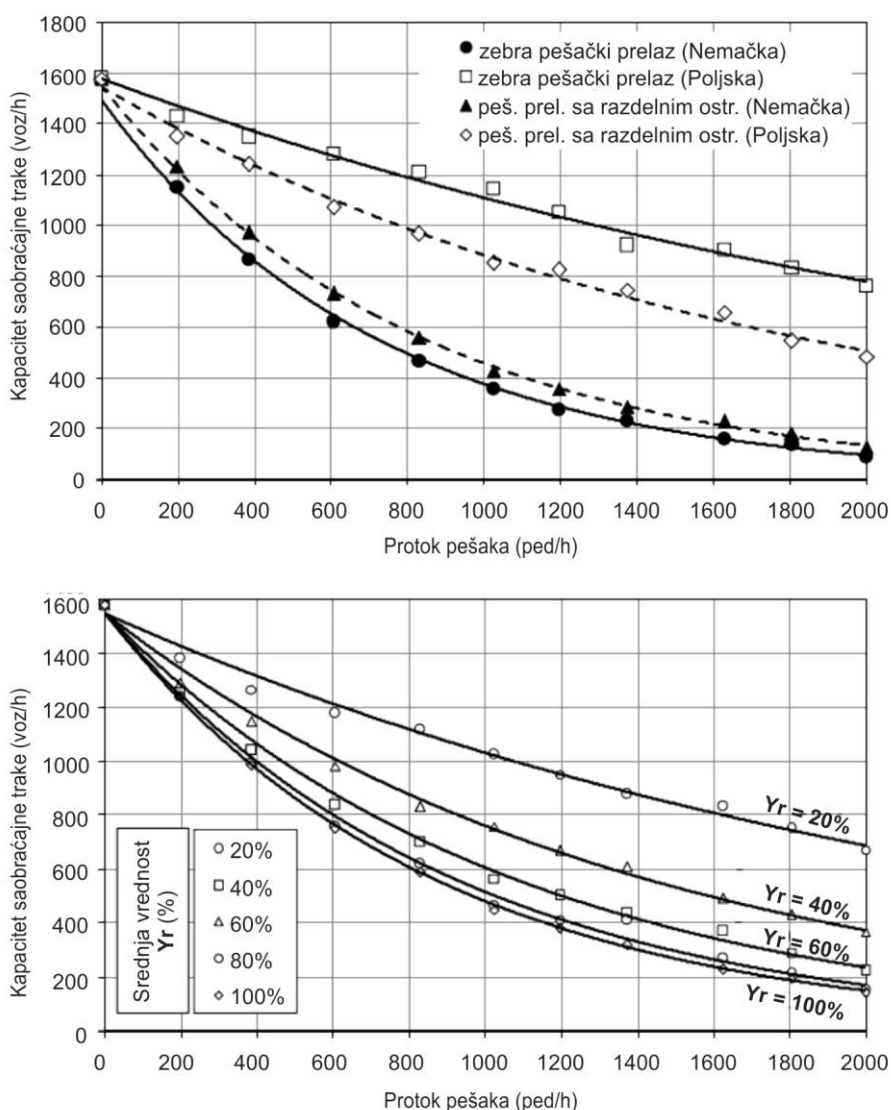
Broj pešaka na mreži	Prosečno vreme putovanja vozila
0	410,93 s
1.000	416,33 s
2.000	419,87 s
3.000	423,24 s
4.000	426,72 s

Uticaj IPP na kapacitet gradskih saobraćajnica

Jedno od dostupnih istraživanja koje prema svojoj sadržini i rezultatima predstavlja najopsežniji izvor informacija vezanih za temu kojom se bavi ova disertacija je istraživanje sprovedeno u gradu Krakov u Poljskoj (Bak & Kiec, 2012). U okviru ovog istraživanja analiziran je uticaj IPP na kapacitet gradskih saobraćajnica. Izlazni rezultati istraživanja dobijeni su na osnovu mikrosimulacije kreirane u programskom paketu VISSIM 5.1, pri čemu su parametri pešačkih i vozačkih tokova u simulaciji definisani na osnovu istraživanja na nekoliko lokacija u realnom saobraćajnom toku. U okviru istraživanja razmatrana su tri karakteristična slučaja regulisanja IPP: zebra pešački prelaz na dvotračnom putu, zebra pešački prelaz na dvotračnom putu sa razdelnim ostrvom i IPP opremljen svetlosnim signalima. Protok vozila, protok pešaka i stepen propuštanja pešaka na IPP uzeti su kao osnovni parametri pomoću kojih je definisan uticaj IPP na kapacitet gradske saobraćajnice. Prema ovim autorima (Bak & Kiec, 2012) uticaj IPP na kapacitet saobraćajnice u najvećoj meri može da zavisi od spremnosti odnosno obaveze vozača da ustupe prvenstvo prolaza pešacima, tj. od stepena propuštanja pešaka (Y_r). U cilju prikaza razlike uticaja IPP u zavisnosti od stepena propuštanja pešaka kao karakteristični primeri analizirani su slučajevi ponašanja vozača u Poljskoj gde prema zakonskoj regulativi vozači nemaju eksplicitnu obavezu da propuste pešake i Nemačkoj gde su vozači u obavezi da ustupe prvenstvo prolaza pešacima. Prema navodima autora na obeleženom zebra pešačkom prelazu u Poljskoj u samo 2,9 do 5,0% slučajeva vozači će ustupiti prvenstvo prolaza pešacima, dok se u Nemačkoj stepen propuštanja pešaka za isti slučaj kreće u granicama od 59,3 do 72,6% u zavisnosti od toga da li pešak čeka na prelazak ili se nalazi dalje od ivice kolovoza u kretanju sa namerom da izvrši prelazak preko

pešačkog prelaza. Na pešačkim prelazima sa razdelnim ostrvom (i jednom saobraćajnom trakom po smeru) stepen propuštanja pešaka iznosi 6,4% u slučaju kada pešak čeka na pešačkoj površini van kolovoza, dok za isti slučaj u Nemačkoj stepen propuštanja iznosi 65,1%. U slučaju kada se pešak nalazi na razdelnom ostrvu stepen propuštanja pešaka u Poljskoj iznosi 36,2% dok u Nemačkoj stepen propuštanja u ovom slučaju iznosi 93,2% (Bak & Kiec, 2012).

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da je uticaj IPP na kapacitet saobraćajnice značajno veći u slučaju kada vozači imaju obavezu da propuste pešake (Nemačka). U slučaju kada vozači nisu u obavezi da propuste pešake (Poljska) uticaj pešačkog prelaza na kapacitet saobraćajnice je značajno manji, ali se povećava ukoliko se pešački prelaz izvodi sa razdelnim ostrvom, što se objašnjava povećanjem stepena propuštanja pešaka.



Slika 4.2 Uticaj veličine protoka pešaka na kapacitet saobraćajnice (Bak & Kiec, 2012)

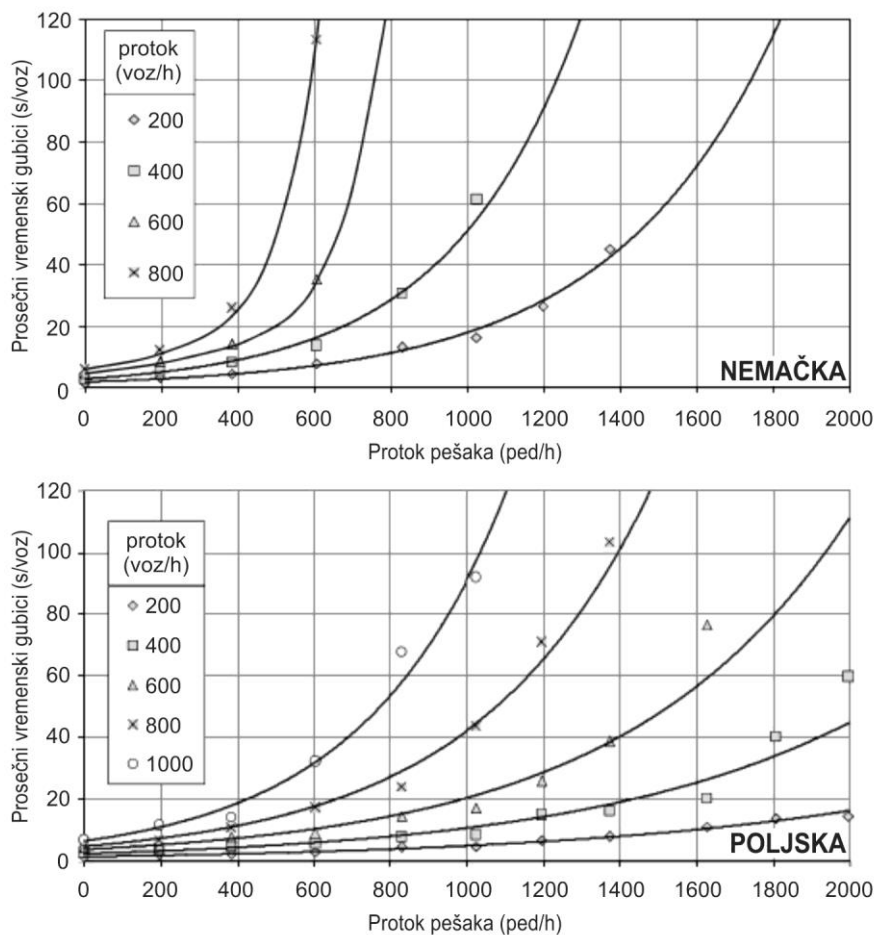
Na osnovu prikupljenih i analiziranih podataka generalna matematička relacija kojom se može opisati uticaj IPP na kapacitet saobraćajnice glasi:

$$c = 1550 e^{\frac{(1,75 Yr + 4,24) q_{ped}}{3600}} \quad (4.1)$$

gde je:

- c - kapacitet saobraćajne trake (voz/h/tr),
- 1550 - bazni kapacitet saobraćajne trake (voz/h/tr),
- q_{ped} - prosečan protok pešaka (ped/h),
- Yr - stepen propuštanja pešaka (%).

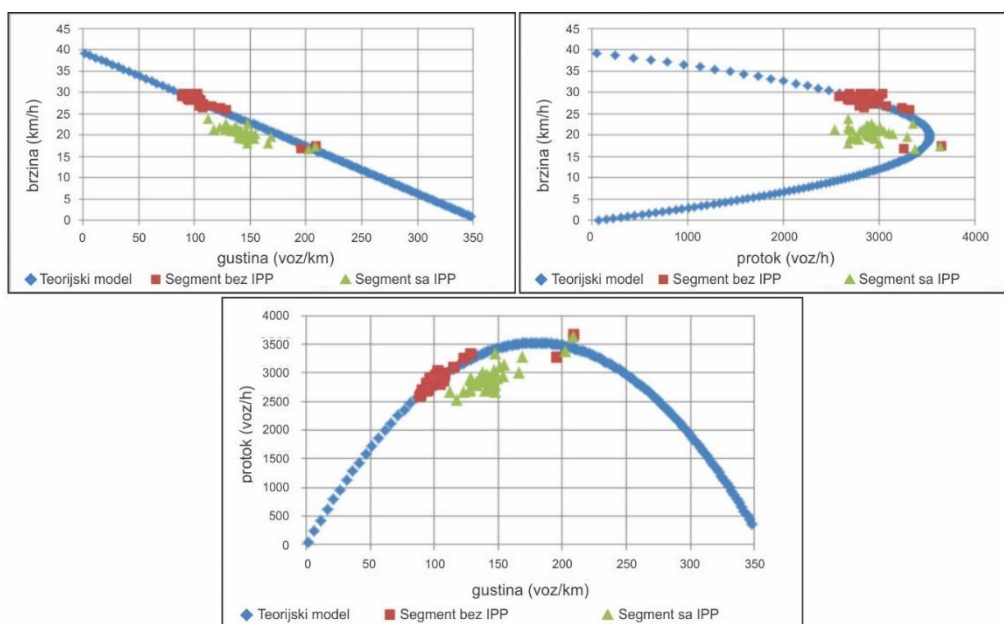
Na osnovu kreirane mikro simulacije utvrđeni su vremenski gubici vozila koji nastaju usled propuštanja pešaka na IPP. Simulacija je izvršena u više ponavljanja sa različitim vrednostima veličine protoka vozila i pešaka. Na narednim grafikonima prikazana je vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka u zavisnosti od veličine protoka pešaka i protoka vozila. S obzirom na utvrđenu činjenicu da uticaj pešaka na kapacitet saobraćajnice u velikoj meri zavisi od stepena propuštanja pešaka, pojedinačno je analiziran nastanak vremenskih gubitaka u Nemačkoj (veći stepen propuštanja pešaka) i Poljskoj (manji stepen propuštanja pešaka).



Slika 4.3 Veličina ostvarenih vremenskih gubitaka vozila u zavisnosti od veličine protoka pešaka i vozila (Bak & Kiec, 2012)

Uticaj nesignalisanih IPP na brzinu vozila

Jedno od poslednjih istraživanja koje se bavilo ovom tematikom sprovedeno je u Indiji, u gradu Guntur u državi Andra Pradeš (*Kadali, Chiranjeevi, & Rajesh, 2015*). Ovo istraživanje zasnovano je na obradi video materijala prikupljenog na dve lokacije koje predstavljaju odseke dužine 300 m. Na jednoj od posmatrane dve lokacije obeležen je nesignalisan IPP dok na drugoj lokaciji nije omogućen prelazak pešaka. Dve posmatrane lokacije identične su u smislu širine saobraćajnih i kolovoznih traka i ostalih geometrijskih karakteristika saobraćajnice. Nakon sprovedene obrade video materijala prikupljeni su podaci o brzinama vozila koja prilaze IPP, pojedinačno za sve kategorije vozila. Prema podacima prikupljenim na ove dve lokacije utvrđeno je da je srednja vrednost brzine vozila na lokaciji bez pešačkog prelaza iznosi $28,75 \pm 16,02$ km/h, dok na lokaciji sa obeleženim IPP srednja vrednost brzine vozila iznosi $21,04 \pm 4,85$ km/h (*Kadali et al., 2015*). Nakon prikupljenih podataka o brzinama vozila na obe lokacije izvršena je uporedna analiza pomoću ANOVA testa u cilju utvrđivanja uticaja pešaka na brzinu toka motornih vozila. Za dokazivanje razlike između dva nezavisna uzorka brzina postavljene su nulta hipoteza H_0 : ne postoji značajna razlika između brzina vozila na lokaciji sa i bez IPP i alternativna hipoteza H_1 : postoji značajna razlika između brzina vozila na lokaciji sa i bez IPP. Na osnovu rezultata ANOVA testa gde je dobijeno p-vrednost=0,000 i F-value=27,244 odbačena je nulta hipoteza. Dalja analiza ovih autora bazirana je na fundamentalnoj relaciji osnovnih parametara saobraćajnog toka protok-brzina-gustina (*Greenshields et al., 1935*). Na sledećoj slici prikazane su teorijske krive zavisnosti protoka, brzine i gustine toka prema osnovnoj relaciji (2.1) sa uporednim prikazom grupisanih podataka utvrđenih na osnovu sprovedenog istraživanja u gradu Guntur.



Slika 4.4 Dijagram odnosa protok-gustina-brzina na odseku sa i bez IPP (*Kadali et al., 2015*)

Na osnovu prikupljenih podataka, statističkom analizom utvrđen je matematički model pomoću kog je za dati uzorak moguće opisati zavisnost protok-brzina-gustina u situaciji

kada na odseku postoji IPP. Matematičke relacije kojim se prema ovim autorima može opisati zavisnost osnovnih parametara saobraćajnog toka na odseku sa obeleženim IPP su (Kadali et al., 2015):

$$v = 29,91 - 0,065 g; \quad R^2 \text{value} = 0,647 \quad (4.2)$$

$$q = v (29,91 - v)/0,065; \quad R^2 \text{value} = 0,212 \quad (4.3)$$

$$q = g (29,91 - 0,065 g); \quad R^2 \text{value} = 0,676 \quad (4.4)$$

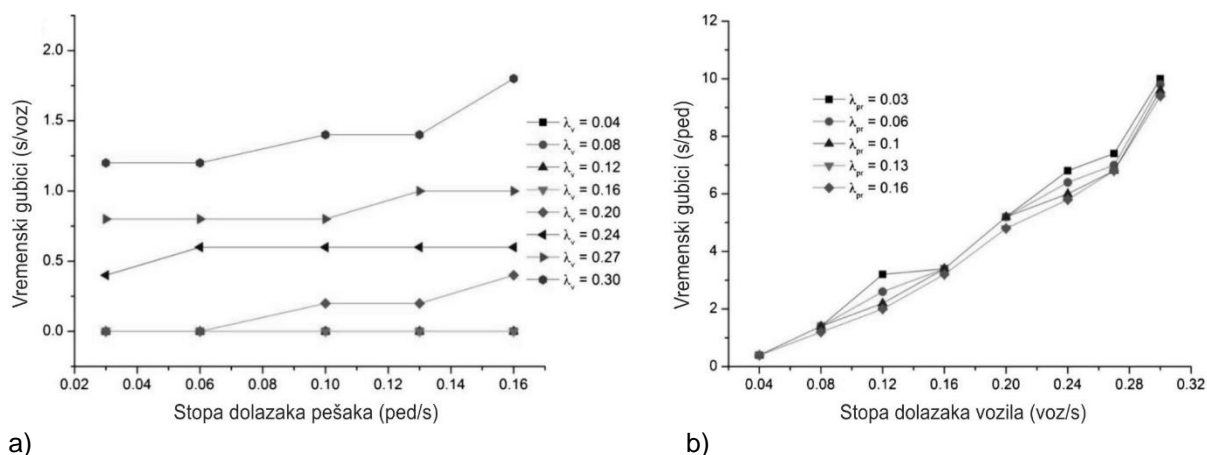
gde je:

- q - protok vozila,
- v - brzina saobraćajnog toka,
- g - gustina saobraćajnog toka.

Opisanim istraživanjem utvrđeno je da je brzina svih vozila na odseku sa IPP u proseku manja za 7,7 km/h (26,8%) od brzine koja se ostvari na odseku bez pešačkog prelaza.

Uticaj raspodele dolazaka pešaka na uslove odvijanja saobraćaja na nesignalisanom IPP

U okviru istraživanja na pešačkom prelazu u gradu Wuhan, Kina (Chen, Wu, & Zhu, 2016) izvršeno je modelovanje ponašanja pešaka i vozila na IPP sa ciljem da se opiše interakcija između ovih tokova i međusobni uticaj na uslove odvijanja saobraćaja. Modelovanje odvijanja saobraćaja na IPP u ovom slučaju izvršeno je primenom teorije igara jer se prema navodima autora interakcija između konfliktnih tokova na IPP u osnovi može posmatrati kao proces „takmičenja“ za korišćenjem ograničenog vremena i prostora. Istraživanje je bazirano na simulacionom modelu sa baznim vrednostima dobijenim prikupljanjem podataka u realnom saobraćajnom toku. Simulacija kretanja vozila i pešaka izvršena je primenom modela mozaične strukture. Kao ulazni parametri pešačkih tokova definisani su brzina pešaka ($\leq 2,0$ m/s), površina koju zauzima pešak ($0,5$ m²), i vremenska raspodela tj. stopa dolazaka pešaka na pešačkoj stazi (λ_{pr} – ped/s). U postupku simuliranja interakcije tokova usvojeno je da prelazak preko IPP vrši 54,0% pešaka koji se pojave na trotoaru. Maksimalne vrednosti brzine, ubrzanja i usporjenja vozila, učešće komercijalnih vozila i vremenska raspodela tj. stopa dolazaka vozila (λ_v – voz/s) definisani su kao ulazni parametri vozačkih tokova. Za potrebe kreiranja simulacije usvojeno je da se dolazak vozila i pešaka odvija u skladu sa Poasonovom raspodelom, kao i činjenica da se određen broj pešaka pojavljuje u grupama.



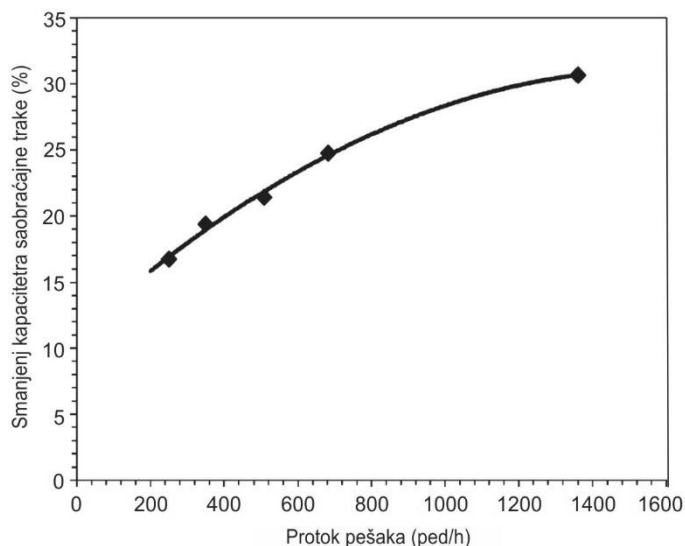
Slika 4.5 Uticaj stope dolaska pešaka i vozila na ostvarene vremenske gubitke (Chen et al., 2016)

Uslovi odvijanja saobraćaja na IPP izraženi su kroz ostvarene vrednosti vremenskih gubitaka pešaka i vozila. Varijacija vrednosti vremenskih gubitaka prikazana je u zavisnosti od vremenskih raspodela dolaska vozila i pešaka, izraženim u broju vozila, odnosno pešaka po sekundi. Na osnovu izlaznih rezultata simulacije zabeleženo je da sa porastom stope dolaska pešaka (λ_{pr}) vremenski gubici vozila beleže blag porast (Slika 4.5a). Ova zakonitost obrazložena je činjenicom da povećanje broja pešaka na IPP remeti kretanje vozila i produžava vreme potrebno za prolazak vozila kroz zonu IPP-a. Sa druge strane, porast stope dolaska vozila (λ_v) značajno utiče na povećanje vremenskih gubitaka koji nastaju u pešačkom toku (Slika 4.5b). Ovaj fenomen se objašnjava time što se povećanjem broja vozila smanjuje vremenski interval sleđenja, pa su pešaci primorani da u akumulacionoj zoni provode više vremena čekajući na adekvatan interval sleđenja između vozila.

Uticaj prelaska pešaka van pešačkog prelaza na kapacitet gradskih saobraćajnica

Smanjenje kapaciteta, odnosno pogoršanje uslova odvijanja saobraćaja na odsecima gradskih saobraćajnica izazvano pešačkim tokovima može se javiti i na delovima odseka na kojima ne postoji obeležen IPP. Istraživanjem koje je sprovedeno u više gradova u Indiji (Nju Delhi, Džaiapur, i Čandigarh) ispitan je uticaj pešaka na kapacitet središnjeg dela odseka u slučaju kada pešaci vrše prelazak kolovoza na mestu na kom nije obeležen IPP (Dhamaniya & Chandra, 2014). Iako je predmet ove doktorske disertacije ograničen na označene pešačke prelaze, rezultati ovog istraživanja prikazani su u kontekstu generalnog uticaja pešačkih prelazaka na kretanje motornih vozila. Ovo istraživanje sprovedeno je na gradskim magistralama sa fizički odvojenim smerovima i sa po tri saobraćajne trake po smeru. Pozicije obuhvaćene istraživanjem raspolažu kapacitetom od 1500 paj/h/tr do 2100 paj/h/tr, dok se veličina pešačkih tokova kreće u granicama od 200 ped/h do 1360 ped/h. Analizom uslova odvijanja saobraćaja na ovim lokacijama utvrđeno je da minimalni broj zabeleženih pešaka od 200 ped/h na saobraćajnici kapaciteta 2100 paj/h/tr umanjuje bazni kapacitet za 0,8%, dok sa druge strane maksimalan evidentiran broj pešaka od 1360 ped/h zabeležen na saobraćajnici kapaciteta 1500 paj/h/tr umanjuje bazni kapacitet saobraćajnice za

30,7%. Pored toga, zaključci ovih autora su da je uticaj protoka pešaka od 200 ped/h zasnovan na istraživanju na samo jednoj lokaciji i da bi trebalo predmet daljih detaljnijih istraživanja s obzirom na to da povećanje protoka pešaka za 50 ped/h povećava procenat smanjenja kapaciteta sa 0,81% na 16,73%. Na sledećoj slici prikazan je uticaj pešačkih tokova na kapacitet šestotračnog puta. Na dijagramu (Slika 4.6) nije prikazan odnos procenta smanjenja kapaciteta za veličinu protoka pešaka od 200 ped/h jer prema autorima ovaj slučaj treba da bude predmet daljih istraživanja.



Slika 4.6 Procenat smanjenja kapaciteta u zavisnosti od veličine protoka pešaka (Dhamaniya & Chandra, 2014)

Tabela 4.2 Vrednosti kapaciteta i protoka pešaka na analiziranim odsecima (Dhamaniya & Chandra, 2014)

Bazni kapacitet saobraćajnice (paj/h/tr)	Veličina pešačkog toka (ped/h)	Smanjenje kapaciteta (%)
2.100	682	24,76
2.100	508	21,43
1.500	1.360	30,67
1.650	250	16,73
1.650	350	19,39
2.100	200	0,81

Pored navedenog, u Indiji su sprovedena su još neka istraživanja sa istim ciljem, a jedno od njih je istraživanje sprovedeno u gradovima Kollam i Calicut. Za razliku od prethodnog ovo istraživanje izvršeno je na dvotračnim putevima čiji smerovi nisu fizički podeljeni. Kapacitet saobraćajnice na kojim je izvršeno istraživanje iznosio je 4391 paj/h u oba smera na lokaciji u gradu Kollam, i 2350 paj/h u oba smera na lokaciji u gradu Calicut. Ukupan časovni protok pešaka na obe lokacije iznosio je 650-700 ped/h. Nakon izvršene analize utvrđeno je smanjenje kapaciteta saobraćajnice za 37,0% u gradu Kollam i 30,0% u gradu Calicut (Kuttam, Babu, & Asaithambi, 2017).

4.1. Kritička i komparativna analiza

Istraživanje vezano za uticaj IPP na kapacitet gradske saobraćajnice (Bak & Kiec, 2012) prema svojoj sadržini predstavlja do sada najkompletnije istraživanje prema kom su definisani ključni parametri koji na ovim mestima utiču na kapacitet saobraćajnice. Istraživanje predstavlja kombinaciju analize realnog saobraćajnog toka i simulacionog modela. U analiziranom radu prikazana je matematička relacija (4.1) kojom je moguće opisati uticaj IPP na kapacitet gradske saobraćajnice kao i krive kojima je moguće opisati uticaj veličine pešačkih tokova i stepena propuštanja pešaka na nastanak vremenskih gubitaka (Slika 4.3). Ova metodologija odnosno rezultati poseduju

određena ograničenja koja sužavaju mogućnost primene i poređenje na uslove odvijanja na drugim lokacijama. U simulaciji na osnovu koje je definisan uticaj i nastanak vremenskih gubitaka usvojeno je da vozila na IPP pristizu po Poissonovoj raspodeli što se ne može reći ukoliko se na maloj udaljenosti pre IPP nalazi raskrsnica regulisana svetlosnom signalizacijom pomoću koje se vrši kontrolisano propuštanje vozila. Takođe, analiza je ograničena na lokacije sa po jednom trakom po smeru, dok je u praksi moguća pojava IPP preko kolovoza sa više od jedne trake po smeru, pa bi u ovom slučaju trebalo ispitati kako broj traka utiče na ponašanja vozača i pešaka sa fokusom na stepen propuštanja pešaka. Pored toga, umanjeno kapaciteta saobraćajnice i procenjena vrednost vremenskih gubitaka data je u zavisnosti od broja pešaka, dok je predmet daljih istraživanja usmeren na analizu prelaska pešaka u grupama i uticaj grupa pešaka na vozače i njihovu odluku o ustupanju prava prvenstva prolaza.

Istraživanje sprovedeno gradu Guntur (*Kadali et al., 2015*) zasnovano je na merenju osnovnih parametara saobraćajnog toka vozila. Na osnovu prikupljenih podataka i izvršene statističke analize utvrđena je relacija protok-brzina-gustina (4.2), (4.3) i (4.4) u situaciji kada je vozački tok ometen od strane pešaka na IPP. Prednost ovog modela je jednostavan matematički obrazac koji uzima u obzir lako merljive parametre saobraćajnog toka. Sa druge strane, osnovni nedostatak ovog modela je nemogućnost njegove primene van granica protoka obuhvaćenog istraživanjem. Predmetno istraživanje ograničeno je na dve lokacije na kojima se protok javlja u granicama 2.500 do 3.500 voz/h po smeru (dve saobraćajne trake), pri čemu važe specifični uslovi saobraćajnog toka koji je preko 50,0% sačinjen od dvotočkaša i trotočkaša (rikši), što značajno ograničava njegovu primenu u drugim uslovima. Sekundarni nedostatak modela je taj što veličina pešačkog toka ne figuriše kao jedan od parametar modela.

Rezultati istraživanja (*Chen et al., 2016*) zasnovani su na simulacionom modelu čiji su ulazni parametri definisani na osnovu podataka prikupljenih u realnom toku. Izlazni rezultati simulacije pokazali su da stopa dolazaka pešaka, odnosno broj pešaka na IPP utiče na nastanak vremenskih gubitaka u vozačkim tokovima. Takođe, dokazano je da porast broja vozila utiče na povećanje vremenskih gubitaka pešaka. Prednost prikazanog modela ogleda se u tome što na osnovu relativno malog broja parametara daje mogućnost utvrđivanja međusobnog uticaja pešačkog i vozačkog toka na uslove odvijanja saobraćaja na IPP. Sa druge strane, prema podacima datim u radu, definisanje ovog uticaja je moguće definisati samo analizom kroz simulaciju što predstavlja ograničenje metodologije. Pored toga, veličina pešačkog toka na IPP izražena je kroz stopu dolazaka pešaka na pešačkoj stazi sa kojom je povezan pešački prelaz, a broj pešaka na prelazu usvojen kao procentualna vrednost koja je fiksna u svim scenarijima simulacije. Ovakav način posmatranja protoka pešaka na pešačkom prelazu nije uobičajen u inženjerskoj praksi, pa se ovo može navesti kao nedostatak modela. S obzirom na to da je ponašanje pešaka veoma varijabilna karakteristika, dobijene rezultate ne bi trebalo posmatrati kao apsolutno relevantne i utvrđene zakonitosti u potpunosti poistoveti sa uslovima odvijanja saobraćaja na područjima gde pešaci imaju drugačije navike. Ovo se pogotovo odnosi na primenu u evropskim

zemljama gde se ponašanje pešaka u značajnoj meri razlikuje od ponašanja pešaka u azijskim zemljama (*Mitrović Simić et al., 2017; Pawar & Patil, 2015; Wang et al., 2010; Yannis et al., 2010*).

POGLAVLJE 5

Metodologija istraživanja

U okviru petog poglavlja doktorske disertacije data je metodologija istraživanja i opis lokacija na kojima je izvršeno istraživanje. Metodologija prikupljanja i obrade podataka obuhvata prikaz načina formiranja baza podataka i uređaja (tehnička sredstva) koja su korišćena za potrebe predmetnih istraživanja. U okviru metodologije obrade podataka ukratko su opisane matematičke metode i softverski alati koji su korišćeni prilikom obrade podataka. Opis lokacija obuhvata prikaz geometrijskih karakteristika lokacije u periodu kada je vršeno istraživanje.

5. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Prvi korak u definisanju metodologije je postavka hipoteza prema kojim na nastanak i veličinu vremenskih gubitaka vozila na IPP utiču određene saobraćajne karakteristike lokacije (protok pešaka, protok vozila, način dolaska vozila i pešaka, brzina pešaka, stepen propuštanja pešaka itd.) i geometrijske karakteristike lokacije (broj saobraćajnih traka, širina pešačkog prelaza, postojanje razdelnog ostrva itd.). Kako bi se dobili merodavni skupovi podataka za analizu svih faktora za koje se pretpostavi da imaju uticaj na nastanak vremenskih gubitaka vozila, predmetno istraživanje je sprovedeno u realnim uslovima, odnosno snimanjem stvarnog saobraćajnog toka na karakterističnim lokacijama.

Istraživanja koja su sprovedena za potrebe izrade ovog rada sastoje se iz dva nezavisna dela:

1. Istraživanja na mikrolokaciji IPP;
2. Istraživanja na odsecima gradskih saobraćajnica.

Prvi deo istraživanja, istraživanja na mikrolokaciji IPP, obuhvata snimanje karakteristika pešačkih i vozačkih tokova, u zoni dužine 10-30 m neposredno pre IPP posmatrano u smeru kretanja vozila i na samom prelazu. Cilj ovog istraživanja je utvrđivanje zakonitosti ponašanja pešaka i vozila na IPP kao i interakcije između ovih tokova. Za potrebe analize beležena su referentna vremena (trenutak) svakog karakterističnog događaja (vreme dolaska vozila, vreme prelaska preko pešačkog prelaza, stupanje pešaka na kolovoz itd.) na osnovu kojih se kasnije matematičkim putem opisuje (rekonstruiše) proces odvijanja saobraćaja.

Drugi deo istraživanja obuhvata merenje brzine i vremena putovanja vozila na odsecima gradskih saobraćajnica na kojima postoji obeležen nesignalisan (nesemaforisan) IPP. Prikupljanje podataka u okviru ovog dela istraživanja sprovedeno je metodom pokretnog osmatrača. Cilj drugog dela istraživanja je da se na osnovu merenja na više različitih lokacija pokaže na koji način IPP utiče na vreme putovanja i prosečnu brzinu putovanja na odseku. Za potrebe analize koja proizilazi iz ovog dela istraživanja izvršena je osnovna klasifikacija reprezentativnih parametara toka na odseku na sledeći način:

- brzina i vreme putovanja u slučaju kada postoji ometanje od strane pešaka na izdvojenom pešačkom prelazu,
- brzina i vreme putovanja u slučaju kada ne postoji ometanje od strane pešaka na izdvojenom pešačkom prelazu
- prosečna brzina i vreme putovanja na odseku, odnosno delu odseka (segmentu) na kojem postoji izdvojen pešački prelaz.

Nakon istraživanja koje je sprovedeno na terenu izvršeno je formiranje skupova podataka. Na kreiranim skupovima podataka vršena je statistička analiza u skladu sa prirodom podataka i potrebama za dokazivanjem određenih pretpostavki.

5.1. Osnove primenjenih matematičkih i statističkih alata

Vrlo često rezultati analize u okviru koje se dokazuju ili pokazuju zakonitosti određenih pojava mogu biti teško razumljive, pogotovo ako ta pojava nije opšta, odnosno pripada veoma uskoj naučno istraživačkoj oblasti. Prikupljeni skupovi podataka prikazani u izvornom obliku veoma često, pa i u slučaju predmetnog istraživanja, su nepregledni i na osnovu formiranih tabela ili nizova numeričkih podataka nije moguće doneti nikakav zaključak niti utvrditi pravac dalje analize. Kako bi prikaz određenih rezultata bio pregledniji često se prikazuje kao niz statističkih termina i simbola. Područjem opisivanja konkretnih rezultata koji su dobijeni prilikom nekog istraživanja, odnosno merenja, bavi se deskriptivna statistika. Osnovni cilj primene deskriptivne statistike je sažeto i pregledno prikazivanje skupova podataka i rezultata istraživanja.

Mnoge pojave pokazuju međusobnu zavisnost, odnosno promena vrednosti parametara koji definišu jednu pojavu neizostavno prouzrokuje, u manjoj ili većoj meri, promenu parametara koji definišu drugu pojavu. Ovakva povezanost dve različite pojave ili slučaja naziva se korelacija. Postojanje korelacije između dva parametra je veoma korisno i omogućava postavljanje prognoze iz jedne pojave u drugu. Što je korelacija veća prognoza je tačnija. Ukoliko postoji korelacija između određenih parametara sledeći korak u analizi, koji je ključan u ovom radu, jeste zaključivanje iz konkretnog slučaja na opšti zakon. U nastavku opisani su osnovni statistički parametri i metode koje su korišćene za potrebe izrade predmetne analize i obrade skupova podataka prikupljenih istraživanjem. Za potrebe vršenja statističke analize i kreiranja modela korišćen je softverski paket Minitab®, verzija 17.0.1.

Deskriptivna statistika

Za potrebe sažetog opisa skupova podataka koji su korišćeni u procesu formiranja modela korišćene su sledeće statističke mere:

- Aritmetička sredina (Mean) koja predstavlja odnos suma svih rezultata i broja rezultata.
- Standardna greška srednje vrednosti (SE Mean) predstavlja meru koja definiše koliko precizno aritmetička sredina opisuje prosečnu vrednost populacije i koristi se za definisanje intervala poverenja.
- Standardna devijacija (StDev) izračunava se kao kvadratni koren iz varijanse. Varijansa u statistici predstavlja meru varijabiliteta uzorka i izračunava se kao aritmetička sredina zbira kvadriranih odstupanja.
- Minimalna vrednost realizovanog uzorka (Minimum).
- 25. percentil tj. donji kvartil (Q1) 25% granična vrednost kumulativne frekvencije uzorka (25% članova uzorka imaju vrednost manju ili jednaku utvrđenoj vrednosti Q1).

- Medijana (Median, η) je vrednost koja se nalazi na polovini, odnosno u centru kumulativne frekvencije uzorka (50% članova uzorka imaju vrednost manju ili jednaku utvrđenoj vrednosti medijane – 50% percentil)
- 75. percentil tj. gornji kvartil (Q3) 75% granična vrednost kumulativne frekvencije uzorka (75% članova uzorka imaju vrednost manju ili jednaku utvrđenoj vrednosti Q1).
- Maksimalna vrednost realizovanog uzorka (Maximum).

Testiranje statističkih hipoteza

Hipoteza predstavlja pretpostavku koja je zasnovana na određenim naučnim ili iskustvenim činjenicama. Jednom formirana hipoteza se uz pomoć odgovarajućeg statističkog metoda koristi za izvođenje određenih zaključaka o posmatranom problemu. Za potrebe testiranja hipoteza primenjuju se parametarski i neparametarski statistički testovi. Svaka pretpostavka (hipoteza) o nepoznatom parametru raspodele naziva se parametarska hipoteza, a postupak njenog potvrđivanja ili odbijanja na osnovu uzorka je parametarski test. Statistika koja se koristi u tom postupku je test statistika. Hipoteze koje se ne odnose na parametre se proveravaju neparametarskim testovima. Jednu grupu ovih testova čine testovi saglasnosti (sa raspodelom), kod kojih se hipoteza odnosi na oblik tj. vrstu raspodele obeležja.

Nulta hipoteza (H_0) predstavlja tvrdnje o vrednosti nekog parametra osnovnog skupa koja se testira. Cilj testiranja je da se ta pretpostavka statistički potvrdi ili ospori. Nasuprot nulte hipoteze je alternativna hipoteza (H_1) koja sadrži sve ostale vrednosti parametra osnovnog skupa koje nisu obuhvaćene nultom hipotezom. Testiranje hipoteza uvek se vrši sa određenim rizicima greške prilikom prihvatanja ili odbacivanja hipoteze, a ti rizici opisani su verovatnoćom.

Tabela 5.1 Rizici greške kod testiranja hipoteza (*Petz, 1985*)

	H_0 je istinita u osnovnom skupu	H_0 nije istinita u osnovnom skupu
Testiranjem H_0 se odbacuje	Greška prve vrste uz verovatnoću α	Dobra odluka uz verovatnoću $1-\alpha$
Testiranjem H_0 se ne odbacuje	Dobra odluka uz verovatnoću $1-\beta$	Greška druge vrste uz uslovnu verovatnoću β

Parametar α predstavlja prag značajnosti i praktično predstavlja verovatnoću da je testirana hipoteza pogrešna. Vrednost praga značajnosti u najvećoj meri definiše važnost posledice u slučaju pogrešnog zaključka. U standardnim analizama najčešće prihvaćena vrednost praga značajnosti je 1%, 5% ili čak blaži slučaj kada se za ovaj parametar usvaja vrednost 10% (*Petz, 1985*). Klasičan način testiranja hipoteza vrši se utvrđivanjem p-vrednosti. U statističkom testiranju hipoteze, p-vrednost (eng. *probability value*) za dati statistički model verovatnoća je da će, kada je nulta hipoteza tačna, statistički parametar biti veći ili jednak stvarno uočenom rezultatima (*Wasserstein & Lazar, 2016*). Savremeni softveri za statističku analizu najčešće izračunavaju p-vrednost statističkog testa. U slučaju prihvaćenog praga značajnosti

$\alpha=0,05$ i ukoliko je utvrđena p -vrednost $>0,05$, ne odbacuje se nulta hipoteza, jer je verovatnoća da je uočena veza između varijabli nastala delovanjem slučaja veća od 5%. Ukoliko je verovatnoća $p < 0,05$, odbacuje se nulta hipoteza, jer je verovatnoća da je uočena veza između varijabli nastala delovanjem slučaja manja od 5%. Utvrđene razlike kojima odgovaraju p -vrednosti manje od 0,05 se zbog navedenog smatraju statistički značajnim razlikama. Treba ipak napomenuti da statistička značajnost nije isto što i praktična značajnost. Mala razlika može biti statistički značajna, a da nema praktični značaj (*E-Statistika, 2011*).

Distribucija uzorka

Mereći različite pojave i karakteristike dobijaju se vrednosti koje nisu identične, imaju tendenciju grupisanja oko centralne vrednosti (vertikalno) i tendenciju raspršivanja (horizontalno) oko srednje vrednosti uzorka. Kriva koja opisuje tako koncentrisane klase podataka naziva se distribucija. Jedna od najčešćih raspodela naziva se normalna raspodela ili Gausova raspodela koju karakteriše zvonasta kriva. U slučaju normalne raspodele članovi skupa podataka imaju tendenciju grupisanja oko srednje vrednosti, a broj članova skupa se jednako smanjuje prema ekstremnim vrednostima. Poznavanje distribucije posmatranog skupa podataka veoma je bitno kako bi se primenili adekvatni testovi za poređenje dva uzorka (npr. empirijski utvrđen broj prelazaka pešaka i broja prelazaka utvrđen modelom). U okviru analiza ispitivana je saglasnost samo sa normalnom raspodelom. Ukoliko su posmatrani uzorci bili saglasni sa normalnom raspodelom za uporednu analizu korišćen je uporedni test značajnosti razlike između aritmetičkih sredina dva nezavisna uzorka (parametarski test). U suprotnom slučaju, kada uzorak nije saglasan sa normalnom raspodelom, korišćen je neparametarski test koji analizira jednakost medijana dva nezavisna uzorka.

Za utvrđivanje saglasnosti uzorka sa normalnom raspodelom korišćen je Anderson-Darling test u okviru kog se vrši poređenje funkcije empirijske kumulativne distribucije posmatranog uzorka sa očekivanom distribucijom u slučaju da podaci imaju normalnu raspodelu. Za primenu testa na saglasnost podatka sa normalnom raspodelom definisane su sledeće hipoteze:

H_0 : posmatrani skup podataka ima saglasnost sa normalnom distribucijom

H_1 : posmatrani skup podataka nije u saglasnosti sa normalnom distribucijom

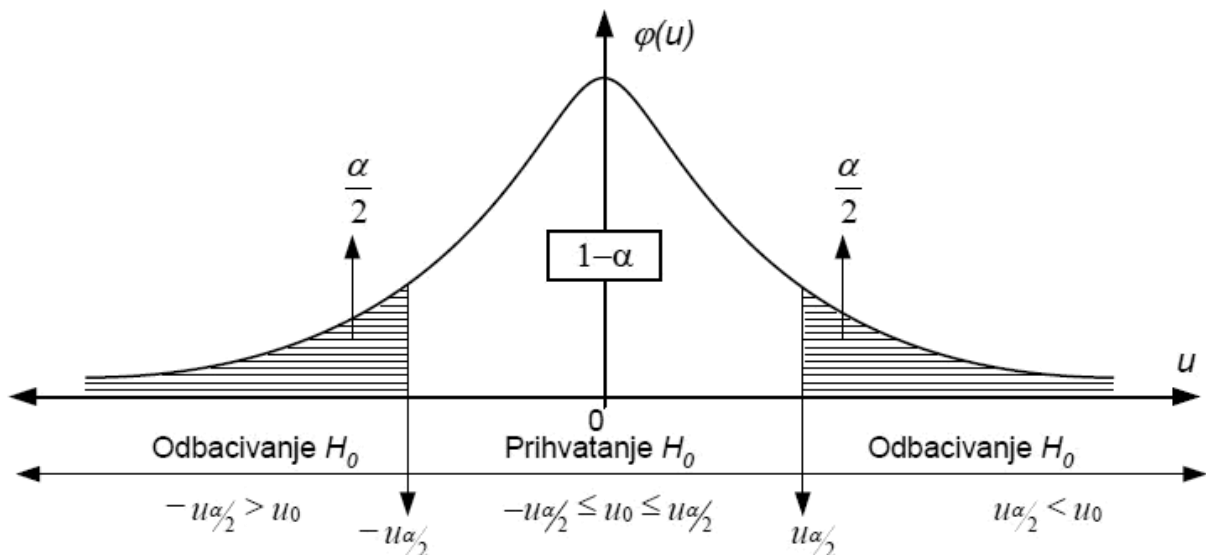
Uporedni testovi skupova podataka

Uporedni testovi dva skupa podataka (npr. podaci izmereni na terenu i podaci dobijeni modelom) vršeni su sa ciljem da se pokaže da li postoji razlika između posmatranih obeležja, odnosno da li je ta razlika statistički značajna. U slučajevima kada analizirani skupovi podataka imaju saglasnost sa normalnom raspodelom korišćen je dvosmerni (2-Sample t) test. Pomoću ove statistike testiraju se hipoteze o jednakosti srednjih vrednosti obeležja kada je standardna devijacija nepoznata..

H_0 : ne postoji razlika između srednjih vrednosti (μ) posmatranih obeležja ($\mu_1 - \mu_2 = 0$)

H_1 : postoji razlika između srednjih vrednosti (μ) posmatranih obeležja ($\mu_1 - \mu_2 \neq 0$).

Prihvatanje ili odbacivanje jedne od postavljenih hipoteza vrši se na osnovu utvrđene p-vrednosti i definisanog praga značajnosti α po prethodno opisanom principu.



Slika 5.1 Oblasti prihvatanja i odbacivanja nulte hipoteze H_0 u slučaju dvosmernog testa (Savić, 2014)

U slučaju kada posmatrani uzorci nezavisni i nisu u saglasnosti sa normalnom raspodelom primenjen je neparametarski Mann-Whitney test. Ovim testom ispitane su hipoteze o jednakost medijana posmatranih obeležja pod pretpostavkom da su analizirani skupovi podataka nezavisni i imaju saglasnost sa istom raspodelom.

H_0 : ne postoji razlika između medijana (η) posmatranih obeležja ($\eta_1 = \eta_2$)

H_1 : postoji razlika između medijana (η) posmatranih obeležja ($\eta_1 \neq \eta_2$).

Za razliku od dvosmernog parametarskog testa ovaj test je manje precizan i ima širi interval poverenja.

Ukoliko se radi o sparenim uzorcima koji nisu u saglasnosti sa normalnom raspodelom korišćen je Wilcoxon signed-rank test. Ovim testom ispituje se saglasnost medijane uzorka sa zadatom (hipotetičkom) vrednošću medijane.

H_0 : medijana posmatranog uzorka jednaka je hipotetičkoj vrednosti medijane

H_1 : medijana posmatranog uzorka nije jednaka (veće ili manje) hipotetičkoj vrednosti medijane

Koeficijent korelacije

Koeficijentom korelacije definiše se stepen povezanosti dve promenljive. Kad god postoji značajna korelacija između dve varijable može se vrednost jedne varijable iskoristiti za predviđanje vrednosti druge varijable. Vrednost ovog koeficijenta (r) kreće se u granicama između "-1" i "+1". Ukoliko korelacioni koeficijent ima pozitivan predznak onda je veza između dve posmatrane varijable direktna, odnosno povećanje jedne varijable u većoj ili manjoj meri prouzrokuje povećanje druge varijable. U suprotnom slučaju, kada korelacioni koeficijent ima negativan predznak povećanje

jedne varijable prouzrokuje smanjenje druge varijable, tj. zavisnost među varijablama je obrnuta. Pored smera (predznaka), veoma je bitna i jačina povezanosti, pa tako veća apsolutna vrednost koeficijenta korelacije označava jaču povezanost posmatranih varijabli. U slučaju kada koeficijent korelacije ima vrednost približno jednaku 0 (nula) može se doneti zaključak da između dve posmatrane varijable ne postoji zavisnost, odnosno promena vrednosti jednog parametra ne utiče na promenu vrednosti drugog člana posmatranog para.

Regresiona analiza

Činjenica da postoji korelacija između dve promenljive veoma često je korisna ali ne i dovoljna za rešavanje konkretnih problema. Praktična primena povezanosti određenih varijabli često podrazumeva prognoziranje vrednosti jedne (nepoznate) varijable na osnovu vrednosti druge (poznate) varijable. Ova statistička tehnika naziva se regresiona analiza i podrazumeva formiranje jednačine koja povezuje zavisnu promenljivu sa jednom (prosta regresija) ili više nezavisnih promenljivih (višestruka regresija). Prema prirodi veze, regresija može biti linearna, kod koje postoji linearna povezanost između nezavisnih promenljivih i zavisne promenljive ili nelinearna, kod koje zavisnost između promenljivih može biti opisana krivom (kvadratna regresija, polinomna regresija, eksponencijalna i dr.) (*Chiang, 2003*). U okviru predmetnog istraživanja, za potrebe formiranja modela, korišćena je višestruka linearna i višestruka nelinearna regresiona analiza.

Regresionu jednačinu definišu zavisna (responsna) promenljiva, nezavisne (prediktorske) promenljive i regresioni koeficijenti, a višestruka linearna regresija može biti zapisana u sledećem obliku:

$$y = \varepsilon + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (5.1)$$

gde je:

- y - zavisna (responsna) promenljiva,
- $x_1; x_2; x_n$ - nezavisne (prediktorske) promenljive,
- $\beta_1; \beta_2; \beta_n$ - regresioni koeficijenti,
- ε - slučajna komponenta modela (slobodan član)

Jedan od kriterijuma za formiranje regresije je metoda najmanjih kvadrata. Metod se sastoji u tome da se za ocenu parametra uzima ona vrednost za koju je zbir kvadrata reziduala minimalan. Reziduali predstavljaju razliku izmerenih vrednosti od vrednosti koju definiše kriva funkcije regresije, odnosno vertikalna odstupanja tačaka izmerenih vrednosti od linije regresije.

Interpretacija rezultata dobijenih regresionim modelom u prvom koraku vrši se proverom koeficijenta determinacije R-Sq (R^2). R-Sq predstavlja jednu od statističkih mera valjanosti modela i opisuje u kom procentu je definisana kriva regresionog modela (responsna promenljiva) opisana prediktorima. Vrednost R-Sq uvek se kreće u granicama od 0% do 100%. Ukoliko ovaj koeficijent ima vrednost blisku 0% znači da model ne opisuje zavisnost između responsne i prediktivnih promenljivih, dok vrednost

100% znači da model savršeno opisuje zavisnost između responsne i prediktivnih promenljivih. Pored R^2 ne treba zanemariti i korigovani koeficijent determinacije $R^2(\text{adj})$ i predikcioni koeficijent determinacije $R^2(\text{pred})$. $R^2(\text{adj})$ je modifikovani R^2 koji je prilagođen broju prediktora u modelu. Karakteristika $R^2(\text{adj})$ je da se on povećava samo ako novi uvedeni prediktor poboljša model više nego što bi se slučajno očekivalo, a smanjuje se kada prediktor poboljšava model manje nego što se slučajno očekuje. Analiza vrednosti koeficijenta $R^2(\text{pred})$ važna je u slučaju višestruke regresije prilikom postupka izbora prediktora u okviru modela. $R^2(\text{pred})$ definiše koliko dobro utvrđeni regresioni model predviđa vrednost zavisne promenljive u slučaju ako bi postojeće prediktivne promenljive bile određene kao nova observacija. $R^2(\text{pred})$ ima ključnu ulogu u pokazivanju predimenzionisanja modela. U određenim situacijama R^2 i $R^2(\text{adj})$ mogu imati visoke vrednosti, a $R^2(\text{pred})$ vrednost 0 ili negativnu. U tom slučaju, iako na prvi pogled model izgleda kao dobar, on praktično nije primenjiv i ne opisuje na dobar način zavisnost responsne i prediktivnih promenljivih. Programski paket koji je korišćen za predmetnu statističku analizu automatski izračunava vrednosti navedenih koeficijenata determinacije i predstavlja ih kao deo izveštaja statističke analize generisanog iz softvera. Pored pomenutog softvera Minitab®, za potrebe izbora najbolje jednačine u slučaju nelinearne regresije korišćen je programski paket Eureka®.

U sledećem koraku provere valjanosti modela vrši se analiza grafika reziduala jer visok koeficijent korelacije ne znači neizostavno i to da je utvrđen model dobar. Reziduali prikazani na grafiku treba da budu slučajno raspoređeni oko linije koja predstavlja krivu regresije, odnosno položaj reziduala ne sme biti takav da jasno opisuje krivu određenog oblika.

5.2. Izbor lokacija na kojim je vršeno istraživanje

Pre početka istraživanja, bilo da se radi o mikrolokaciji IPP ili odsecima gradskih saobraćajnica, izvršen je odabir lokacija pogodnih za vršenje ispitivanja karakteristika događaja koji je predmet rada. Osnovni kriterijum je da analizirana lokacija mora biti IPP na kom ukrštanje pešačkih i vozačkih tokova nije regulisano semaforima. Prilikom izbora posebna pažnja je posvećena tome da se izabrane lokacije razlikuju prema veličini protoka pešaka i vozila kako bi se obuhvatio što veći opseg ovih parametara.

Sve izabrane lokacije nalaze se na gradskim saobraćajnicama na kojima je dozvoljena brzina definisana opštim ograničenjem brzine, odnosno 50 km/h. Prema načinu odvijanja saobraćaja izabrane saobraćajnice mogu da budu sa nepodeljenim smerovima i sa podeljenim smerovima (saobraćajnice bulevarskog tipa). Pored toga, u trenutku istraživanja na izabranim lokacijama morali su da postoje uslovi dobre preglednosti u zoni IPP kako bi se eliminisao uticaj iznenadnog pojavljivanja pešaka na kretanje vozila (Coley, Wesley, Reed, & Parry, 2008). Istraživanje je vršeno u vremenskim uslovima koji pogodno utiču na odvijanje saobraćaja, odnosno vreme bez kiše, magle, jakog vetra, snega i drugih nepovoljnih vremenskih uslova koji mogu negativno uticati na kretanje vozila i ponašanje vozača (Goodwin, 2002).

5.2.1. Uticaj načina izvedbe IPP na uslove odvijanja pešačkog i saobraćaja motornih vozila

IPP se u zavisnosti od lokalnih uslova i potreba na uličnoj mreži mogu izvesti na različite načine. Često se u cilju zaštite pešaka sprovode različite regulativne mere kao i građevinske intervencije koje podrazumevaju izmenu geometrijskih karakteristika saobraćajnice. Ove mere najčešće podrazumevaju ugradnju usporivača saobraćaja ispred pešačkog prelaza ili denivelaciju samog pešačkog prelaza umesto konvencionalnog obeležavanja samo oznakom na putu. S obzirom na to da je primena ovih mera česta, izvršeno je prethodno istraživanje sa ciljem da se utvrdi da li se i u kojoj meri javljaju razlike u kvalitativnim pokazateljima uslova odvijanja saobraćaja na IPP koji je izveden u vidu platforme. Rezultat istraživanja upotrebljen je kao jedan od kriterijuma za izbor konačnih lokacija na kojim su sprovedena istraživanja.

Kao merodavna lokacija izabran je denivelisan IPP u ulici dr Sime Miloševića u kampusu Univerziteta u Novom Sadu. Osnovni cilj ovog istraživanja je utvrđivanje efekata izdizanja pešačkog prelaza kao mere za usporeenje na parametre saobraćajnog toka i ponašanje učesnika u saobraćaju. Prikupljanje podataka izvršeno je beleženjem i obradom video materijala (detaljnije opisano u tački 5.4.1). Na osnovu formirane baze podataka matematičko-statističkom analizom utvrđeni su parametri kao što su brzina pojedinačnog vozila ili pešaka, vreme prelaska pešaka preko pešačkog prelaza, vremenske raspodele protoka i ostali potrebni podaci. Predmetno istraživanje sprovedeno je snimanjem uslova odvijanja saobraćaja u dva navrata to:

- pre rekonstrukcije pešačkog prelaza, u februaru 2015. godine
- nakon rekonstrukcije pešačkog prelaza, u oktobru 2017. godine.

Analizirani pešački prelaz je pozicioniran tako da predstavlja glavnu vezu između dve celine kampusa (studentski domovi sa jedne strane i zgrade fakulteta sa druge strane) pa ovaj pešački prelaz karakterišu intenzivni pešački tokovi. Sa druge strane, ovaj pešački prelaz nalazi se na glavnoj saobraćajnici za pristup kampusu, na kojoj u najvećoj meri saobraćaju putnički automobili i vozila javnog prevoza. Pre izvršene rekonstrukcije predmetnu saobraćajnicu činile su dve saobraćajne trake širine 3,0 m, namenjene za odvijanje saobraćaja u oba smera, a širina pešačkog prelaza iznosila je 3,0 m. Prelaz je bio obeležen odgovarajućim oznakama na putu u vidu punih i praznih polja rastera 0,5 m, i odgovarajućim saobraćajnim znakovima obaveštenja. Sa obe strane kolovoza postojale su pristupne rampe za invalide kao i adekvatan prostor za čekanje pešaka (Slika 5.2). Nakon izvršene rekonstrukcije širina kolovoza ostala je ista, a IPP je izveden u vidu izdignute platforme trapezoidnog oblika, popločan odnosno izgrađen od behaton elemenata, ukupne širine 5,3 m gde korisna izdignuta površina iznosi 2,9 m a širina prelaznih kosina sa obe strane iznosi 1,2 m. Horizontalna saobraćajna signalizacija, odnosno saobraćajni znak obaveštenja za pešački prelaz (III-6) zadržan je sa obe strane kolovoza. Pristup pešačkom prelazu, kao i prostor za čekanje su prilagođeni novom rekonstruisanom stanju (Slika 5.3).



Slika 5.2 Izgled pešačkog prelaza pre rekonstrukcije



Slika 5.3 Izgled pešačkog prelaza nakon rekonstrukcije

Na osnovu podataka dobijenih predmetnim istraživanjem izvršena je statistička analiza brzina kretanja vozila u zoni posmatranog pešačkog prelaza pre i nakon rekonstrukcije. Cilj analize je da se pokaže da li postoji razlika u brzinama vozila i u kojoj meri se ona javlja. Kako bi se eliminisao faktor uticaja pešaka na brzinu kretanja vozila u predmetnoj analizi uzete su u obzir samo brzine vozila koja prilaze pešačkom prelazu u situaciji kada posmatrani prelaz nije zauzet od strane pešaka, odnosno nema pešaka koji čekaju na prelazak. Posmatrani uzorci imaju sledeće karakteristike:

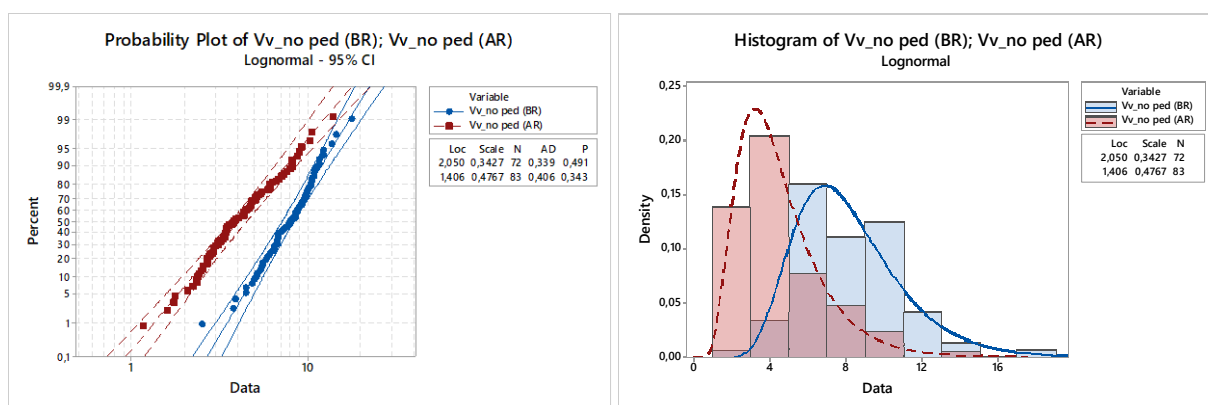
Tabela 5.2 Rezultati izmerenih brzina vozila

	N	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Vv_no ped (BR)*	72	8,20	2,71	2,52	6,34	7,97	9,84	17,80
Vv_no ped (AR)**	83	4,57	2,35	1,16	2,93	3,83	5,49	14,00

* Vv_no ped (BR) – brzina vozila pre rekonstrukcije bez uticaja pešaka (m/s)

** Vv_no ped (AR) – brzina vozila nakon rekonstrukcije bez uticaja pešaka (m/s)

Analizom izmerenih brzina vozila utvrđeno je da prikupljeni uzorci brzina vozila pre i nakon rekonstrukcije pešačkog prelaza u najvećoj meri imaju karakteristike lognormalne raspodele (p-vrednost za Vv_no ped (BR) je 0,491, i P-vrednost za Vv_no ped (AR) je 0,343). Na sledećoj slici prikazani su karakteristični dijagrami koji opisuju uzorak brzina vozila pre i nakon rekonstrukcije pešačkog prelaza.



Slika 5.4 Grafikoni raspodele podataka za izmerene brzine Vv_no ped (BR) i Vv_no ped (AR)

Poređenje brzina vozila pre i nakon rekonstrukcije izvršeno je Mann-Whitney neparametarskim testom sa definisanim pragom značajnosti $\alpha=0,05$. Nulta hipoteza ovog testa je da u slučaju pre i nakon rekonstrukcije nije došlo do promene u brzinama vozila. Kao alternativna hipoteza određeno je da brzina vozila pre rekonstrukcije pešačkog prelaza nije jednaka brzini kojom se kreću vozila nakon rekonstrukcije. Na osnovu rezultata testa može se odbaciti polazna hipoteza. Utvrđena razlika između medijana brzina u dva posmatrana slučaja iznosi 3,679 m/s (13,2 km/h).

Tabela 5.3 Rezultati Mann-Whitney testa za Vv_no ped (BR) i Vv_no ped (AR)

Lokacija	Novi Sad, ul dr Sime Miloševića
Mann-Whitney test	
H0: Vv_no ped (BR) = Vv_no ped (AR), H1: Vv_no ped (BR) \neq Vv_no ped (AR)	
Medijana Vv_no ped (BR)	3,836
Medijana Vv_no ped (AR)	7,975
P-vrednost	0,000

Za potrebe utvrđivanja uticaja izdignutog pešačkog prelaza na uslove odvijanja pešačkog saobraćaja izvršeno je merenje brzine kretanja pešaka prilikom prelaska i proračun stepena propuštanja pešaka. Uzorci brzina prelazaka pešaka prikupljeni pre i nakon rekonstrukcije imaju karakteristike prikazane u narednoj tabeli.

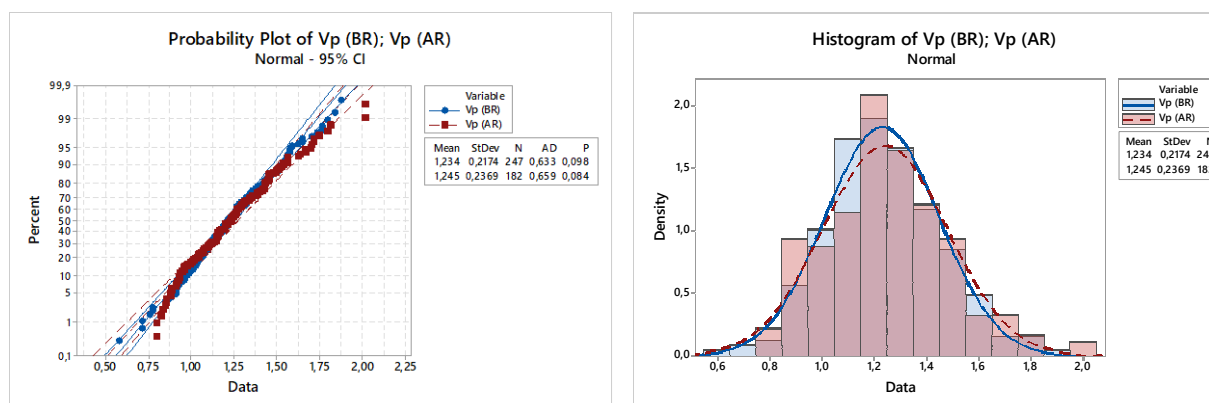
Tabela 5.4 Rezultati izmerenih brzina pešaka

	N	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Vp (BR)*	247	1,233	0,217	0,58	1,09	1,22	1,36	1,88
Vp (AR)**	182	1,244	0,236	0,80	1,08	1,24	1,41	2,02

* Vp (BR) – brzina pešaka pre rekonstrukcije (m/s)

** Vp (AR) – brzina pešaka nakon rekonstrukcije (m/s)

Statistička analiza pokazala je da brzine pešaka imaju karakteristike normalne raspodele (p-vrednost za Vp (BR) je 0,098, i p-vrednost za Vp(AR) je 0,084), što se jasno i uočava na narednim grafikonima koji opisuju karakteristike brzina pešaka na posmatranom pešačkom prelazu pre i nakon rekonstrukcije.



Slika 5.5 Grafikoni raspodele podataka za izmerene brzine Vp (BR) i Vp (AR)

Već na prethodno prikazanim grafikonima može se pretpostaviti da u brzinama pešaka pre i nakon rekonstrukcije ne postoje značajne razlike. U cilju potvrđivanja ove pretpostavke izvršeno je poređenje brzina pešaka upotrebom dvosmernog t-testa. Polazna hipoteza ovog testa je da ne postoji razlika u brzinama pešaka na prelazu pre i nakon rekonstrukcije. Na osnovu utvrđene p-vrednosti (0,622), koja je veća od definisanog praga značajnosti $\alpha=0,05$, ne može se odbaciti polazna hipoteza da su srednje brzine pešaka jednake. U skladu sa navedenim može se konstatovati da su sa aspekta brzine kretanja pešaka uslovi ostali ne promenjeni.

Tabela 5.5 Rezultati dvosmernog t-testa za izmerene brzine pešaka

	N	Mean	StDev	SE Mean
Vp (BR)	247	1,234	0,217	0,014
Vp (AR)	182	1,245	0,237	0,018
Dvosmerni t-test				
H0: $\mu [Vp (BR)] - \mu [Vp (AR)] = 0$				
H1: $\mu [Vp (BR)] - \mu [Vp (AR)] \neq 0$				
$\mu [Vp (BR)] - \mu [Vp (AR)]$	95,1% CI		p-vrednost	
-0,0110	(-0,0550; 0,0329)		0,622	

Kvalitet odvijanja pešačkog saobraćaja prvenstveno se definiše na osnovu ostvarenih vremenskih gubitaka pešaka prilikom čekanja na prelazak preko kolovoza. U okviru sprovedenog istraživanja utvrđeni su prosečni vremenski gubici pešaka u situaciji pre i nakon rekonstrukcije, kao i stepen propuštanja pešaka. Vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka utvrđene su računskim putem na osnovu opšte prihvaćene metodologije (*Transportation research board, 2016a*), a vrednost stepena propuštanja pešaka dobijena je merenjem na konkretnim primerima. Na osnovu izvršenog proračuna i merenja može se zaključiti da se stepen propuštanja pešaka u datim situacijama razlikuje, i nakon rekonstrukcije iznosi 0,82 za razliku od situacije pre rekonstrukcije kada iznosi 0,66. Analizom konkretnih vrednosti može se konstatovati da u slučaju kada je IPP izveden kao izdignut, 16% više vozača usporava ili zaustavlja vozilo kako bi propustili pešake da pređu kolovoz. U skladu sa smanjenjem vremenskih gubitaka, kvalitet odvijanja pešačkog saobraćaja, koji je pre rekonstrukcije bio opisan nivoom usluge B, poboljšan je i nakon rekonstrukcije definisan je nivoom usluge A. Vrednosti pomenutih parametara u situaciji pre i nakon rekonstrukcije pešačkog prelaza prikazane su u narednoj tabeli.

Tabela 5.6 Vrednosti stepena propuštanja pešaka i vremenskih gubitaka pre i nakon rekonstrukcije

	Pre rekonstrukcije	Nakon rekonstrukcije
Stepen propuštanja pešaka (Yr)	0,66	0,82
Vremenski gubici pešaka (d_{ped})	7 (s)	5 (s)
LOS	B	A

Poređenjem kvalitativnih pokazatelja saobraćajnog toka na pešačkom prelazu pre i nakon rekonstrukcije ulične mreže utvrđeno je da je srednja brzina vozila nakon rekonstrukcije manja za oko 55%. Analizirajući parametre koji odražavaju uslove odvijanja pešačkog saobraćaja, pokazalo se da je izgradnja pešačkog IPP u vidu platforme na ovom mestu pozitivno uticala na uslove odvijanje pešačkog saobraćaja. Poboljšanje odvijanja pešačkog saobraćaja ogleđa se u smanjenju prosečnih ostvarenih vremenskih gubitaka pešaka i povećanjem nivoa usluge. Na osnovu iznetih činjenica može se doneti zaključak da navedena mera za usporeenje saobraćaja utiče na brzinu vozila i stepen propuštanja pešaka, pa se prilikom izbora lokacija ne može reći da je ovakav tip IPP pogodan za analizu karakteristika saobraćaja koje je potrebno sprovesti u predmetnom istraživanju. Uzimajući u obzir ovu činjenicu izvršen je izbor odgovarajućih lokacija koje su prikazane i opisane u nastavku.

5.3. Opis lokacija na kojim je izvršeno istraživanje

Kako je predmetno istraživanje sprovedeno iz dva nezavisna dela (istraživanja na mikrolokaciji IPP i na odsecima gradskih saobraćajnica) u skladu sa tim u nastavku su dati opisi i karakteristike izabranih lokacija.

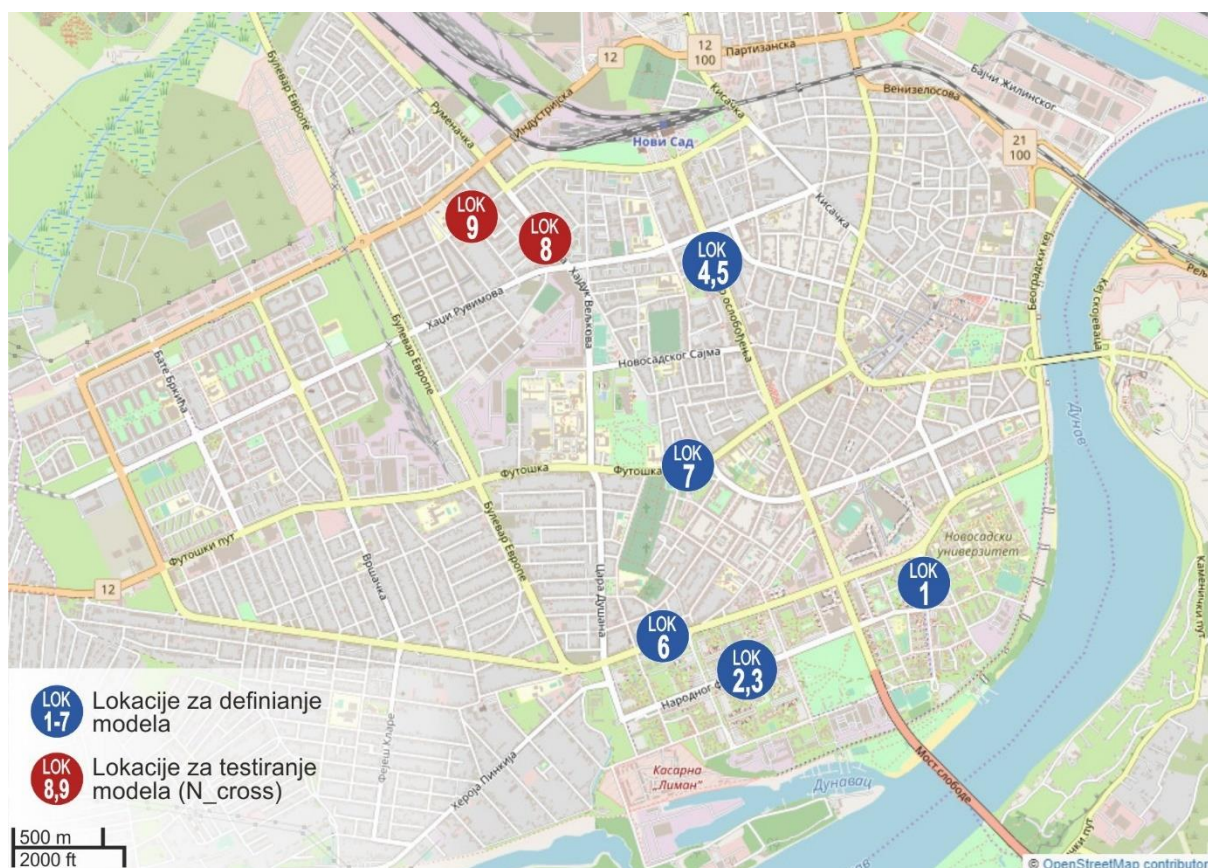
5.3.1. Opis lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja - mikrolokacije IPP

Za potrebe istraživanja definisano je devet mikrolokacija IPP. Podaci prikupljeni na sedam mikrolokacija korišćeni su u postupku formiranja modela, dok su podaci sa dve mikrolokacije upotrebljeni u procesu testiranja. U sledećoj tabeli dat je spisak pozicija na kojima je vršeno istraživanje u ovom delu.

Tabela 5.7 Spisak lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja

Oznaka	Ulica	Deonica i smer	Broj traka za vozila	Razdelno ostrvo
LOK_1	Fruškogorska	Narodnog fronta ↔ Bul. cara Lazara	2	ne
LOK_2	Narodnog fronta	Šekspirova → Balzakova	2	da
LOK_3	Narodnog fronta	Balzakova → Šekspirova	2	da
LOK_4	Bulevar oslobođenja	Maksima Gorkog → Jevrejska	3	da
LOK_5	Bulevar oslobođenja	Futoška → Braće Ribnikara	3	da
LOK_6	Bulevar cara Lazara	Ive Andrića → Balzakova	3	da
LOK_7	Futoška ulica	Branislava Nušića → Nikole Tesle	2	da
LOK_8	Rumenačka	Bul. Jaše Tomića → Braće Popović	2	da
LOK_9	Janka Veselinovića	Čika Stevina ↔ Stevana Mokranjca	2	ne

Sve navedene lokacije nalaze se na uličnoj mreži Grada Novog Sada. Na sledećoj slici prikazan je prostorni položaj mikrolokacija na kojima je vršeno istraživanje.



Slika 5.6 Prostorni raspored lokacija obuhvaćenih prvim delom istraživanja

Tabela 5.8 Podaci o datumu i vremenu sprovođenja istraživanja na mikrolokacijama

Oznaka	Ulica	Datum	Vreme
LOK_1	Fruškogorska	13.02.2015.	15:00 – 16:00
LOK_2	Narodnog fronta	20.02.2015.	13:00 – 14:00
LOK_3	Narodnog fronta	20.02.2015.	13:00 – 14:00
LOK_4	Bulevar oslobođenja	26.02.2015.	14:50 – 13:20
LOK_5	Bulevar oslobođenja	26.02.2015.	13:20 – 14:40
LOK_6	Bulevar cara Lazara	27.02.2015.	14:05 – 14:35
LOK_7	Futoška ulica	04.03.2015.	13:00 – 13:25
LOK_8	Rumenačka	06.04.2017.	09:00 – 11:00
LOK_9	Janka Veselinovića	12.04.2017.	12:00 – 14:00

LOK_1 (Fruškogorska ulica)

Mikrolokacija označena kao „LOK_1“ nalazi se u Fruškogorskoj ulici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih saobraćajnica II reda. U trenutku vršenja istraživanja ovaj pešački prelaz bio je obeležen u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.7 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Fruškogorskoj ulici

Dužina pešačkog prelaza iznosi 7,00 m, a širina pešačkog prelaza iznosi 3,00 m. Saobraćajnica na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz namenjena je odvijanju dvosmernog mešovitog saobraćaja i čine je dve saobraćajne trake širine 3,50 m. Smerovi kretanja nisu fizički podeljeni, odnosno ne postoji razdelno ostrvo.

LOK_2 i LOK_3 (ulica Narodnog fronta)

Mikrolokacije označene kao „LOK_2“ i „LOK_3“ nalaze se u ulici Narodnog fronta koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih saobraćajnica I reda. U trenutku vršenja istraživanja ovi pešački prelazi bili su obeleženi u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6). Dužina svakog pešačkog prelaza iznosi 7,00 m, a širina 5,00 m. Saobraćajnica na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz namenjena je odvijanju dvosmernog mešovitog saobraćaja i sa po dve saobraćajne trake širine 3,50 m za svaki smer. Smerovi kretanja motornog saobraćaja fizički su podeljeni, odnosno postoji razdelno ostrvo, pa se praktično pojedinačno posmatrani pešački prelazi nalaze na saobraćajnici namenjenoj jednosmernom kretanju vozila.



a) LOK_2



b) LOK_3

Slika 5.8 Izgled analiziranih pešačkih prelaza u ulici Narodnog fronta

LOK_4 i LOK_5 (Bulevar oslobođenja)

Mikrolokacije označene kao „LOK_4“ i „LOK_5“ nalaze se na Bulevaru oslobođenja, saobraćajnici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih magistrala. U trenutku vršenja istraživanja ovi pešački prelazi bili su obeleženi u skladu sa

Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6). Dužina svakog pešačkog prelaza iznosi 9,75 m, a širina 5,00 m. Saobraćajnica na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz namenjena je odvijanju dvosmernog mešovitog saobraćaja i sa po tri saobraćajne trake širine 3,25 m za svaki smer. Smerovi kretanja motornog saobraćaja fizički su podeljeni, odnosno postoji razdelno ostrvo, pa se praktično pojedinačno posmatrani pešački prelazi nalaze na saobraćajnici namenjenoj jednosmernom kretanju vozila.



a) LOK_4



b) LOK_5

Slika 5.9 Izgled analiziranih pešačkih prelaza na Bulevaru oslobođenja

LOK_6 (Bulevar cara Lazara)

Mikrolokacija označena kao „LOK_6“ nalazi se na Bulevaru cara Lazara, saobraćajnici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih saobraćajnica I reda.



Slika 5.10 Izgled analiziranog pešačkog prelaza na Bulevaru cara Lazara

U trenutku vršenja istraživanja ovaj pešački prelaz bio je obeležen u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6). Dužina posmatranog pešačkog prelaza iznosi 9,0 m, a širina 4,00 m. Saobraćajnicu na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz čine dve kolovozne trake sa po tri saobraćajne trake širine 3,00 m za svaki smer kretanja. Smerovi kretanja motornog saobraćaja fizički su podeljeni, odnosno postoji razdelno ostrvo. Za potrebe predmetnog istraživanja posmatran je samo pešački prelaz na kolovoznoj traci za smer kretanja od ulice Ive Andrića ka Balzakovoj ulici.

LOK_7 (Futoška ulica)

Mikrolokacija označena kao „LOK_7“ nalazi se u Futoškoj ulici, saobraćajnici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih magistrala.



Slika 5.11 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Futoškoj ulici

LOK_8 (Rumenačka)

Mikrolokacija označena kao „LOK_9“ nalazi se u Rumenačkoj ulici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih magistrala.



Slika 5.12 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Rumenačkoj ulici

U trenutku vršenja istraživanja ovaj pešački prelaz bio je obeležen u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6). Dužina posmatranog pešačkog prelaza iznosi 7,0 m, a širina 5,00 m. Saobraćajnicu na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz čine dve kolovozne trake sa po dve saobraćajne trake širine 3,00 m za svaki smer kretanja. Smerovi kretanja motornog saobraćaja fizički su podeljeni, odnosno postoji razdelno ostrvo. Za potrebe istraživanja posmatran je samo pešački prelaz na kolovoznoj traci za smer kretanja od ulice B. Nušića ka ulici N. Tesle.

U trenutku vršenja istraživanja ovaj pešački prelaz bio je obeležen u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6). Dužina posmatranog pešačkog prelaza iznosi 7,00 m, a širina 4,00 m. Saobraćajnicu na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz čine dve kolovozne trake sa po dve saobraćajne trake širine 3,25 m za svaki smer kretanja. Smerovi kretanja motornog saobraćaja fizički su podeljeni, odnosno postoji razdelno ostrvo. Za potrebe predmetnog istraživanja posmatran je samo pešački prelaz na kolovoznoj traci za smer kretanja od Bulevara Jaše Tomića ka Ulici Braće Popović.

LOK_9 (Janka Veselinovića)

Mikrolokacija označena kao „LOK_9“ nalazi se u Ulici Janka Veselinovića, saobraćajnici koja prema funkcionalnoj podeli pripada kategoriji gradskih saobraćajnica II reda. U trenutku vršenja istraživanja ovaj pešački prelaz bio je obeležen u skladu sa Pravilnikom o saobraćajnoj signalizaciji standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.13 Izgled analiziranog pešačkog prelaza u Ulici Janka Veselinovića

Dužina posmatranog pešačkog prelaza iznosi 7,0 m, a širina 3,00 m. Saobraćajnicu na kojoj se nalazi posmatrani pešački prelaz čine dve saobraćajne trake širine 3,50 m. Smerovi kretanja motornog saobraćaja nisu fizički podeljeni.

5.3.2. Opis lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja - odseci gradskih saobraćajnica

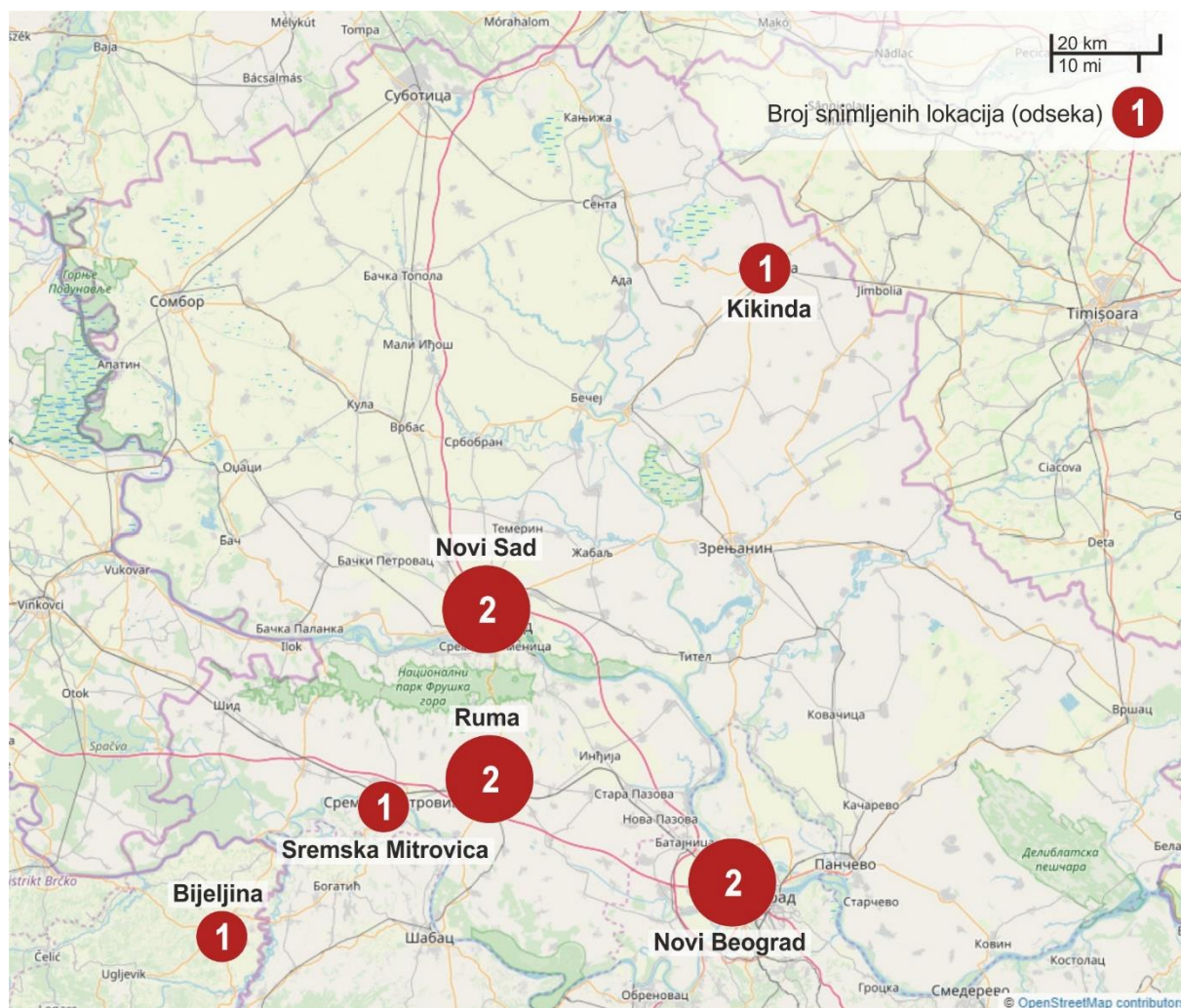
U okviru drugog dela istraživanja prikupljene su brzine i vremena putovanja vozila na odsecima gradskih saobraćajnica. Istraživanjem je obuhvaćeno devet odseka u šest gradova. Na svakom odseku saobraćaj se odvija u oba smera. S obzirom na to da se saobraćajna opterećenja i brzine kretanja mogu razlikovati po smerovima, kao i na to da su na određenim odsecima smerovi fizički odvojeni, formirani su skupovi podataka za svaki smer (link) posebno.

Tabela 5.9 Spisak lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja

Odsek	Grad i ulica	Link	Smer	Br. saob. traka	Razdelno ostrvo
1	Novi Sad ul. Jevrejska	11	Bulevar oslobođenja → Bulevar M. Pupina	3	da
		12	Uspenska → Bulevar oslobođenja	3	
2	Novi Sad ul. Futoška	21	Braće Ribnikar → Bulevar oslobođenja	2	da
		22	Bulevar oslobođenja → Branislava Nušića	2	
3	Novi Beograd Bul. Z. Đinđića	31	Narodnih heroja → Omladinskih brigada	3	da
		32	Omladinskih Brigada → Narodnih heroja	2	
4	Novi Beograd ul. Pariske komune	41	Studentska → Narodnih heroja	2	da
		42	Otona Župančića → Studentska	2	

Odsek	Grad i ulica	Link	Smer	Br. saob. traka	Razdelno ostrvo
5	Kiknda ul. Svetosavka	51	Žarka Zrenjanina → Kosovska	1	ne
		52	Kosovska → Žarka Zrenjanina	1	
6	Ruma ul. Glavna	61	Železnička → Partizanska	1	ne
		62	Partizanska → Železnička	1	
7	Ruma ul. Glavna	71	Grobljanska → Železnička	1	ne
		72	Železnička → Grobljanska	1	
8	Sremska Mitrovica ul. Kralja Petra I	81	Stari šor → Svetog Dimitrija	1	ne
		82	Svetog Dimitrija → Stari šor	1	
9	Bijeljina ul. Vuka Karadžića	91	Nikole Tesle → Karađorđeva	2	da
		92	Meše Selimovića → Nikole Tesle	2	

Na sledećoj slici označeni su gradovi u kojim je vršeno merenje odnosno prikupljanje podataka.



Slika 5.14 Širi prikaz prostornog rasporeda lokacija obuhvaćenih drugim delom istraživanja

Tabela 5.10 Podaci o datumu i vremenu sprovođenja istraživanja na mikrolokacijama

Odsek	Grad i ulica	Datum	Vreme
1	Novi Sad, ul. Jevrejska	04.01.2018.	12:00 – 12:30
		04.06.2018.	16:00 – 16:15
		05.06.2018.	10:45 – 11:30
2	Novi Sad, ul. Futoška	04.06.2018.	16:00 – 16:15
		05.06.2018.	10:45 – 11:30
3	Novi Beograd, bulevar dr Zorana Đinđića	12.07.2018.	15:00 – 15:40
4	Novi Beograd, ul. Pariske komune	12.07.2018.	16:05 – 16:50
5	Kikinda, ul. Svetosavka	06.01.2018.	13:00 – 13:35
		01.06.2018.	12:15 – 13:05
6	Ruma, ul. Glavna	29.05.2018.	10:45 – 12:40
7	Ruma, ul. Glavna	29.05.2018.	10:45 – 12:40
8	Sremska Mitrovica, ul. Kralja Petra I	29.05.2018.	14:10 – 15:25
9	Bijeljina, ul. Vuka Karadžića	12.08.2018.	09:00 – 10:25

Odsek 1 (Novi Sad, ul. Jevrejska)

Odsek 1 nalazi se u Jevrejskoj ulici u Novom Sadu i čine ga linkovi 11 i 12. Jevrejska ulica prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih saobraćajnica i nalazi se na području užeg centra grada. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 444,0 m.



Slika 5.15 Položaj odseka 1 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Posmatranu saobraćajnicu u delu bližem Bulevaru oslobođenja, odnosno delu gde se nalazi IPP, čine dve kolovozne trake koje su fizičko podeljene razdelnim ostrvom. Obe kolovozne trake podeljene su na saobraćajne trake namenjene za kretanje u istom smeru. Širina kolovoznih traka, odnosno dužina pešačkog prelaza na oba linka iznosi 9,00 metara. Pešački prelaz se nalazi na 123,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Bulevarom oslobođenja. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio jasno

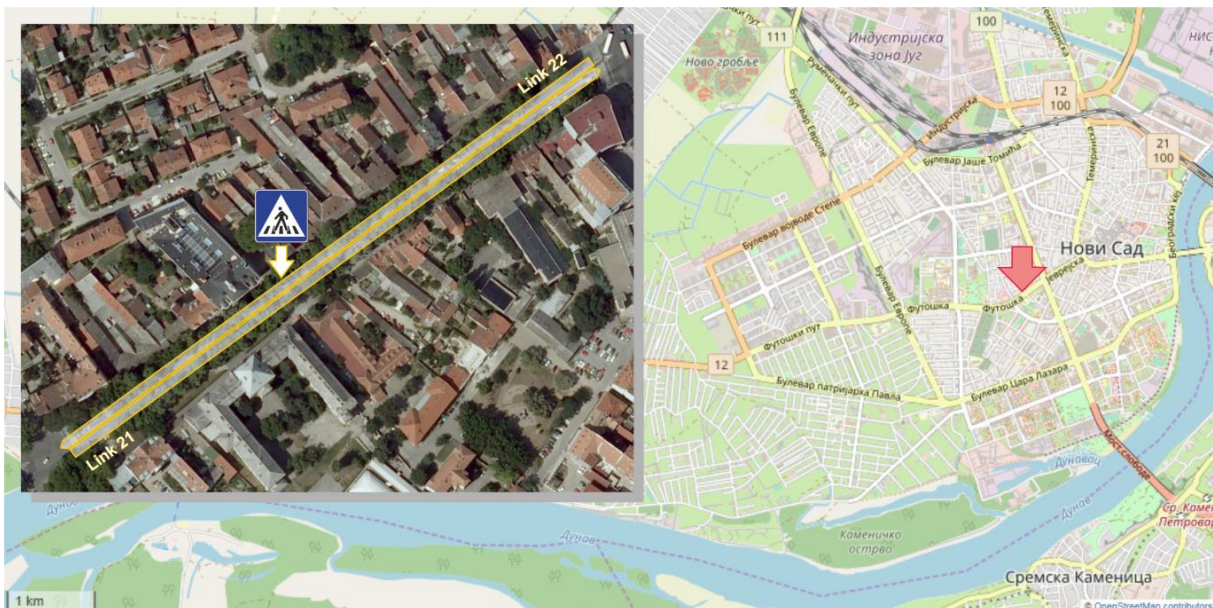
obeležen standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 5,0 m, saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6) i žutim treptaćima sa simbolom pešaka koji su postavljeni iznad kolovoza.



Slika 5.16 Izgled IPP na odseku 1

Odsek 2 (Novi Sad, ul. Futoška)

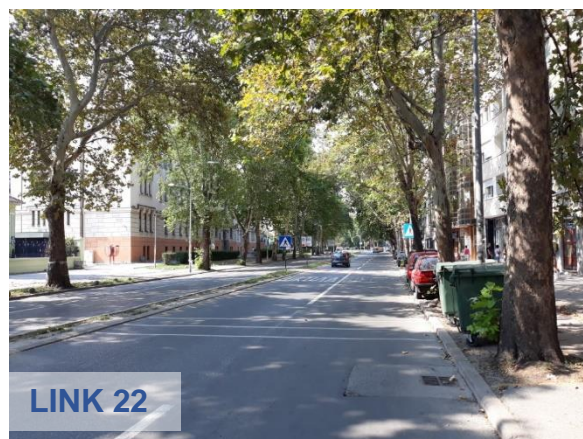
Odsek 2 nalazi se u Futoškoj ulici u Novom Sadu na deonici između raskrsnica ove ulice sa Bulevarom oslobođenja sa jedne strane i ulicama Braće Ribnikar i Branislava Nušića sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 21 i 22. Futoška ulica prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih magistrala i nalazi se na području užeg centra grada. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 370,0 m.



Slika 5.17 Položaj odseka 2 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP, čine dve kolovozne trake koje su fizički podeljene razdelnim ostrvom. Svaka kolovozna traka podeljena je na dve

saobraćajne trake za kretanje u istom smeru. Širina kolovoznih traka, odnosno dužina pešačkog prelaza na oba linka iznosi 6,00 metara. Pešački prelaz se nalazi na 150,0 m udaljenosti od raskrsnice sa ulicama Braće Ribnikar i B. Nušića. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio jasno obeležen nestandardnom oznakom na kolovozu kombinacijom belih i crvenih polja dimenzija 0,5 x 5,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.18 Izgled IPP na odseku 2

Odsek 3 (Novi Beograd, Bulevar dr Zorana Đinđića)

Odsek 3 je deonica Bulevara dr Zorana Đinđića u Novom Beogradu. Snimljena deonica nalazi se između raskrsnice sa ulicom Narodnih heroja sa jedne strane, i raskrsnice sa ulicom Omladinskih brigada sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 31 i 32. Bulevar dr Zorana Đinđića prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih magistrala. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 361,0 m.



Slika 5.19 Položaj odseka 3 i posmatranih pešačkih prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Smerovi kretanja na odseku 3 podeljeni su zelenom površinom. U delu gde se nalazi IPP, na linku 31, postoje tri saobraćajne trake, a na linku 32 dve saobraćajne trake za kretanje u istom smeru. Na oba linka u zoni IPP postoji površina namenjena uličnom parkiranju. Dužina pešačkog prelaza na linku 31 iznosi 15,0 metara, dok širina IPP na linku 32 iznosi 9,0 m. Pešački prelaz na linku 31 nalazi se na 125,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Ulicom Narodnih heroja, a na linku 32 na 165,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Ulicom Omladinskih brigada. U vreme vršenja istraživanja pešački prelazi bili su jasno obeleženi standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 5,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.20 Izgled IPP na odseku 3

Odsek 4 (Novi Beograd, ul. Pariske komune)

Odsek 4 nalazi se u Ulici Pariske komune u Novom Beogradu na deonici između raskrsnica sa ulicama Otona Župančića i Narodnih heroja sa jedne strane, i Studentskom ulicom sa druge strane. Ovaj odsek čine linkovi 41 i 42.



Slika 5.21 Položaj odseka 4 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

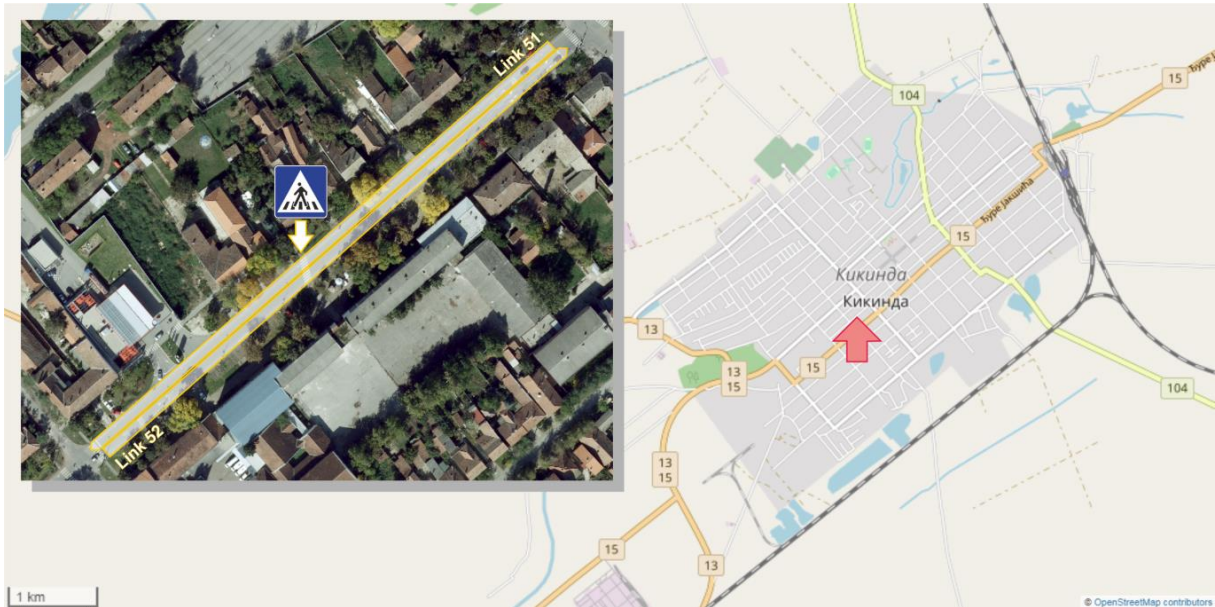
Prema funkcionalnoj podeli ulica Pariske komune spada u kategoriju gradskih magistrala. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 365,0 m. Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP čine dve kolovozne trake koje su fizički podeljene razdelnim ostrvom. Svaka kolovozna traka podeljena je na dve saobraćajne trake za kretanje u istom smeru. Širina kolovoznih traka, odnosno dužina pešačkog prelaza na oba linka iznosi 7,0 metra. Pešački prelaz se nalazi na 57,0 m udaljenosti od raskrsnice sa ulicama Otona Župančića i Narodnih heroja. U vreme vršenja istraživanja pešački prelazi na oba linka bili su jasno obeleženi standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 4,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.22 Izgled IPP na odseku 4

Odsek 5 (Kikinda, ul. Svetosavska)

Odsek 5 nalazi se Svetosavskoj ulici u Kikindi na deonici između raskrsnica ove ulice sa ulicom Žarka Zrenjanina sa jedne strane i Kosovskom ulicom sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 51 i 52.



Slika 5.23 Položaj odseka 5 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

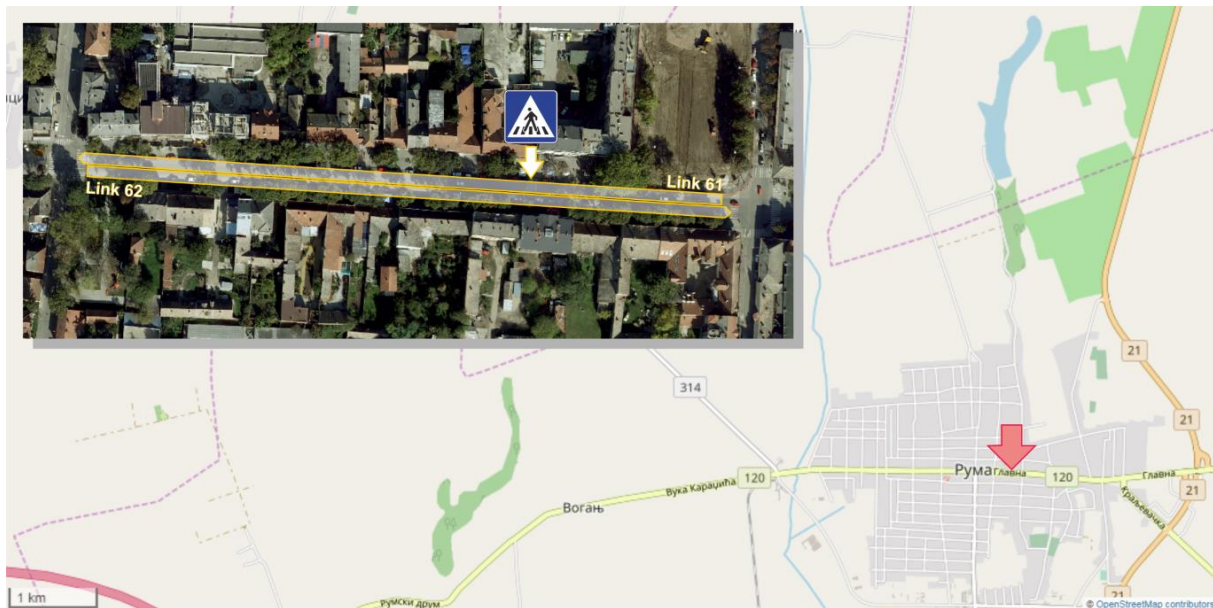
Svetosavka ulica prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih saobraćajnica. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 264,0 m. Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP čine dve saobraćajne trake za vozila i dve biciklističke trake za kretanje u vozila, odnosno biciklista u suprotnim smerovima. Saobraćajne trake obeležene su oznakama na kolovozu. Širina kolovozne trake, odnosno dužina pešačkog prelaza, iznosi 7,50 metara. Pešački prelaz se nalazi na 138,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Ulicom Žarka Zrenjanina. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio jasno obeležen standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 3,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.24 Izgled IPP na odseku 5

Odsek 6 (Ruma, ul. Glavna)

Odsek 6 nalazi se u Ulici Glavna u Rumi na deonici između raskrsnica ove ulice sa Železničkom sa jedne strane i Partizanskom ulicom sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 61 i 62.



Slika 5.25 Položaj odseka 6 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

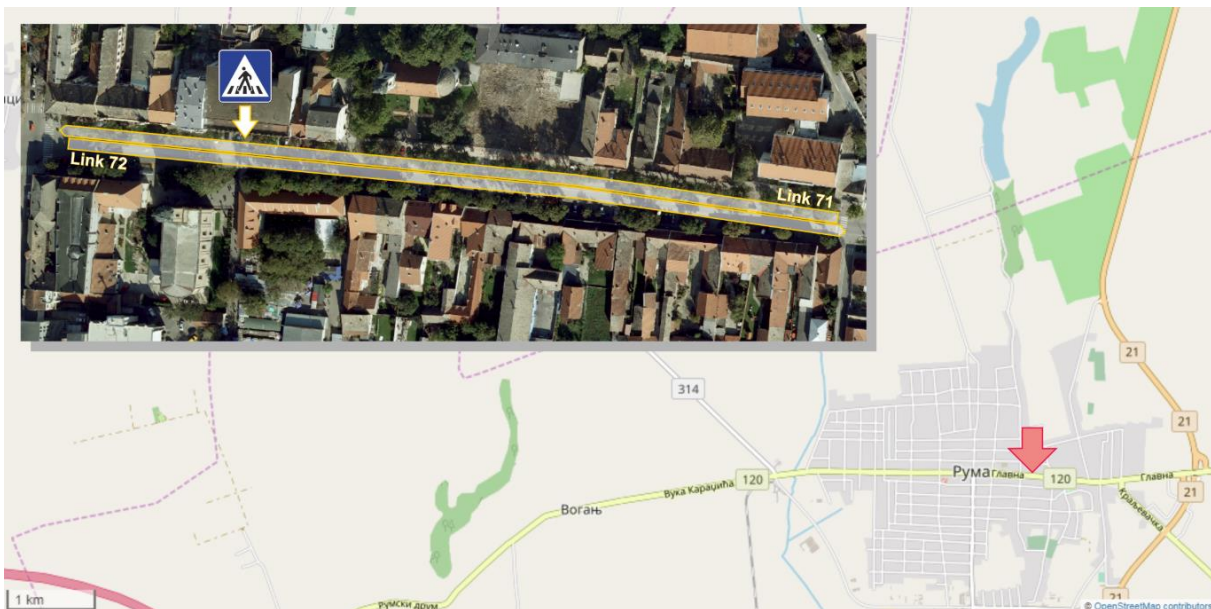
Ulica Glavna je saobraćajnica koja prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih magistrala, a posmatrani odsek nalazi se na području užeg centra grada. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 288,0 m. Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP čine dve saobraćajne trake namenjene kretanju vozila suprotnim smerovima. Saobraćajne trake podeljene su razdelnom linijom. Sa obe strane kolovoza postoji obeležen prostor namenjen podužnom uličnom parkiranju. Širina kolovozne trake, odnosno dužina pešačkog prelaza iznosi 10,0 metara. Pešački prelaz se nalazi na 88,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Železničkom ulicom. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio obeležen standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 3,0 m koja je dotrajala, ali je bila uočljiva od strane vozača i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.26 Izgled IPP na odseku 6

Odsek 7 (Ruma, ul. Glavna)

Odsek 7 nalazi se u Ulici Glavna u Rumi na deonici između raskrsnica ove ulice sa Železničkom sa jedne strane i Grobljanskom ulicom sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 71 i 72. Ulica Glavna je saobraćajnica koja prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradskih magistrala, a posmatrani odsek nalazi se na području užeg centra grada. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 345,0 m.



Slika 5.27 Položaj odseka 7 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP, čine dve saobraćajne trake namenjene kretanju vozila suprotnim smerovima. Saobraćajne trake podeljene su razdelnom linijom. Širina kolovozne trake, odnosno dužina pešačkog prelaza iznosi 8,0 metara. Pešački prelaz se nalazi na 79,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Železničkom ulicom. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio obeležen jasno

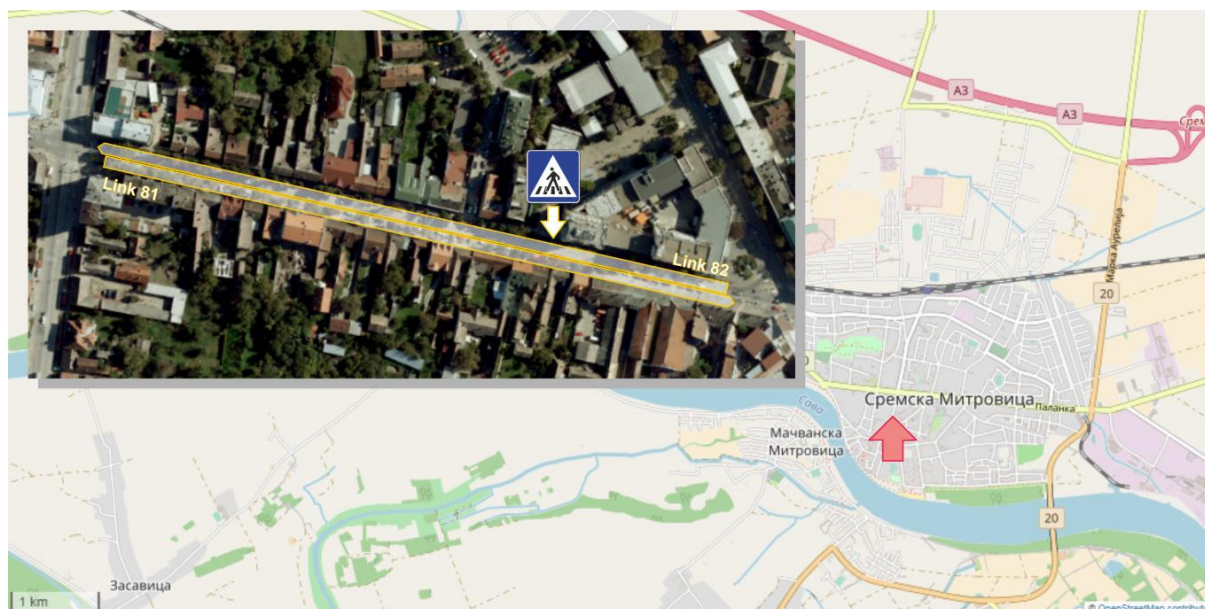
uočljivom standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 3,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.28 Izgled IPP na odseku 7

Odsek 8 (Sremska Mitrovica, ul. Kralja Petra I)

Odsek 8 nalazi se u Ulici Kralja Petra I u Sremskoj Mitrovici na deonici između raskrsnica ove ulice sa ulicom Stari šor sa jede strane i Ulicom Svetog Dimitrija sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 81 i 82. Ulica Kralja Petra I prema funkcionalnoj podeli spada u kategoriju gradske saobraćajnice II reda. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 340,0 m.



Slika 5.29 Položaj odseka 8 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Odsek 8 u delu gde se nalazi IPP, čine dve saobraćajne trake namenjene kretanju vozila suprotnim smerovima. Saobraćajne trake podeljene razdelnom linijom. Širina kolovozne trake, odnosno dužina pešačkog prelaza iznosi 6,0 metara. Pešački prelaz

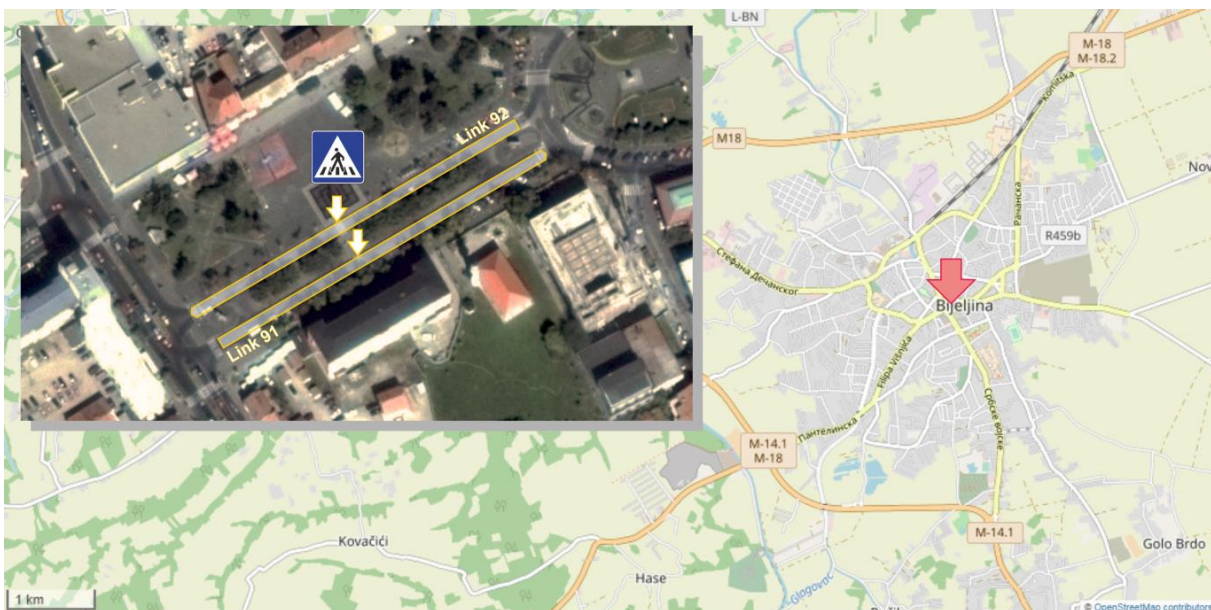
se nalazi na 260,0 m udaljenosti od raskrsnice sa ulicom Stari šor. U vreme vršenja istraživanja pešački prelaz je bio obeležen jasno uočljivom standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 3,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.30 Izgled IPP na odseku 8

Odsek 9 (Bijeljina, ul. Vuka Karadžića)

Odsek 9 nalazi se u Ulici Vuka Karadžića u Bijeljini (Bosna i Hercegovina, Republika Srpska) na deonici između raskrsnica ove ulice sa Nikole Tesle sa jede strane i ulicama Karađorđeva i Meše Selimovića sa druge strane. Posmatrani odsek čine linkovi 91 i 92. Ulica Vuka Karadžića prema funkcionalnoj podeli ima funkciju gradske saobraćajnice I reda i nalazi se na području užeg centra grada. Ukupna dužina ovog odseka (linkova) iznosi 140,0 m.



Slika 5.31 Položaj odseka 9 i posmatranog pešačkog prelaza u odnosu na uličnu mrežu

Posmatranu saobraćajnicu u delu gde se nalazi IPP čine dve kolovozne trake koje su fizički odvojene zelenom površinom. Svaka kolovozna traka podeljena je na dve saobraćajne trake za kretanje u istom smeru. Širina kolovoznih traka, odnosno dužina pešačkog prelaza na oba linka iznosi 6,00 metara. Pešački prelaz se nalazi na 60,0 m udaljenosti od raskrsnice sa Ulicom Nikole Tesle. U vreme kada je sprovedeno istraživanje pešački prelaz je bio obeležen jasno uočljivom standardnom oznakom na kolovozu „pešački prelaz“ (V-4) širine 3,0 m i saobraćajnim znakovima „pešački prelaz“ (III-6).



Slika 5.32 Izgled IPP na odseku 9

5.4. Metodologija prikupljanja i obrade podataka

U zavisnosti od potrebe, za utvrđivanje određenih parametara saobraćajnog toka koriste se različite metode i tehnologije, od jednostavnih kojim je moguće prikupljanje podataka o samo jednom relevantnom parametru pojedinačnog učesnika u određenom vremenskom periodu, do metoda u kojima se koriste različiti uređaji pomoću kojih se prikuplja veliki broj parametara saobraćajnog toka na nivou čitave godine. U zavisnosti od specifičnih potreba za utvrđivanjem određenog parametra, u predmetnom istraživanju korišćene su različite metodologije prikupljanja i obrade podataka.

5.4.1. Prikupljanje i obrada podataka na mikrolokaciji IPP

Prikupljanje podataka na mikrolokacijama IPP koji su korišćeni u postupku definisanja modela (LOK_1 – LOK_7) izvršeno je metodom video detekcije. Ova tehnologija u kombinaciji sa softverima za digitalnu obradu slike pokazala se kao veoma pouzdan način za detektovanje vozila ili pešaka u saobraćajnim tokovima (*Kuzović & Bogdanović, 2010*). Metoda obrade video snimaka za potrebe prikupljanja podataka o parametrima saobraćajnog toka prvi put je primenjena početkom tridesetih godina dvadesetog veka, a razvojem tehnologije danas je na ovaj način moguće sa velikom preciznošću i tačnošću utvrditi potrebne parametre (*Bogdanović, Ruškić, Papić, & Simeunović, 2013; Ivanović, Garunović, & Tomanović, 2014; Pawar & Patil, 2016*).

Prikupljanje podataka na ovaj način vrši se tako što se prvenstveno definiše fiksna pozicija video kamere tako da snimak prostorno obuhvati područje značajno za definisano istraživanje. Pored toga, kamera mora biti postavljena tako da bude neprimetna za učesnike u saobraćaju kako to ne bi uticalo na njihovo uobičajeno ponašanje (Ivanović *et al.*, 2014). Dalje se pomoću nekog od softverskih alata na prikazu video snimka dodaju referentne tačke koje se nalaze na poznatoj udaljenosti, a zatim se iz tih tačaka povlače referentne linije.



Slika 5.33 Prikaz referentnih linija na video snimku obrađenog u „Kinovea“ softveru

U narednom koraku vrši se pregledanje video snimka i beleženje vremena prolaska svakog vozila ili pešaka preko određenih referentnih linija i njihov smer kretanja i tako formira baza podataka kojom su opisani događaji relevantni za predmetnu analizu. Na taj način utvrđuje se vremenski tok događaja na osnovu kojih je moguće opisati proces odvijanja saobraćaja na IPP i zakonitosti interakcije između pešaka i vozila.

Video materijal obrađen je u softverskom alatu „Kinovea“ koji daje mogućnost pregleda snimka po svakoj slici u video zapisu (*eng. frame*). Video zapis kojim je zabeležen proces odvijanja saobraćaja kreiran je u tehnologiji brzine smenjivanja slika 24 FPS (*eng. frame per second*), što znači da se tokom jedne sekunde videa prikažu 24 slike. Ovakav kvalitet video materijala omogućava tačnost od 0,042 sekunde.

Obradom video materijala u okviru prvog dela istraživanja zabeleženi su sledeći podaci::

- Karakteristike pešačkih tokova:
 - broj pešaka na analiziranom IPP,
 - broj grupa pešaka koje vrše prelazak na IPP,
 - broj pešaka u svakoj grupi pešaka koja vrši prelazak na IPP,
 - vremenska raspodela dolazaka pešaka, odnosno grupe pešaka,
 - vreme čekanja pešaka, odnosno grupe pešaka na prelazak,
 - brzina prelaska pešaka, odnosno grupe pešaka.

- Karakteristike vozačkih tokova:

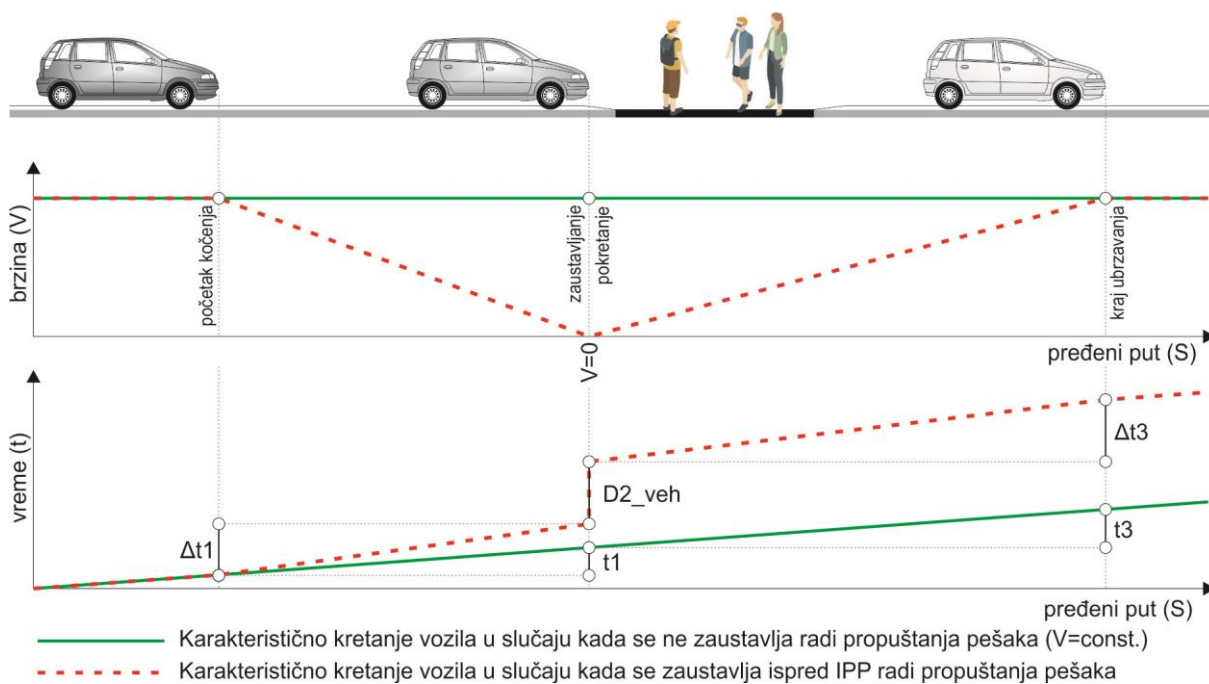
- broj vozila na prilazu analiziranog IPP,
- raspodela protoka po smerovima,
- struktura vozila u saobraćajnom toku,
- vremenska raspodela dolazaka vozila,
- vremenski gubici vozila usled propuštanja pešaka.

Prikupljanje podataka na mikrolokacijama IPP koji su korišćeni za potrebe testiranja dela modela (LOK_8 i LOK_9) izvršeno je metodom klasičnog (ručnog) brojanja. Na ovim lokacijama je vršeno ručno brojanje pešačkog saobraćaja tokom kog su zabeleženi podaci o broju prelazaka i broju pešaka. Evidencija broja pešaka i broja prelazaka vršena je po petominutnim vremenskim intervalima.

Postupak utvrđivanja ostvarenog vremenskog gubitka pojedinačnog vozila

Izgubljeno vreme vozila koje se zaustavlja kako bi propustilo jednog ili više pešaka (D_{veh}) sastoji se iz tri karakteristične sekvence:

- $D1_{veh}$: vremenski gubitak nastao u zoni usporavanja vozila. Predstavlja razliku između vremena vožnje od trenutka početka usporavanja do potpunog zaustavljanja (Δt_1) i vremena koje bi bilo potrebno vozilu za prelazak ovog puta u slučaju da nastavlja kretanje konstantnom brzinom (t_1).
- $D2_{veh}$: vreme čekanja. Predstavlja vreme proteklo od trenutka potpunog zaustavljanja do trenutka ponovnog pokretanja vozila.
- $D3_{veh}$: vremenski gubitak nastao u zoni ubrzavanja vozila. Predstavlja razliku između vremena vožnje od trenutka ponovnog pokretanja vozila do trenutka postizanja brzine kojom se vozilo kretalo neposredno pre trenutka kočenja (Δt_3) i vremena koje bi bilo potrebno vozilu za prelazak ovog puta u slučaju da se nije zaustavilo radi propuštanja pešaka (t_3).



Slika 5.34 Idealizovane kinematske karakteristike vozila u zoni IPP

Obradom podataka prikupljenih analizom video materijala sačinjenog na navedenim lokacijama utvrđeno je vreme čekanja svakog vozila koje se u cilju propuštanja pešaka zaustavilo ispred pešačkog prelaza (D2_veh). Ovaj period određen je kao razlika referentnog vremena na snimku od trenutka kada se vozilo potpuno zaustavilo do trenutka kada je vozilo ponovo krenulo. Prethodno je definisano da vremenski gubitak D2_veh predstavlja samo jedan deo ukupnog vremenskog gubitka koji nastaje u situaciji kada se vozilo zaustavlja radi propuštanja pešaka. Preostali vremenski gubici (D1_veh i D3_veh) predstavljaju izgubljeno vreme koje nastaje kao posledica usporavanja ili ubrzavanja pre i nakon potpunog zaustavljanja vozila ispred IPP. S obzirom na metodologiju prikupljanja podataka pouzdano utvrđivanje ovih vremenskih gubitaka nije bilo moguće. Ovi vremenski gubici su za potrebe predmetne analize definisani kao fiksni, a njihova vrednost određena je na osnovu prosečnih vrednosti ubrzanja (a), usporenja (b), i srednje brzine vozila u toku (V_{sr}). Na osnovu rezultata drugih istraživanja sprovedenih na saobraćajnim tokovima sa približno istim karakteristikama koje imaju tokovi u predmetnom istraživanju ([Bogdanović et al., 2013](#); [Bokare & Maurya, 2017](#)), kao i usvojenih parametara ponašanja različitih tipova vozača ([Trafficware LLC, 2017](#)) usvojene su merodavne vrednosti prosečnog ubrzanja vozila a=1,8 m/s² i prosečnog usporenja vozila b=2,0 m/s². Kao merodavna srednja vrednost brzine vozila u saobraćajnom toku usvojena je ona brzina koja odgovara uslovima normalnog saobraćajnog toka (LOS B) V_{sr}=10,0 m/s, odnosno V_{sr}=36,0 km/h, u skladu sa ([Transportation research board, 2016b](#)).

Na osnovu baznih relacija odnosa promene brzine, usporenja i pređenog puta ostvareni vremenski gubici pri usporenju mogu se izračunati na sledeći način:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta V}{b} = \frac{V_{sr}}{b} \quad (5.2)$$

gde je:

Δt_1 - vreme potrebno za promenu brzine od V_{sr} do V=0 (s) pri konstantnom usporenju b

ΔV - ostvarena promena brzine od V_{sr} do V=0 (m/s)

V_{sr} - usvojena srednja brzina vozila u toku (10,0 m/s)

b - usvojena srednja vrednost usporenja (2,0 m/s²)

$$\Delta S_1 = \frac{V_{sr}^2}{2b} \quad (5.3)$$

gde je:

ΔS_1 - dužina puta koju pređe vozilo pri promeni brzine od V_{sr} do V=0 (m)

$$t_1 = \frac{\Delta S_1}{V_{sr}} \quad (5.4)$$

gde je:

t_1 - vreme potrebno za prelazak puta dužina puta ΔS_1 pri konstantnoj brzini V_{sr} (s)

$$D_{1_veh} = \Delta t_1 - t_1 = \frac{V_{sr}}{2b} \quad (5.5)$$

gde je:

D_{1_veh} - vremenski gubitak nastao u zoni usporavanja vozila (s)

Postupak proračuna vremenskih gubitaka nastalih u zoni ubrzavanja vozila vrši se na identičan način pri čemu se umesto usporenja (b) uzima vrednost merodavnog ubrzanja (a), a oznaka „1“ koja se nalazi u indeksu promenljivih menja se indeksom „3“.

$$D_{3_veh} = \Delta t_3 - t_3 = \frac{V_{sr}}{2a} \quad (5.6)$$

gde je:

D_{3_veh} - vremenski gubitak nastao u zoni ubrzanja vozila (s)

Δt_1 - vreme potrebno za promenu brzine od $V=0$ do V_{sr} (s), pri konstantnom ubrzanju a

t_3 - vreme potrebno za prelazak puta dužina puta ΔS_3 pri konstantnoj brzini V_{sr} (s)

a - usvojena srednja vrednost ubrzanja ($1,8 \text{ m/s}^2$)

Na osnovu tako definisanog postupka i usvojenih vrednosti merodavnih parametara ostvareni gubici iznose $D1_veh = 2,5 \text{ s}$ i $D3_veh = 2,8 \text{ s}$. Ove vrednosti su usvojene tokom dalje obrade podataka i formiranja modela.

5.4.2. Prikupljanje i obrada podataka na odsecima gradskih saobraćajnica

Prikupljanje podataka na odsecima (linkovima) gradskih saobraćajnica izvršeno je u okviru drugog dela istraživanja gde su prikupljeni podaci o pojedinim parametrima saobraćajnog toka na odsecima gde postoji IPP. Ovaj deo istraživanja sproveden je metodom pokretnog osmatrača na svakoj lokaciji u više prolaza tokom čega su zabeleženi kinematski parametri vozila pokretnog osmatrača uz istovremeno snimanje video zapisa. Na svakom odseku kinematski parametri vozila se mere za svaki smer pojedinačno, pa praktično u skupovima podataka za svaki odsek postoje izmerena dva linka, svaki smer posebno.



a) pogled iz vozila



b) pogled sa kamere

Slika 5.35 Prikupljanje podataka metodom pokretnog osmatrača

Postupak se sastoji u tome što se u realni saobraćajni tok na određenom odseku uključuje vozilo, pokretni osmatrač, sa zadatkom da sledi jedno vozilo iz realnog saobraćajnog toka kojeg je istraživač odabrao procenjujući da je ono reprezentativno sa gledišta sastava toka i brzine kojom se kreće. Pre izvođenja merenja obavljaju se probne vožnje. Za vožnju u smeru toka čija se brzina istražuje, pokretni osmatrač bira vozilo iz smera realnog toka koje će pratiti. Izbor vozila koje će pratiti i uključivanje pokretnog osmatrača u saobraćajni tok vrši se nešto pre početka odseka (linka), a merenja se vrše od početka do kraja posmatranog odseka. Pokretni osmatrač od početka do kraja posmatranog odseka u smeru za koji se brzina istražuje, prati vozilo iz realnog toka, maksimalno ga oponašajući u vožnji i što je više moguće zadržava konstantno odstojanje. Po završenom snimanju se na osnovu zabeleženog video snimka i podatka o karakteristikama kretanja vozila duž posmatranog linka beleže sledeći podaci:

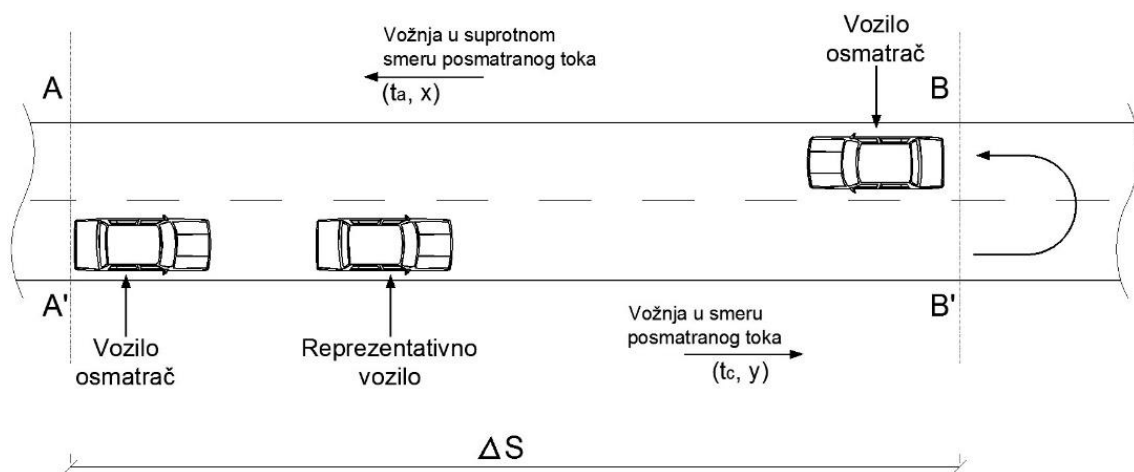
- vreme na početku odseka,
- vreme na kraju odseka,
- broj vozila koja su pretekla praćeno vozilo i vozilo pokretnog osmatrača,
- broj vozila koja su preteknuta od strane praćenog vozila i vozila pokretnog osmatrača,
- vreme na kraju odseka za vožnju u suprotnom smeru,
- vreme na početku odseka za vožnju u suprotnom smeru,
- broj vozila iz suprotnog smera za vožnju u suprotnom smeru, odnosno iz smera za koji se istražuje brzina toka,
- dužina posmatranog odseka,
- ograničenje brzine na posmatranom odseku.

Na osnovu podataka prikupljenih sa video snimka vožnje pokretnog osmatrača i matematičkih poznatih relacija utvrđena je veličina saobraćajnog toka. Zasnovano na merenjima koja izvrši pokretni osmatrač, protok vozila na posmatranom odseku određuje se na osnovu sledeće relacije:

$$q = \frac{x + y}{t_c + t_a} \quad (5.7)$$

gde je:

- q - protok u smeru snimanog toka (voz/s);
- x - broj vozila sa kojima se mimoišlo vozilo osmatrač tokom kretanja u suprotnom smeru od smera snimanog toka (voz);
- y - apsolutna vrednost razlike broja vozila koja su pretečena od strane vozila osmatrača i koja su pretekla ovo vozilo (voz);
- t_c - vreme putovanja u smeru snimanog toka (s);
- t_a - vreme putovanja u smeru suprotno od posmatranog toka (s);



Slika 5.36 Merenje brzine metodom pokretnog osmatrača (Bogdanović & Garunović, 2016)

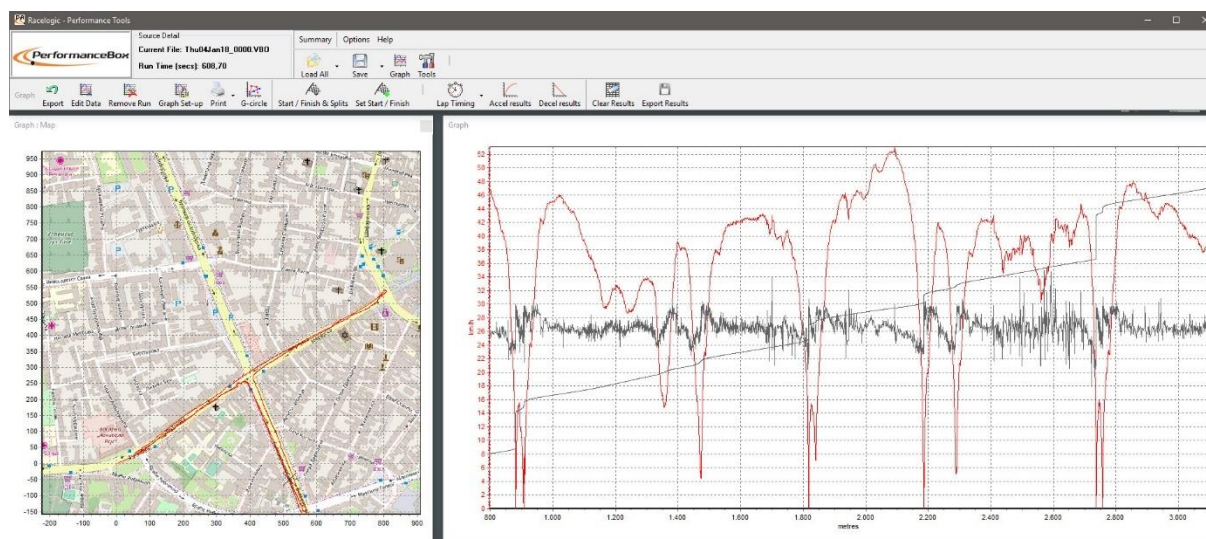
Tokom snimanja brzine vozila istovremeno je izvršeno i brojanje pešačkog saobraćaja na IPP na posmatranom odseku. Brojanje je izvršeno klasičnom metodom ručnog brojanja pešaka. Brojanja su izvršena u periodu tokom kog je vršeno i snimanje brzina, a za potrebe analize protok pešaka je izražen kao prosečan petominutni protok.

Snimanje brzina izvršeno je pomoću uređaja „RaceLogic Performance Box Sport“ (RLPBMIC). Ovaj uređaj omogućava beleženje karakteristika kretanja vozila zasnovano na GPS tehnologiji u frekvenciji od 10 uzoraka po sekundi. Pomoću RLPBMIC moguće je izmeriti vreme, brzinu, podužno, bočno i vertikalno ubrzanje, pređeno rastojanje, poziciju vozila posmatrano u tri ose referentnog koordinatnog sistema. Ovim uređajem brzina vozila se meri sa tačnošću od $\pm 0,1$ km/h, dok se preciznost pozicioniranja vozila u prostoru kreće u radijusu od 5,0 m (RaceLogic, 2012). Potvrda o kalibraciji i testiranju korišćenog uređaja data je u prilogu. Svi podaci skladište se na memorijsku karticu i mogu biti izvezeni u odgovarajući softver u kom se vrši pregled i obrada podataka. Podaci se zapisuju .VBO standardnom „space-delimited“ tekst formatu koji omogućava jednostavnu obradu podataka i izvoz u druge aplikativne softvere.



Slika 5.37 Izgled uređaja „RaceLogic Performance Box Sport“ (RaceLogic, 2012)

U namenskom softveru „RaceLogic Performance Tools“ podaci su obrađeni i klasifikovani prema deonicama i pojedinačnim vožnjama po smeru i izvezeni u formi tabele u .XLSX formatu radi jednostavnijeg uporednog prikaza, formiranja grafikona, statističke obrade i sl.



Slika 5.38 Prikaz izvornih podataka o brzini i vremenu putovanja vozila u programu „RaceLogic Performance Tools“

Snimanje video zapisa tokom prikupljanja podataka na odsecima gradskih saobraćajnica izvršeno je „HD DVR“ auto kamerom. Kamera ima mogućnost snimanja u 720 HD rezoluciji i ugao snimanja od 120°. Video zapis beleži se u .AVI formatu. Sa zabeleženog video materijala prikupljeni su podaci neophodni za utvrđivanje protoka vozila metodom pokretnog osmatrača, kao i za analizu razloga zaustavljanja vozila na analiziranom odseku (zaustavljanje usled propuštanja pešaka ili zaustavljanje kao posledica drugog izvora ometanja). Nakon izvršene obrade iz predmetne analize izuzeti su prikupljeni uzorci o karakteristikama kretanja kod kojih je utvrđen uticaj različitih faktora na brzinu usled uticaja velike gustine saobraćajnog toka (šok talasi), parkiranja vozila na uličnom parkiralištu, ulaza/izlaza sa kolskog prilaza i nepredviđenih situacija (kao što je prelazak pešaka van pešačkog prelaza i sl.).

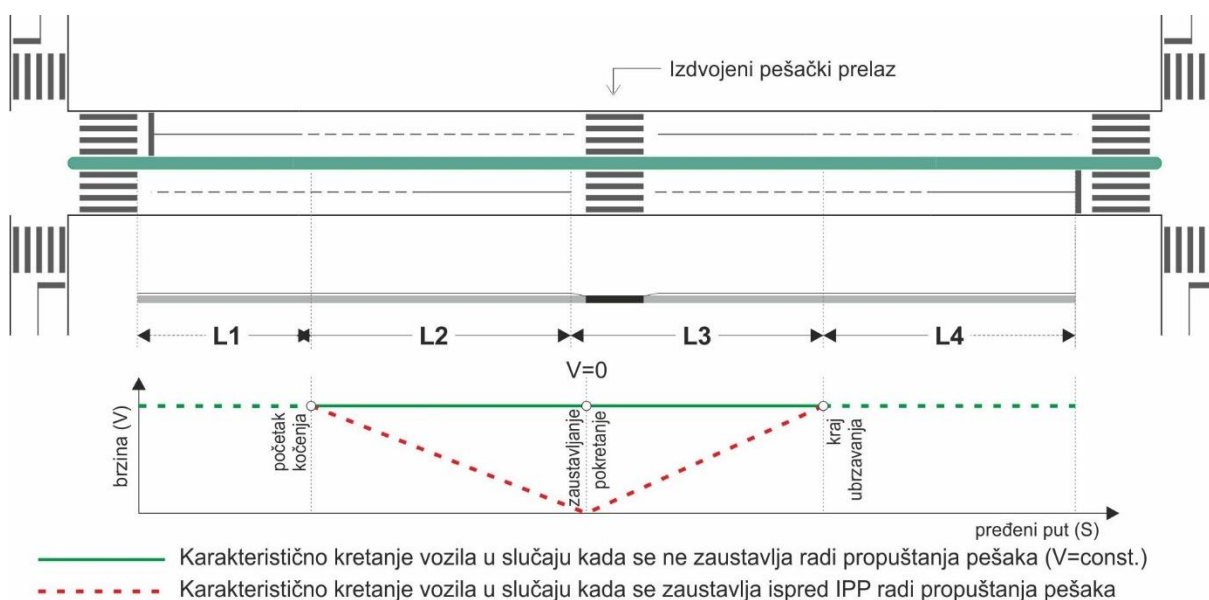


Slika 5.39 Izgled „HD DVR“ auto kamere

Podela odseka na karakteristične segmente

Radi usklađivanja, upoređivanja i uniformnog prikaza podataka o karakteristikama brzina vozila na odsecima različitih dužina izvršena je podela odseka na segmente. Podela odseka na segmente vršena je za svaki smer vožnje, pa se praktično segmenti definišu za svaki link pojedinačno. Odseci, odnosno linkovi, su u osnovi podeljeni na četiri karakteristična segmenta:

- segment L1: područje linka ispred IPP van uticaja pešaka, vozilo ostvaruje prosečnu brzinu V_1 i vreme putovanja t_1 ;
- segment L2: područje linka ispred IPP na kom vozila usporavaju radi propuštanja pešaka, vozilo ostvaruje prosečnu brzinu V_2 i vreme putovanja t_2 ;
- segment L3: IPP i područje linka iza IPP na kom vozila ubrzavaju nakon propuštanja pešaka, vozilo ostvaruje prosečnu brzinu V_3 i vreme putovanja t_3 ;
- segment L4: područje linka iza IPP pod uticajem izlazne granične raskrsnice, vozilo ostvaruje prosečnu brzinu V_4 i vreme putovanja t_4 .



Slika 5.40 Karakteristični segmenti i idealizovane kinematske karakteristike vozila na linku

Područje linka ispred IPP van uticaja pešaka (segment L1) predstavlja rastojanje od ulazne granične raskrsnice do mesta na kom vozač najranije može da reaguje kočenjem radi propuštanja pešaka, odnosno do početka segmenta L2. Brzine vozila ostvarene na segmentu L1 nisu detaljno analizirane s obzirom na to da ovde prelazak pešaka na IPP ne utiče na kretanje vozila.

Područje na kojem vozila usporavaju radi propuštanja pešaka predstavlja (segment L2) deo odseka (linka) ispred IPP čija dužina odgovara dužini puta kočenja za vozila, od vrednosti srednje brzine vozila na posmatranom odseku do potpunog zaustavljanja, pri normalnom usporenju. Uzimajući u obzir sve snimljene odseke za potrebe predmetne analize, kao merodavna dužina segmenta L2 usvojeno je rastojanje dužine 55,0 m, mereno 1,0 m od donje ivice pešačkog prelaza ka početku odseka.

Područje na kom vozila ubrzavaju (segment L3) predstavlja deo odseka (linka) na kom je obeležen IPP (+ 1,0 m ispred pešačkog prelaza) i područje odseka iza IPP. Dužina ovog segmenta odgovara rastojanju koje pređe vozilo pri normalnom ubrzanju iz stanja mirovanja do vrednosti srednje brzine vozila na posmatranom odseku (linka). Uzimajući u obzir sve snimljene odseke za potrebe predmetne analize, kao merodavna dužina segmenta L3 usvojeno je rastojanje dužine 50,0 m, mereno 1,0 m od donje ivice pešačkog prelaza ka kraju odseka.

Područje iza IPP označeno kao segment 4 postoji samo u slučajevima kada postoji mogućnost nastanka vremenskih gubitaka na graničnom čvoru na kraju odseka (signalisana ili kružna raskrsnica). Uticaj graničnog čvora na kraju odseka manifestuje se smanjenjem brzine i povećanja vremena putovanja na linku, a javlja se kao posledica formiranja reda čekanja u slučaju zabrane prolaska na semaforu ili propuštanja vozila u kruženju kod kružnih raskrsnica. Za potrebe predmetne analize kao minimalna dužina segmenta L4 usvojeno je rastojanje od 75,0 m mereno od donje ivice zaustavne linije suprotno od smera kretanja vozila. Prema dostupnoj literaturi ([Transportation research board, 2016b](#)) u granicama ovog rastojanja primetan je efekat uticaja signalisane raskrsnice u slučaju stvaranja reda čekanja pri normalnim uslovima. U određenim slučajevima, u zavisnosti od položaja IPP u odnosu na granični čvor, na kraju odseka u može doći do „preklapanja“ dela segmenta L4 i segmenta L3. Prilikom nastanka ovakvih situacija u istraživanju koje je sprovedeno analizirani su samo oni snimci brzina gde je vozilo prošlo odsek bez promene kretanja nastalog usled uticaja na segmentu L4 (nailazak vozila na zeleno svetlo bez formiranog reda ispred raskrsnice).

POGLAVLJE

6

Parametri saobraćajnog toka u zoni izdvojenih pešačkih prelaza na gradskim saobraćajnicama

U okviru ovog dela analiziran je i opisan uticaj IPP na brzinu toka i vreme putovanja na odsecima gradskih saobraćajnica. Podaci za ovu analizu dobijeni su snimanjem brzina i vremena putovanja u nekoliko različitih gradova, na linkovima i IPP sa različitim opterećenjem. Statističkom analizom utvrđen je uticaj ova dva parametra (brzina i vreme putovanja na linku) na nastanak vremenskih gubitaka na IPP.

6. PARAMETRI SAOBRAĆAJNOG TOKA U ZONI IZDVOJENIH PEŠAČKIH PRELAZA NA GRADSKIM SAOBRAĆAJNICAMA

Na IPP dolazi do ukrštanja saobraćajnih tokova čiji elementarni učesnici imaju različite karakteristike kretanja. U okviru analize karakteristika ispitani su ključni parametri koji definišu karakter pešačkih i vozačkih tokova, i utvrđene njihove osnovne zakonitosti. Rezultati predmetne analize dati su na osnovu podataka prikupljenih u realnom saobraćajnom toku, prethodno opisanom metodologijom.

6.1. Karakteristike pešačkih tokova u zoni IPP

Prethodna istraživanja karakteristika pešaka i pešačkih tokova pokazala su da se ponašanje pešaka i parametri pešačkih tokova u velikoj meri mogu razlikovati zbog uticaja većeg broja faktora. Ovi faktori mogu da budu karakteristike šireg područja u kom se vrši istraživanje (analiza), karakteristike okruženja na mikrolokaciji, ustaljenih navika pešaka, pa u određenoj meri i kulturnih, socijalnih i ekonomskih karakteristika društva. Prethodno navedeni faktori nisu uzimani u analizu iz razloga što ovako koncipiranim istraživanjem nije bilo moguće pouzadno utvrditi njihov uticaj.

6.1.1. Brzina pešaka na IPP

Jedna od osnovnih karakteristika pešačkih tokova je način njihovog kretanja kojim je definisano da pešaci mogu da se kreću samostalno ili u grupi. Grupu pešaka predstavlja dva ili više pešaka koji se kreću zajedno na bliskom međusobnom odstojanju. Za potrebe predmetnog istraživanja blisko rastojanje između pešaka definisano je kao udaljenost manja od 1,0 m poprečno i manje od 2,0 m podužno u smeru kretanja pešaka. Prepoznavanje karakteristika pešačkih tokova u smislu samostalnog kretanja ili kretanja pešaka u grupi bitno je iz razloga jer se parametri kojim se definiše kretanje pešačkih tokova mogu razlikovati. Prema nekoliko istraživanja pomenutih u prethodnom delu jedna od osnovnih razlika jeste u brzini kretanja pešaka (*Dipietro & King, 1970; Lobjois et al., 2013; Mitrović Simić et al., 2017; Roupail et al., 1998*), a samim tim i vremenu zadržavanja pešaka na kolovozu.

Za potrebe formiranja modela na reprezentativnom uzorku istražene su karakteristike brzina pešaka na IPP. Ukupan uzorak čine 810 brzina u slučaju samostalnog prelaska i 207 brzina u slučaju prelaska pešaka u grupi. Nakon analize ukupnog uzorka i eliminacije ekstremnih vrednosti selektovan je reprezentativan uzorak koji čini 801

brzina u slučaju samostalnog prelaska (98,9% od ukupnog uzorka) i 204 brzine u slučaju prelaska pešaka u grupi (98,6% od ukupnog uzorka).

Tabela 6.1 Deskriptivne vrednosti brzina pešaka

	N	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Vp_one*	801	1,51	0,3205	0,4664	1,3856	1,4136	1,7293	2,4473
Vp_group**	204	1,36	0,2388	0,7778	1,1708	1,3954	1,4923	1,9721

* Vp_one – brzina pešaka koji se kreće samostalno

** Vp_group – brzina pešaka koji se kreću u grupi

Na osnovu podataka prikazanih u prethodnoj tabeli može se zaključiti da je prosečna brzina pešaka koji se kreću u grupi manja od prosečne brzine pešaka koji na IPP samostalno prelazi kolovoz. Utvrđene brzina pešaka u grupi kreću u granicama 0,78 – 1,97 m/s, dok je ovaj raspon u slučajevima kada pešak samostalno prelazi kolovoz veći i kreće se u granicama 0,47 – 2,45 m/s. Za proveru statističke značajnosti razlike u brzinama pešaka primenjen je Mann-Whitney test čiji su rezultati dati u narednoj tabeli.

Tabela 6.2 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama pešaka

	N	Mean	StDev	Median
Vp_one	801	1,506	0,3205	1,4136
Vp_group	204	1,363	0,2388	1,3954
Mann-Whitney test				
H0: Vp_one = Vp_group				
H1: Vp_one ≠ Vp_group				
	η^2 - η^2	95,1% CI	P-vrednost	
	0,1371	(0,0926.0,2142)	0,0000	

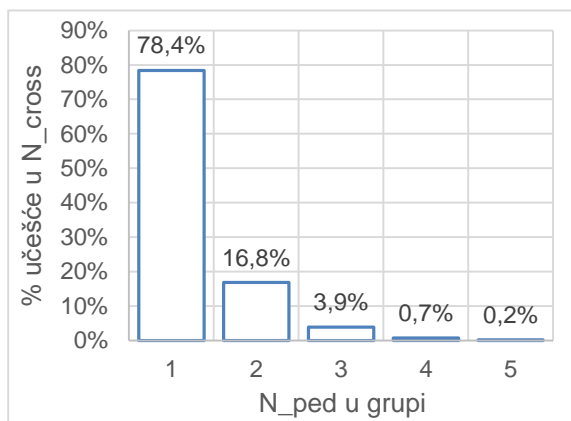
Rezultati analize pokazali su da postoji značajna statistička razlika između brzina u slučaju samostalnog prelaska pešaka i prelaska pešaka u grupi. Uzimajući u obzir karakteristike pešačkih tokova i brzinu pešaka kao parametra koji će biti korišćen u daljoj analizi, može se reći da utvrđena statistički značajna razlika ne predstavlja i praktično značajan razliku između dveju posmatranih brzina. U daljoj analizi kao merodavna vrednost brzine pešaka, odnosno grupe pešaka, usvojena je vrednost medijane celokupnog uzorka, odnosno 1,40 m/s.

6.1.2. Broj prelazaka i protok pešaka

Na IPP pešaci kao osnovna grupa korisnika ovog elementa ulične mreže ometaju neprekidno kretanje vozila i održavanje konstantne brzine vozačkih tokova. Navedena ometanja nastaju usled dolaska pešaka ili grupe pešaka na pešački prelaz, odnosno usled njihovog propuštanja od strane vozila. Dakle, na kretanje vozila utiče prelazak, koji se definiše kao kretanje jednog pešaka ili grupe pešaka preko kolovoza. Ukupan broj prelazaka (N_cross) čini zbir samostalnih prelazaka (N_one) i prelazaka u grupi

(N_{group}), a može biti jednak ili manji od ukupnog broja pešaka (N_{ped}) koji u posmatranom vremenskom periodu izvrše prelazak preko kolovoza. U okviru standardnih procedura analize uslova odvijanja saobraćaja kao osnovni parametar pešačkog saobraćajnog toka utvrđuje se protok, odnosno broj pešaka u jedinici vremena.

Tokom istraživanja na sedam lokacija zabeleženo je ukupno 1017 prelazaka, sa ukupno 1273 pešaka. Tom prilikom je utvrđeno da u proseku skoro jednu četvrtinu od ukupnog broja prelazaka čine prelasci u grupi.



Slika 6.1 Prosečno učešće grupnih prelazaka u ukupnom broju prelazaka

Tabela 6.3 Učešće grupnih prelazaka u ukupnom broju prelazaka po lokacijama

	Broj pešaka u grupi				
	1	2	3	4	5
LOK_1	77,8%	17,3%	4,3%	0,6%	0,0%
LOK_2	82,4%	12,9%	4,7%	0,0%	0,0%
LOK_3	82,9%	15,4%	1,7%	0,0%	0,0%
LOK_4	82,6%	15,3%	2,1%	0,0%	0,0%
LOK_5	75,8%	18,0%	4,7%	1,6%	0,0%
LOK_6	71,8%	21,2%	4,7%	1,2%	1,2%
LOK_7	75,8%	17,7%	4,8%	1,6%	0,0%

Na posmatranim lokacijama merenje protoka pešaka i broja prelazaka vršeno je po petominutnim intervalima. U zavisnosti o vremena posmatranja na svakoj od lokacija prikupljen je određen uzorak, što u ukupnom broju čini 56 petominutnih intervala.

Tabela 6.4 Reprezentativni uzorak broja prelazaka i broja pešaka po lokacijama i 5-min. intervalima

5-minutni interval	LOK_1		LOK_2		LOK_3		LOK_4		LOK_5		LOK_6		LOK_7	
	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped	N_cross	N_ped
0-5	13	20	11	15	11	15	34	43	37	47	7	8	8	10
5-10	19	24	12	14	13	14	42	50	31	38	13	17	13	15
10-15	15	18	8	11	8	10	41	48	27	39	17	21	19	29
15-20	12	14	8	9	9	10	40	48	33	45	9	16	11	14
20-25	11	15	19	24	19	24	30	36	-	-	22	34	11	14
25-30	15	19	12	15	13	15	48	56	-	-	17	22	-	-
30-35	12	14	10	12	12	13	-	-	-	-	-	-	-	-
35-40	17	24	15	17	14	18	-	-	-	-	-	-	-	-
40-45	14	17	21	28	22	28	-	-	-	-	-	-	-	-
45-50	14	15	22	26	21	24	-	-	-	-	-	-	-	-
50-55	9	12	17	18	16	18	-	-	-	-	-	-	-	-
55-60	11	15	15	19	17	19	-	-	-	-	-	-	-	-
UKUPNO	162	207	170	208	175	208	235	281	128	169	85	118	62	82

S obzirom na to da veličina uzorka klasifikovana po petominutnim intervalima nije apsolutno adekvatna za vršenje statističke analize saglasnosti za određenom

raspodelom, izvršena je klasifikacija dolazaka pešaka po intervalima od jednog minuta. Analizom prikupljenih podataka na posmatranim IPP utvrđeno je da broj prelazaka i protok pešaka u posmatranom periodu na najvećem broju lokacija nije saglasan sa normalnom distribucijom, već da posmatrani uzorci u najvećoj meri imaju saglasnost sa slučajnom (Poaasonovom) raspodelom. Za ispitivanje saglasnosti sa normalnom rasporedolom korišćen je Anderson–Darling test, odnosno Pirsonov hi-kvadrat test za ispitivanje saglasnosti sa Poaasonovom raspodelom. U narednoj tabeli prikazani su osnovni deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka sa navedenim raspodelama.

Tabela 6.5 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka N_cross sa normalnom i Poaasonovom raspodelom

	LOK_1	LOK_2	LOK_3	LOK_4	LOK_5	LOK_6	LOK_7
Normalna raspodela							
Mean (1-min)	2,70	2,83	2,92	7,83	6,40	2,83	2,48
StDev (1-min)	1,66	1,78	1,86	3,15	2,80	1,68	1,42
N	60	60	60	30	20	30	25
AD	1,640	1,045	1,477	0,405	0,342	0,740	2,338
P-vrednost	<0,05	<0,05	<0,05	0,333	0,455	<0,05	<0,05
Poaasonova raspodela							
Poisson mean (1-min)	2,70	2,83	2,92	7,83	6,40	2,83	2,48
N	60	60	60	30	20	30	25
DF	5	5	5	7	3	3	3
Chi-Sq	2,475	2,910	7,810	3,707	1,894	1,974	11,316
P-vrednost	0,780	0,714	0,167	0,813	0,959	0,578	<0,05

Tabela 6.6 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka N_ped sa normalnom i Poaasonovom raspodelom

	LOK_1	LOK_2	LOK_3	LOK_4	LOK_5	LOK_6	LOK_7
Normalna raspodela							
Mean (1-min)	3,45	3,47	3,47	9,37	8,45	3,93	3,28
StDev (1-min)	2,37	2,18	2,20	3,88	3,62	2,60	2,15
N	60	60	60	30	20	30	25
AD	1,556	0,823	1,254	0,639	0,343	0,544	1,373
P-vrednost	<0,05	<0,05	<0,05	0,087	0,455	0,149	<0,05
Poaasonova raspodela							
Poisson mean (1-min)	3,45	3,47	3,47	9,37	8,45	3,93	3,28
N	60	60	60	30	20	30	25
DF	5	5	5	4	3	5	3
Chi-Sq	17,558	7,687	11,136	7,380	0,739	7,315	2,040
P-vrednost	<0,05	0,174	<0,05	0,117	0,864	0,198	0,564

6.2. Karakteristike vozačkih tokova u zoni IPP

Istraživanje karakteristika vozačkih tokova u zoni IPP u ovom radu podrazumeva prikupljanje i analizu poznatih parametara saobraćajnog toka koji se u standardnim

procedurama koriste za kvalitativnu ocenu uslova odvijanja saobraćaja. Prikupljanje podataka za vozačke tokove vršeno je uporedno sa prikupljanjem podataka o karakteristikama pešačkih tokova, na istim lokacijama i u istom trenutku. Prilikom formiranja skupa podataka sa parametrima vozačkog toka posmatrana su sva vozila u toku, u fazi prilaska IPP. Prikupljeni su sledeći podaci o vozačkom saobraćajnom toku:

- protok vozila po jednakim petominutnim intervalima, po saobraćajnoj traci (Q_5min);
- učešće različitih kategorija vozila u toku: motocikl (mot), putnički automobil (pa), autobus (bus), dostavno vozilo (dst), teretno vozilo (tv);
- ukupan broj zaustavljanja (zaustavljenih vozila) ispred IPP (N_stops);
- vreme čekanja vozila (D2_veh) ukupno i pojedinačno za svako vozilo;
- interval sleđenja vozila (th).

Analizom karakteristika tokova na izabranim lokacijama obuhvaćeno je ukupno 3.979 vozila čije karakteristike kretanja su analizirane pojedinačno za svako vozilo, kao elementa saobraćajnog toka. Ostvaren protok vozila, kao i svi ostali parametri koji se odnose na karakteristike vozačkih tokova, analizirani su na nivou petominutnog intervala. Ovakav način vremenske raspodele protoka vozila izvršen je u cilju umanjenja uticaja časovne neravnomernosti protoka. Posmatrajući sa aspekta složenosti saobraćajnog toka, sve analize vršene su na bazi prostog saobraćajnog toka, odnosno posmatran je tok u jednoj saobraćajnoj traci u jednom smeru. Sve analize vršene su na bazi nehomogenog, odnosno realnog saobraćajnog toka, pri čemu je u svakom trenutku uzet u obzir procenat učešća komercijalnih vozila (autobusi i teretna vozila) koja se po svojim vozno-dinamičkim i tehničko-eksploatacionim karakteristikama u velikoj meri razlikuju od putničkih automobila.

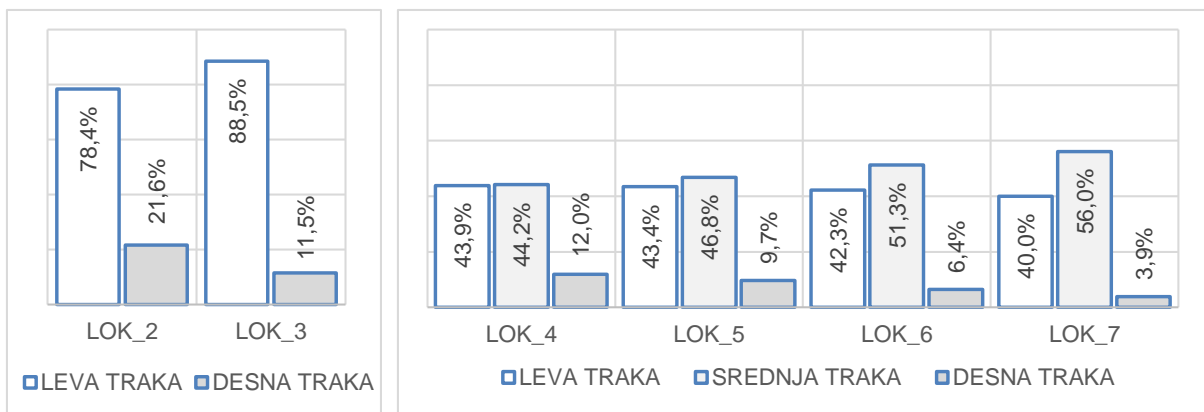
Osnovni uzorak sastoji se od 57 petominutnih intervala zabeleženih na mikro lokacijama. Složenost saobraćajnog toka na posmatranim mikrolokacijama se razlikuje i na svim lokacijama osim na LOK_1 saobraćajni tok je složen, sačinjen od dva ili tri prosta saobraćajna toka. Raščlanjivanjem uzorka prema složenosti formirano je 17 prostih saobraćajnih tokova što čini konačni uzorak od 123 petominutna intervala prostih saobraćajnih tokova. U narednim tabelama prikazane su kvantitativne karakteristike protoka vozila prema analiziranim lokacijama.

Tabela 6.7 Protok vozila po 5-minutnim intervalima (Q_5min) na analiziranim lokacijama

5-minutni interval	LOK_1 (1 prost tok)	LOK_2 (2 prosta toka)	LOK_3 (2 prosta toka)	LOK_4 (3 prosta toka)	LOK_5 (3 prosta toka)	LOK_6 (3 prosta toka)	LOK_7 (3 prosta toka)
0-5	28	47	42	145	139	79	124
5-10	29	49	66	119	85	103	116
10-15	41	51	61	120	111	90	134
15-20	35	57	61	124	77	93	127
20-25	36	49	54	105	-	84	111
25-30	31	50	50	114	-	95	-
30-35	47	41	55	-	-	-	-
35-40	31	71	55	-	-	-	-
40-45	38	37	47	-	-	-	-
45-50	33	49	56	-	-	-	-

5-minutni interval	LOK_1 (1 prosta toka)	LOK_2 (2 prosta toka)	LOK_3 (2 prosta toka)	LOK_4 (3 prosta toka)	LOK_5 (3 prosta toka)	LOK_6 (3 prosta toka)	LOK_7 (3 prosta toka)
50-55	21	49	66	-	-	-	-
55-60	48	47	56	-	-	-	-
Prosečno	35	50	56	121	103	91	122
UKUPNO	418	597	669	727	412	544	612

Analizom ostvarenog protoka na posmatranim lokacijama utvrđena je raspodela po saobraćajnim trakama. Generalni zaključak je u skladu sa prethodnim (preliminarnim) istraživanjima koja su pokazala da se u slučaju kada postoji više od jedne trake po smeru u većoj meri koristi krajnja leva (preticajna) traka ili krajnja leva i srednja traka ukoliko se radi o kolovozu sa tri saobraćajne trake. Neravnomernost protoka po trakama posebno je izražena kod saobraćajnica sa po tri trake po smeru kada u većini slučajeva ostvaren protok u krajnjoj desnoj saobraćajnoj traci iznosi manje od 10,0% ukupno ostvarenog protoka.



a) lokacije sa dve s.t. po smeru

b) lokacije sa tri saobraćajne trake po smeru

Slika 6.2 Procentualna raspodela protoka po saobraćajnim trakama

Analizirajući učešće različitih kategorija vozila na svim lokacijama po petominutnim intervalima utvrđeno je da je putnička vozila učestvuju sa daleko najvećim procentom (u proseku 88,7%), a zatim dostavna vozila sa prosečnim učešćem 7,0%. Autobusi i teretna vozila u proseku učestvuju sa ukupno 4,1%, dok se u najmanjoj meri pojavljuju motocikli sa prosečnim učešćem od 0,2%.

Tabela 6.8 Raspodela udela različitih kategorija vozila po analiziranim lokacijama

	LOK_1	LOK_2	LOK_3	LOK_4	LOK_5	LOK_6	LOK_7
motocikl	0,5%	0,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
putnički automobil	87,8%	85,6%	87,1%	88,4%	90,5%	90,8%	90,4%
autobus	7,4%	3,2%	1,9%	1,5%	2,4%	0,9%	1,6%
dostavno vozilo	3,6%	8,4%	9,3%	9,4%	6,3%	5,7%	6,2%
teretno vozilo	0,7%	2,3%	1,3%	0,7%	0,7%	2,6%	1,6%

Za potrebe istraživanja i daljeg definisanja modela protok vozila je, kao i protok pešaka, utvrđen na petominutnom intervalu. Kako ovako klasifikovan broj vozila ne pruža

dovoljno širok uzorak za statističke analize ispitivanja na saglasnost sa određenom raspodelom izvršena je klasifikacija dolazaka vozila u intervalima od jednog minuta. Anderson-Darling testom saglasnosti utvrđeno je da broj vozila koja u posmatranom periodu nailaze na IPP, u najvećoj meri i na najvećem broju lokacija ima saglasnost sa normalnom raspodelom. Parametri koji opisuju navedenu saglasnosti posmatranog uzorka sa normalnom raspodelom dati su u narednoj tabeli.

Tabela 6.9 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka Q_1min sa normalnom raspodelom na lokacijama 1, 2, 3 i 4

Lokacija Traka	LOK_1		LOK_2		LOK_3		LOK_4	
	-	leva	desna	leva	desna	leva	srednja	desna
Mean (1-min)	6,98	7,80	2,15	9,87	1,28	10,63	10,7	2,90
StDev (1-min)	2,96	3,31	1,92	2,95	1,44	4,13	4,36	1,91
N	60	60	60	60	60	30	30	30
AD	0,696	0,420	2,484	0,673	3,530	0,317	0,704	0,774
P-vrednost	0,066	0,316	<0,05	0,075	<0,05	0,522	0,059	<0,05

Tabela 6.10 Deskriptori saglasnosti posmatranog uzorka Q_1min sa normalnom raspodelom na lokacijama 5, 6 i 7

Lokacija Traka	LOK_5			LOK_6			LOK_7		
	leva	srednja	desna	leva	srednja	desna	leva	srednja	desna
Mean (1-min)	8,95	9,65	2,00	7,67	9,30	1,17	9,80	13,72	0,96
StDev (1-min)	4,93	5,324	1,17	4,02	4,59	1,08	3,84	2,94	1,10
N	20	20	20	30	30	30	25	25	25
AD	0,218	0,403	0,932	0,297	0,367	1,486	0,650	0,349	1,993
P-vrednost	0,815	0,324	<0,05	0,569	0,410	<0,05	0,079	0,446	<0,05

6.2.1. Ostvareni vremenski gubici vozila usled propuštanja pešaka

Analizom uslova odvijanja saobraćaja na svim analiziranim lokacijama IPP (lokacije LOK_1 – LOK_7) zabeležen je prolazak ukupno 3.979 vozila. U zavisnosti od spremnosti vozača da propuste pešake na IPP ukupno 462 vozila se zaustavilo i ostvarilo određene vremenske gubitke. Vremenski gubitak jednog vozila može se raščlaniti na vreme čekanja (D2_veh) koje je promenljivo i vremenske gubitke u zoni usporavanja i ubrzavanja vozila (D1_veh i D3_veh) koji su fiksni i zavise od usvojenih dinamičkih parametara vožnje (relacije opisane u tački 5.4.1). Iz tog razloga u daljem predstavljaju karakteristika vremenskih gubitaka paralelno će biti prikazane vrednosti vremena čekanja vozila (D2_veh) i ukupno ostvarenih vremenskih gubitaka pojedinačnog vozila (D_veh).

Tabela 6.11 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka svih zaustavljenih vozila

	N	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
D_veh	462	12,64	4,80	6,28	9,30	11,29	14,34	34,27
D2_veh	462	7,34	4,80	0,98	4,00	5,99	9,04	28,97

Tokom analize uočeno je da se prosečna vrednost vremenskih gubitaka u manjoj meri razlikuje u zavisnosti od lokacije kao i od pozicije vozila u redu nakon zaustavljanja (PIQ). Razlika u veličini ostvarenih vremenskih gubitaka direktna je posledica većeg broja zaustavljenih vozila koja se ispred pešačkog prelaza nakupljaju u redu.

Tabela 6.12 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka D_veh po lokacijama i poziciji u redu čekanja

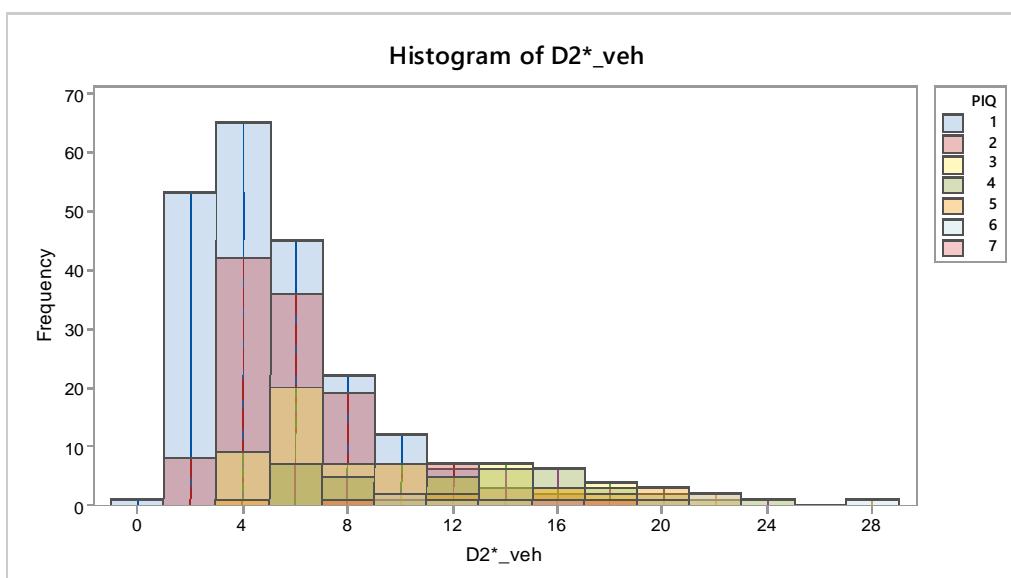
	LOK_1	LOK_2	LOK_3	LOK_4	LOK_5	LOK_6	LOK_7
N_stop	12	54	35	201	110	17	33
D_veh (mean)	11,30	10,23	10,75	13,91	13,47	10,05	9,94
PIQ							
1	10,02 (7)	9,98 (36)	9,98 (20)	10,79 (73)	10,91 (34)	10,07 (14)	9,67 (22)
2	10,55 (4)	10,74 (15)	11,13 (6)	12,34 (59)	12,27 (29)	9,96 (3)	10,49 (10)
3	23,29 (1)	10,64 (3)	12,28 (4)	15,10 (33)	14,97 (22)		10,39 (1)
4			13,34 (3)	20,19 (20)	16,08 (14)		
5			10,31 (2)	22,80 (10)	18,70 (5)		
6				25,31 (5)	18,81 (4)		
7				24,29 (1)	16,32 (2)		

* Vrednosti u zagradama predstavljaju broj zaustavljenih vozila na odgovarajućoj poziciji u redu čekanja.

Tabela 6.13 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh po lokacijama i poziciji u redu čekanja

	LOK_1	LOK_2	LOK_3	LOK_4	LOK_5	LOK_6	LOK_7
N_stop	12	54	35	201	110	17	33
D2_veh (mean)	6,00	4,93	5,45	8,61	8,18	4,75	4,64
PIQ							
1	4,72 (7)	4,68 (36)	4,68 (20)	5,49 (73)	5,61 (34)	4,77 (14)	4,37 (22)
2	5,25 (4)	5,44 (15)	5,83 (6)	7,04 (59)	6,97 (29)	4,66 (3)	5,19 (10)
3	17,99 (1)	5,34 (3)	6,98 (4)	9,80 (33)	9,67 (22)		5,09 (1)
4			8,04 (3)	14,89 (20)	10,78 (14)		
5			5,01 (2)	17,50 (10)	13,40 (5)		
6				20,01 (5)	13,51 (4)		
7				18,99 (1)	11,02 (2)		

* Vrednosti u zagradama predstavljaju broj zaustavljenih vozila na odgovarajućoj poziciji u redu čekanja.

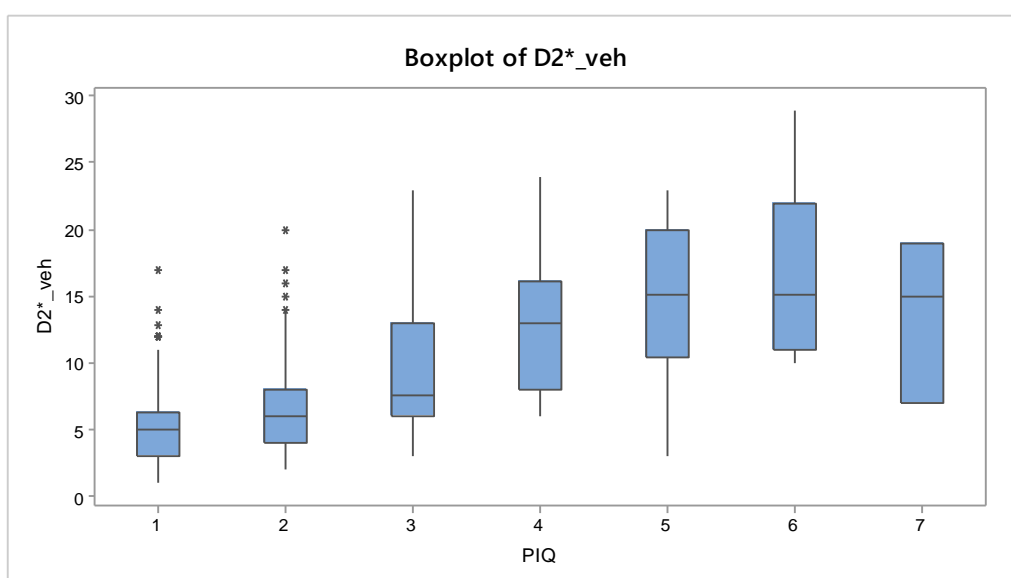


Slika 6.3 Raspodela ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh u zavisnosti od pozicije vozila u redu

Sagledavajući vremenske gubitke vozila na svim analiziranim lokacijama utvrđene su prosečne vrednosti vremenskih gubitaka u zavisnosti od pozicije vozila u redu čekanja.

Tabela 6.14 Deskriptivne vrednosti ostvarenih vremenskih gubitaka prema poziciji u redu čekanja

	PIQ						
	1	2	3	4	5	6	7
N_stop	206	126	64	37	17	9	3
D_veh (mean)	10,39	11,81	14,72	18,08	20,13	22,42	18,98
D2_veh (mean)	5,09	6,51	9,42	12,78	14,83	17,12	13,68



Slika 6.4 Dijagram prosečnih vrednosti vremenskih gubitaka D2_veh u zavisnosti od pozicije vozila u redu

6.3. Definisanje uticaja IPP na brzinu saobraćajnog toka i vreme putovanja na odsecima gradskih saobraćajnica

Uticaj IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica najlakše je objasniti kroz definisanje poremećaja parametara saobraćajnog toka, pre svega brzine i vremena putovanja. U prethodnom delu rada opisana su ranija istraživanja koja su između ostalog pokazala da uticaj prelazaka pešaka na IPP može uticati na smanjenje srednje brzine i povećanje vremena putovanja. U ovom delu analiziran je uticaj prisustva pešaka na IPP na brzinu vozila i vreme putovanja. Prikazani rezultati su rezultat drugog dela istraživanja sprovedenog na odsecima gradskih saobraćajnica. U narednim tabelama prikazani su parametri saobraćajnih tokova na posmatranim odsecima. Za saobraćajnice sa više saobraćajnih traka po smeru prikazane vrednosti odnose se na najopterećeniju saobraćajnu traku odnosno onu traku u kojoj je vršeno merenje brzine.

Tabela 6.15 Protok pešaka i vozila na posmatranim odsecima gradskih saobraćajnica – odsek 1-5

ODSEK	1		2		3		4		5	
Smer	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Link	11	12	21	22	31	32	41	42	51	52
q_{ped} (ped/h)	528	528	324	324	468	468	216	216	24	24
q (voz/h)	927	850	953	1245	588	419	486	361	299	303
q (PAJ/h)	1002	881	1030	1318	609	422	542	394	299	310
BUS (%)	6,3%	2,4%	5,4%	4,6%	1,8%	0,7%	8,4%	7,7%	0,0%	0,0%
TV(%)	0,4%	0,5%	1,1%	0,3%	0,9%	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%	1,5%

Tabela 6.16 Protok pešaka i vozila na posmatranim odsecima gradskih saobraćajnica – odsek 6-9

ODSEK	6		7		8		9	
Smer	1	2	1	2	1	2	1	2
Link	61	62	71	72	81	82	91	92
q_{ped} (ped/h)	492	492	564	564	288	288	336	336
q (voz/h)	533	450	415	350	257	408	373	496
q (PAJ/h)	546	459	431	360	257	414	396	496
BUS (%)	0,0%	1,8%	3,3%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%	0,0%
TV(%)	1,6%	0,0%	0,0%	1,9%	0,0%	0,0%	4,2%	0,0%

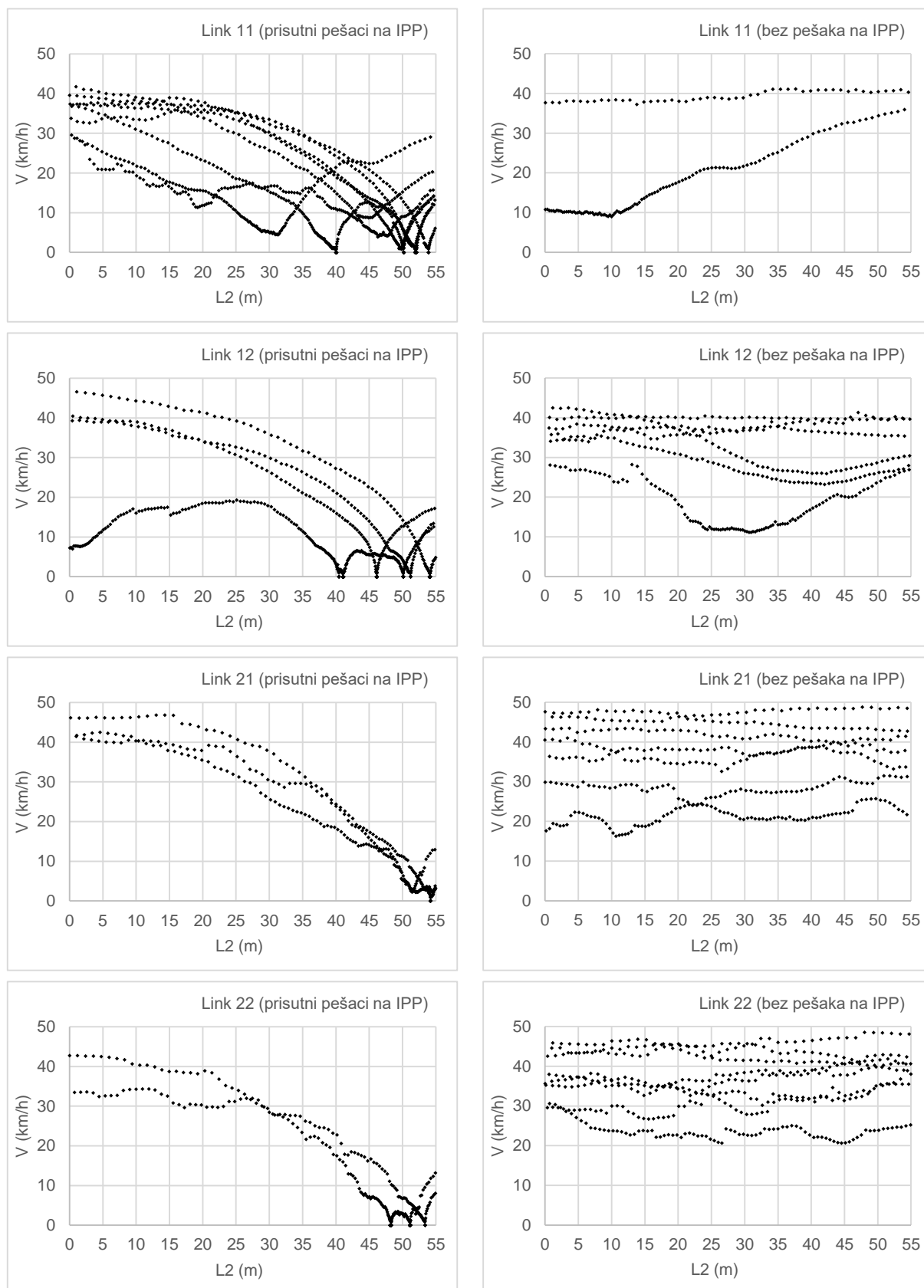
Kao što je opisano u metodologiji (tačka 5.4.2), snimanje brzina vozila na odsecima izvršeno je u više navrata za svaki smer vožnje, pa prikupljeni podaci praktično mogu biti klasifikovani po svakom linku posmatranih odseka. Da bi se utvrdio realan i isključivo uticaj IPP-a na brzinu saobraćajnog toka, odnosno uslove odvijanja saobraćaja, kao merodavne brzine analizirane su prosečna brzina vožnje na segmentima L2 i L3, u slučaju sa i bez pojave pešaka na IPP. U narednoj tabeli prikazane su empirijski utvrđene brzine na analiziranim odsecima (linkovima) i to

srednja brzina vožnje (St_{seg}) u slučaju kada ne postoji ometanje od strane pešaka na IPP, srednja brzina vožnje samo u slučaju kada se vozila zaustavljaju da propuste pešake i prosečna brzina saobraćajnog toka. Prosečna brzina saobraćajnog toka u ovom slučaju predstavlja srednju vrednost izmerenih brzina sa i bez pešaka na IPP.

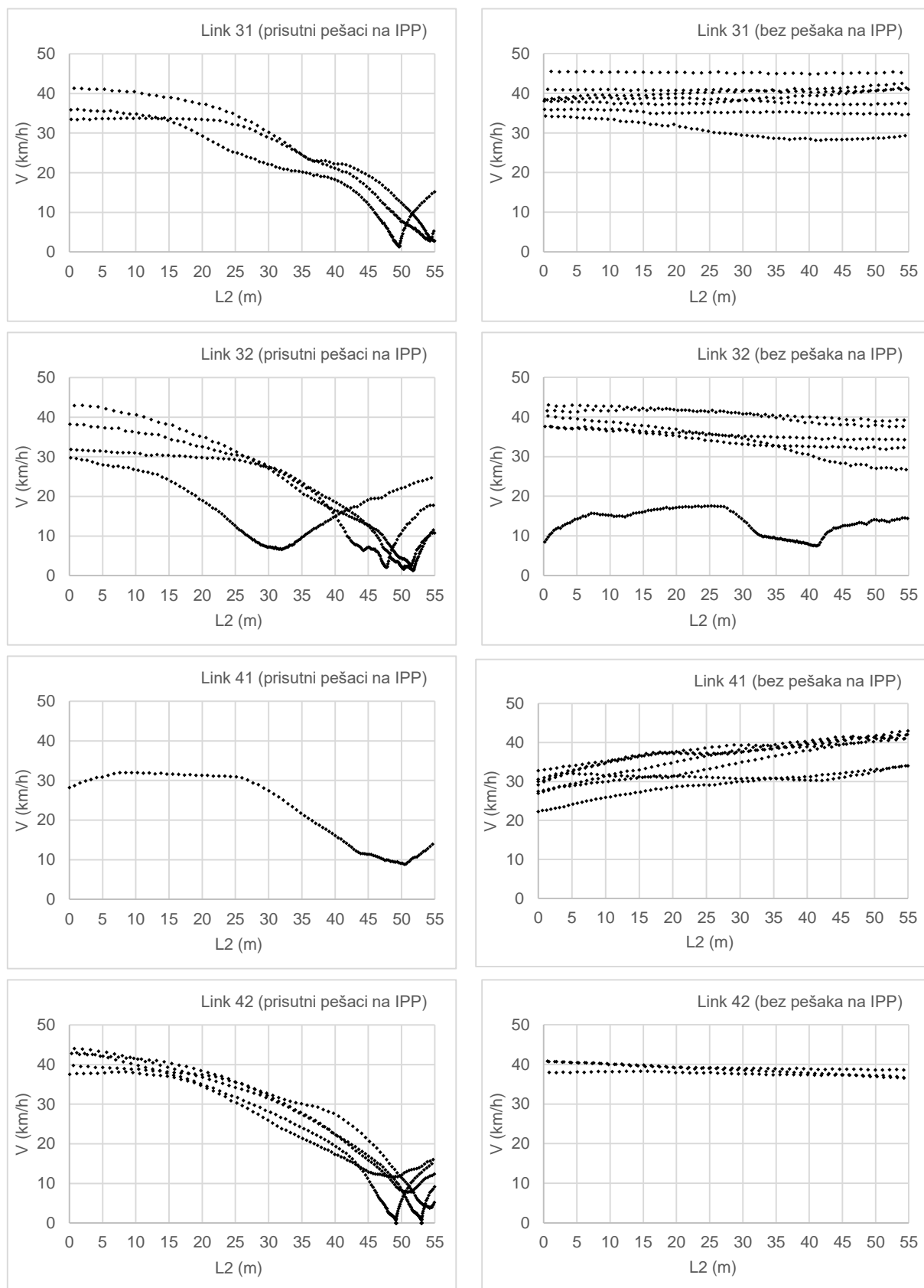
Tabela 6.17 Empirijski utvrđene brzine toka na analiziranim odsecima

Oznaka linka	St_{seg} (km/h) bez pešaka na IPP	St_{seg} (km/h) sa pešacima na IPP	St_{seg} (km/h) prosečno
11	30,1	18,7	21,0
12	26,4	13,0	21,0
21	36,3	19,3	31,2
22	37,5	9,0	31,8
31	39,2	19,9	33,4
32	28,4	18,8	24,5
41	38,7	22,6	36,7
42	16,0	12,6	13,9
51	40,3	20,2	38,3
52	39,2	19,6	37,3
61	23,7	16,4	21,3
62	32,9	18,1	23,0
71	18,3	12,9	14,0
72	20,2	16,5	18,0
81	20,7	15,5	18,4
82	22,3	15,1	17,5
91	28,8	18,5	25,7
92	35,4	25,1	30,2

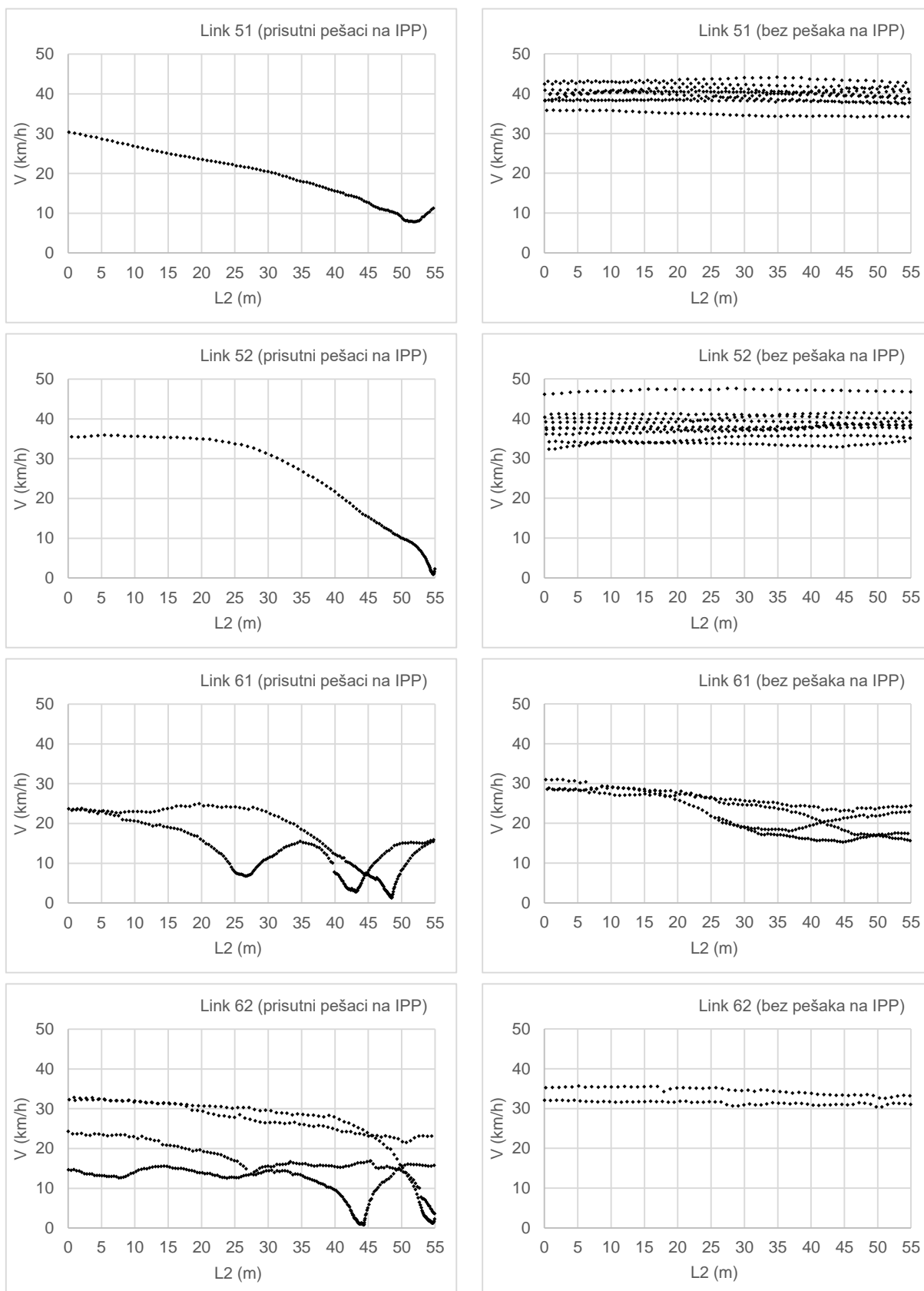
Na sledećim grafikonima prikazane su brzine vozila na karakterističnim segmentima L2 i L3. Osnovna podela izvršena je na situacije kada je na pešačkom prelazu prisutan pešak ili pešaci (označeno kao „ped“) i kada na pešačkom prelazu nije zabeleženo prisustvo pešaka (označeno kao „no_ped“).



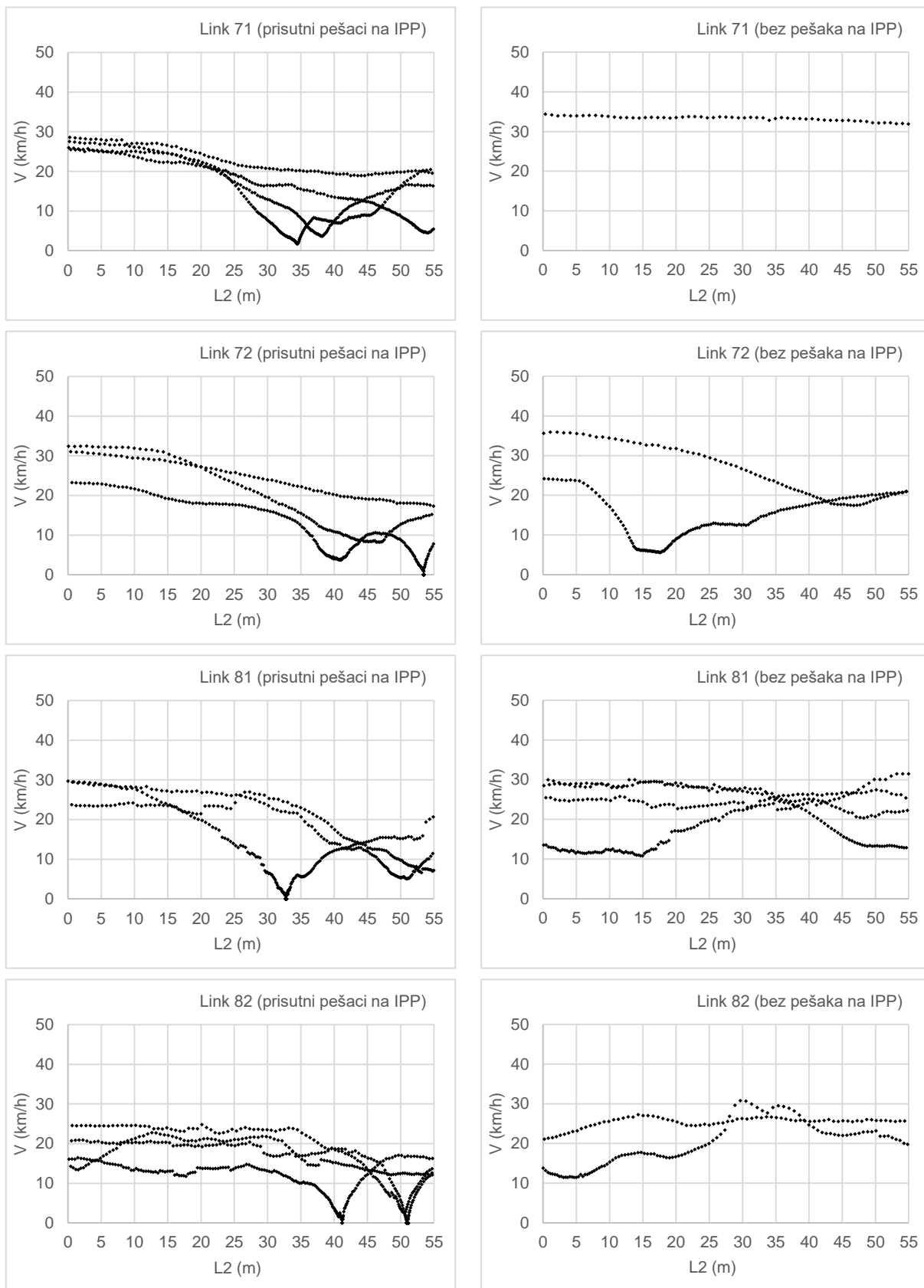
Slika 6.5 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 1 i 2



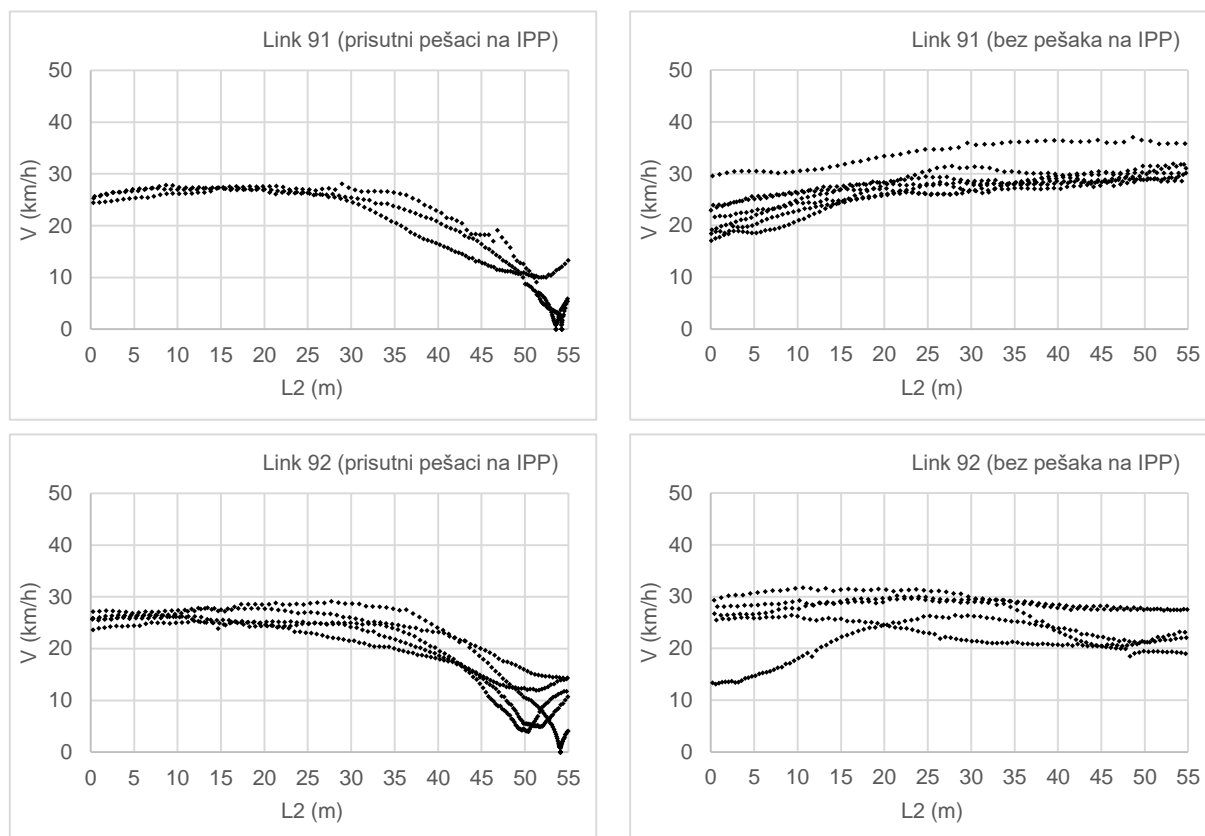
Slika 6.6 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 3 i 4



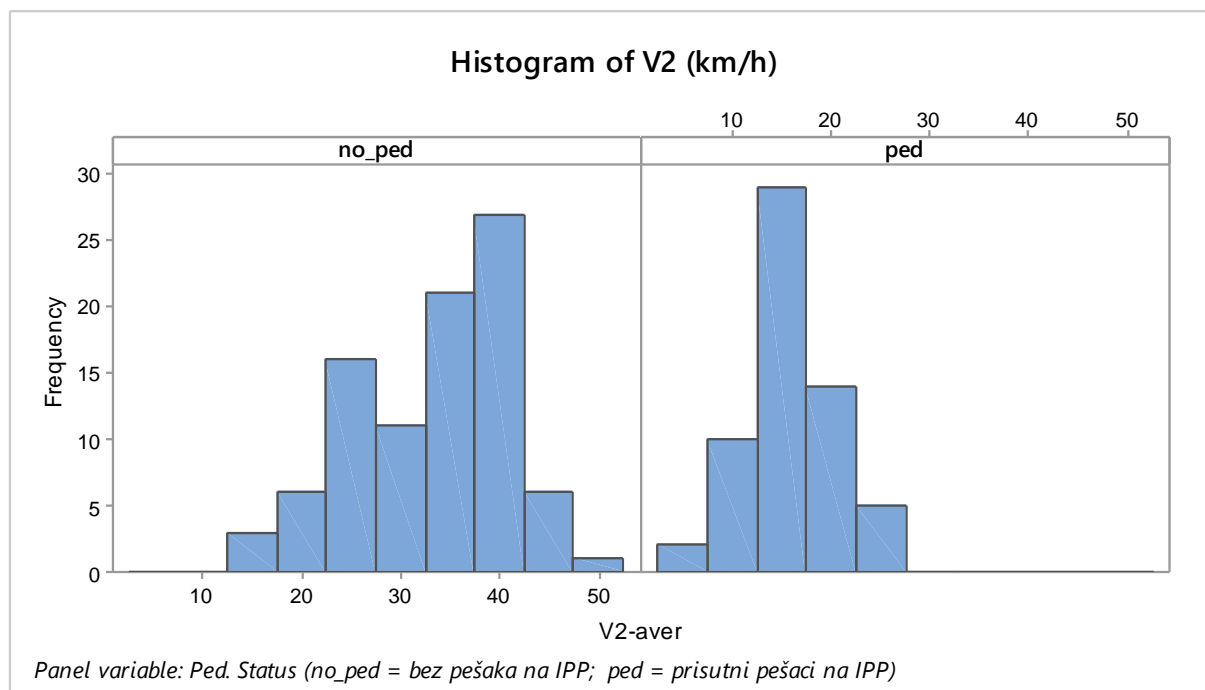
Slika 6.7 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 5 i 6



Slika 6.8 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odseci 7 i 8

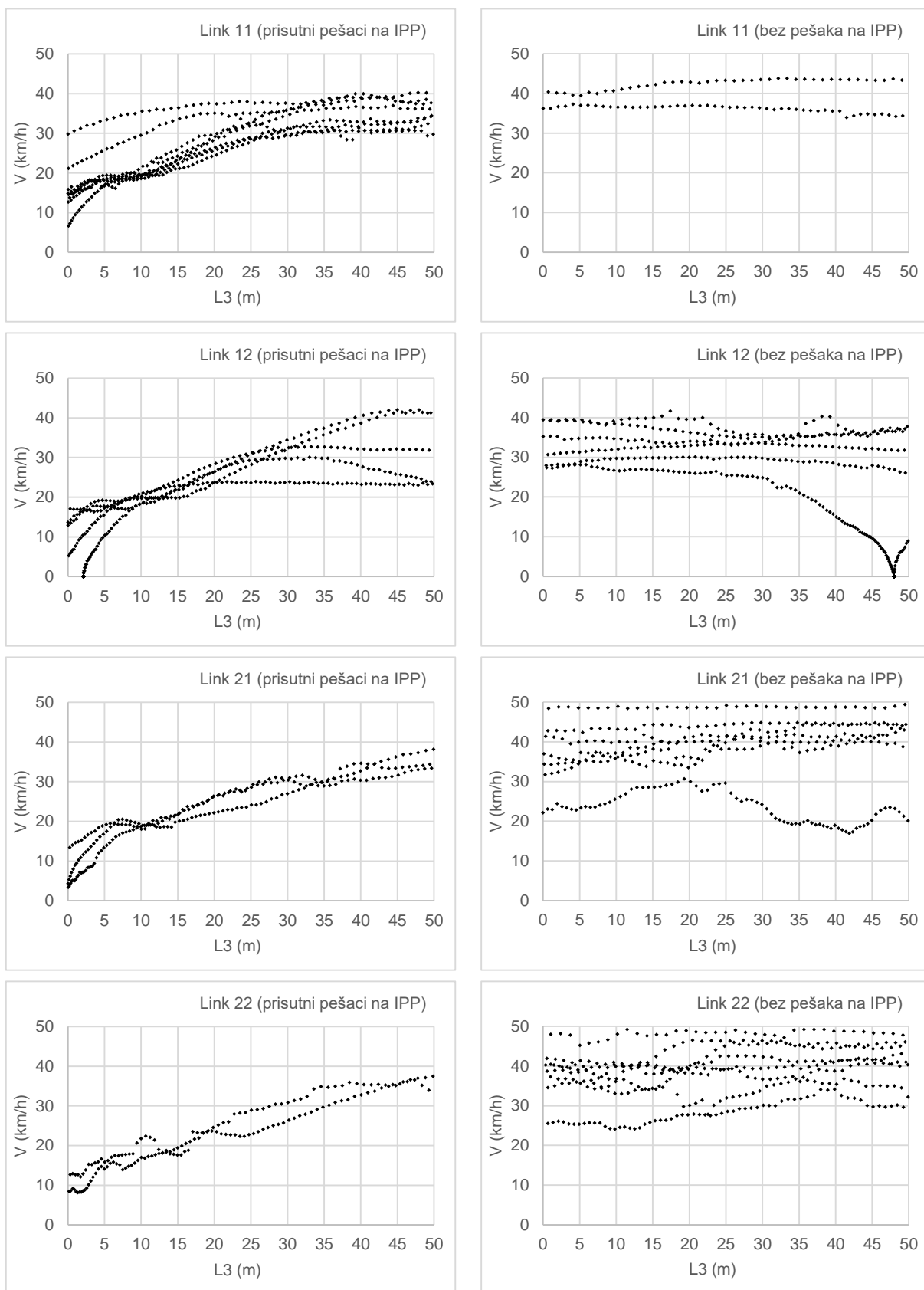


Slika 6.9 Dijagrami brzina na segmentu L2 – odsek 9

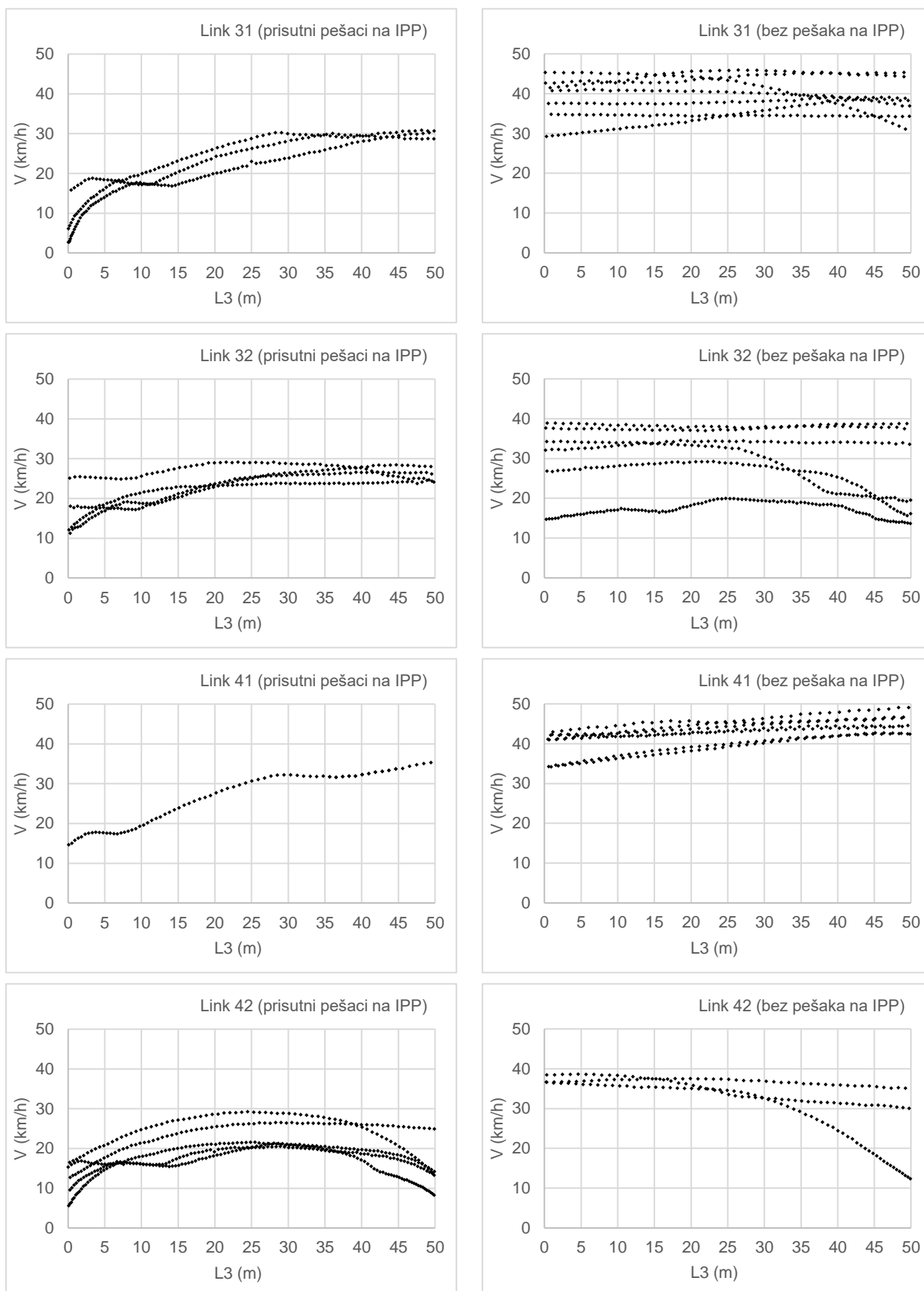


Panel variable: Ped. Status (no_ped = bez pešaka na IPP; ped = prisutni pešaci na IPP)

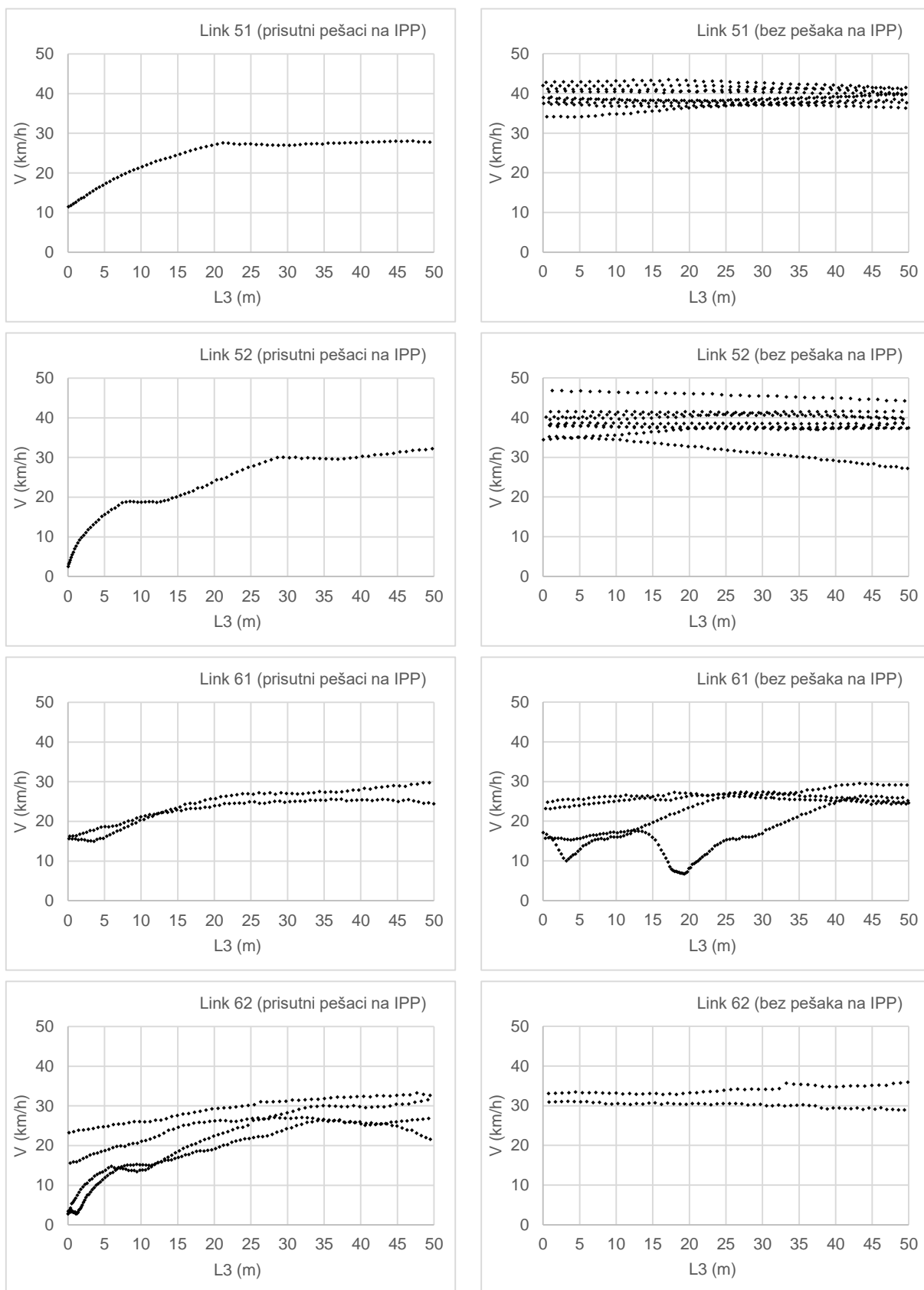
Slika 6.10 Raspodela prosečnih brzina na segmentu L2 – svi odseci



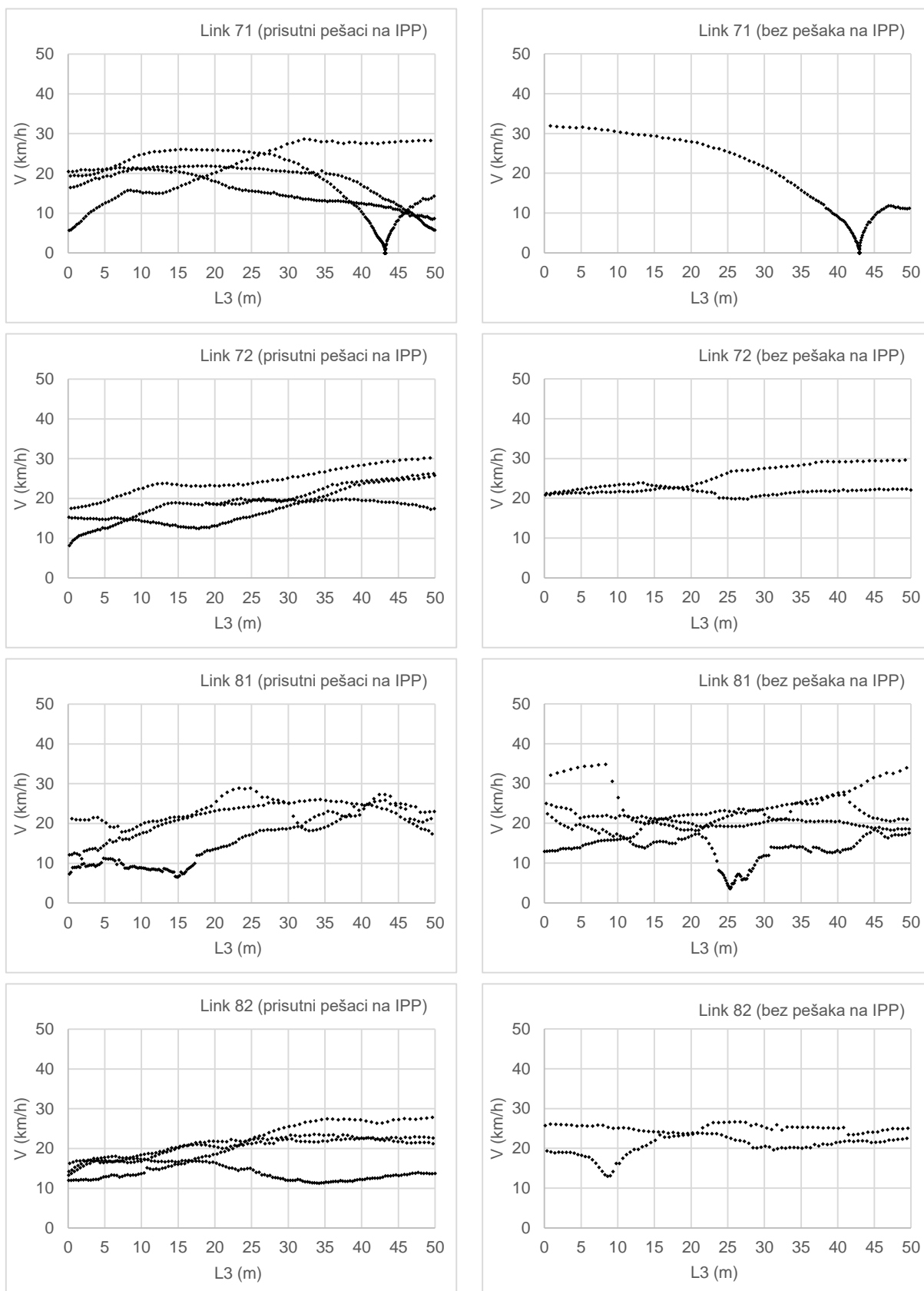
Slika 6.11 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 1 i 2



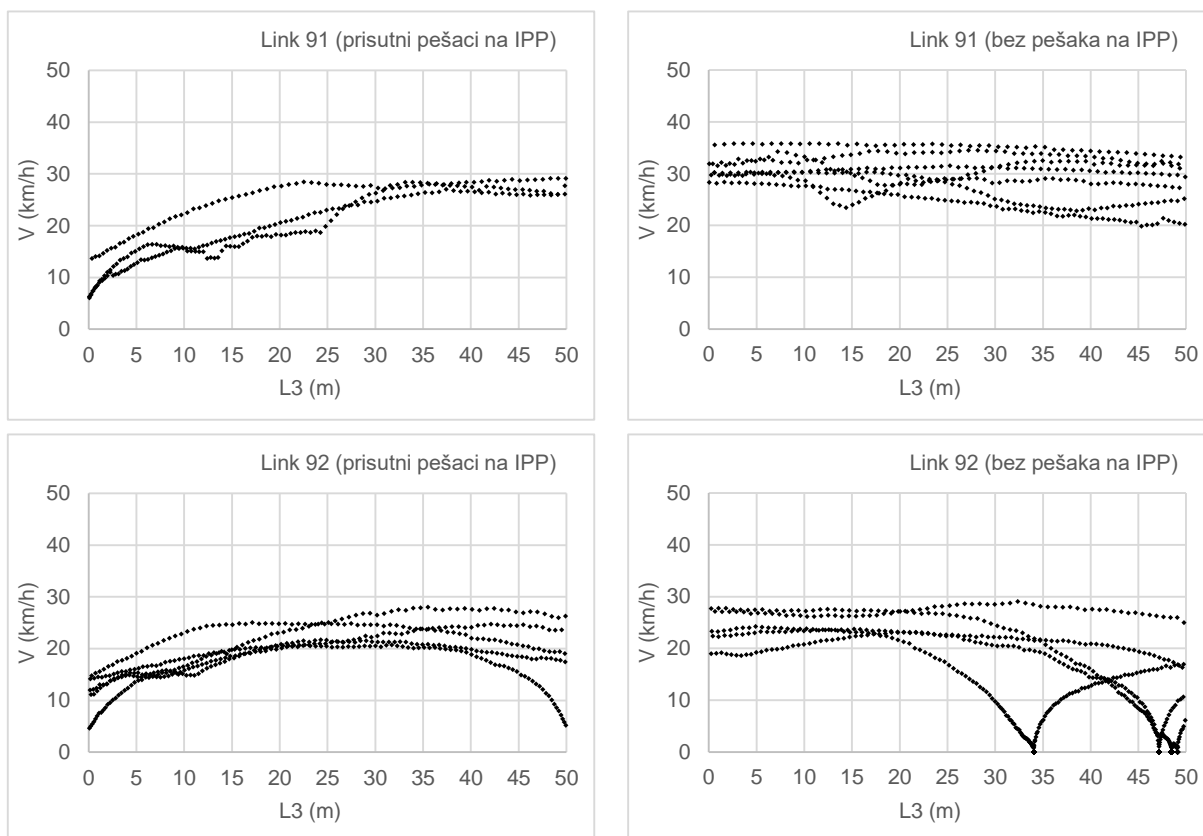
Slika 6.12 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 3 i 4



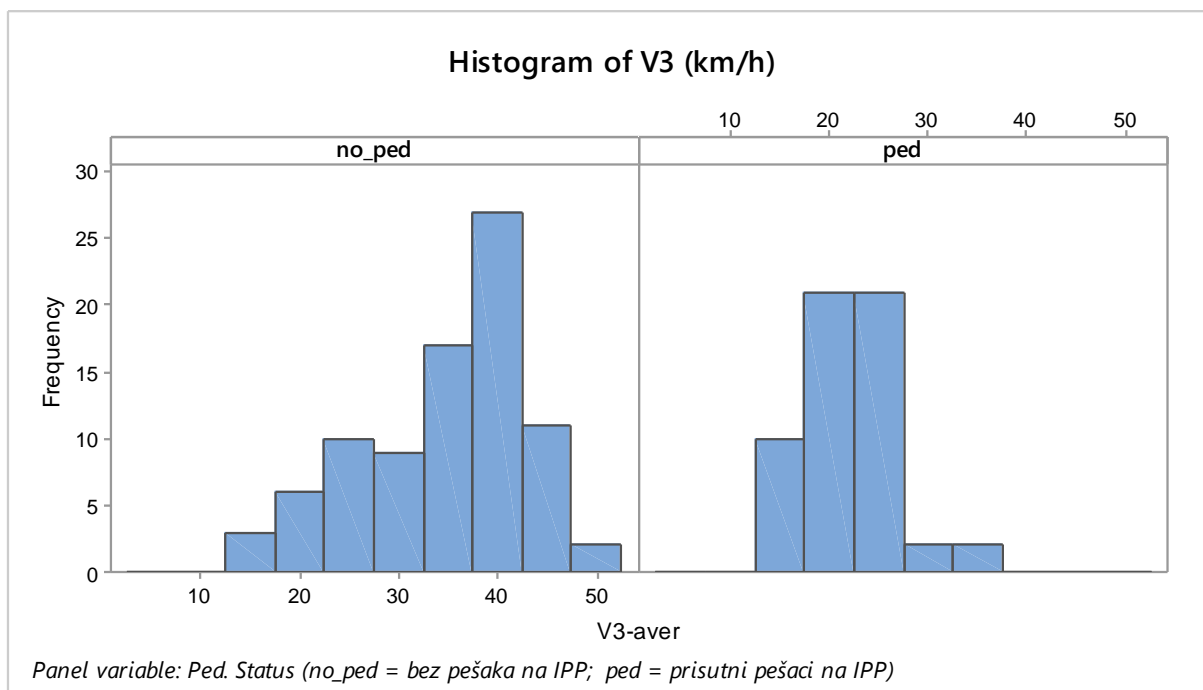
Slika 6.13 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 5 i 6



Slika 6.14 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odseci 7 i 8



Slika 6.15 Dijagrami brzina na segmentu L3 – odsek 9



Slika 6.16 Raspodela prosečnih brzina na segmentu L3 – svi odseci

Na osnovu prikazanih grafikona može se uočiti da prisustvo IPP na deonici gradske saobraćajnice utiče na promenu brzine vozila u toku. Promena brzine je direktno

uzrokovana konfliktom vozila i pešaka, odnosno propuštanjem pešaka. Statističkim metodama utvrđeno je da postoji značajna razlika u prosečnoj brzini vozila u slučaju kada su vozački tokovi ometani od strane pešaka. Anderson-Darling testom saglasnosti utvrđeno je da brzine u najvećem broju slučajeva nisu u saglasnosti sa normalnom raspodelom te su u statističkoj obradi poređenja korišćeni neparametarski Mann-Whitney test.

Tabela 6.18 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L2 – saobraćajnice sa razdelnim ostrvom

	N	Mean	StDev	Median
V2-aver (km/h); divided; ped	38	16,21	4,45	15,98
V2-aver (km/h); divided; no_ped	58	33,57	7,66	35,41
Mann-Whitney test				
H0: V2-aver; divided; ped = V2-aver; divided; no_ped				
H1: V2-aver; divided; ped \neq V2-aver; divided; no_ped				
$\eta^1 - \eta^2$	95,1% CI		P-vrednost	
- 18,144	(-20,893; -15,057)		0,0000	

Tabela 6.19 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L2 – nepodeljene saobraćajnice

	N	Mean	StDev	Median
V2-aver (km/h); undivided; ped	22	15,64	4,73	16,27
V2-aver (km/h); undivided; no_ped	33	32,42	8,87	34,81
Mann-Whitney test				
H0: V2-aver; undivided; ped = V2-aver; undivided; no_ped				
H1: V2-aver; undivided; ped \neq V2-aver; undivided; no_ped				
$\eta^1 - \eta^2$	95,1% CI		P-vrednost	
-17,820	(-22,666; -12,948)		0,0000	

Tabela 6.20 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L3 – saobraćajnice sa razdelnim ostrvom

	N	Mean	StDev	Median
V3-aver (km/h); divided; ped	35	23,10	4,41	23,25
V3-aver (km/h); divided; no_ped	53	36,33	6,88	37,74
Mann-Whitney test				
H0: V3-aver; divided; ped = V3-aver; divided; no_ped				
H1: V3-aver; divided; ped \neq V3-aver; divided; no_ped				
$\eta^1 - \eta^2$	95,1% CI		P-vrednost	
-14,119	(-16,462; -11,362)		0,0000	

Tabela 6.21 Osnovni rezultati statističke analize razlike u brzinama na segmentu L3 – nepodeljene saobraćajnice

	N	Mean	StDev	Median
V3-aver (km/h); undivided; ped	32	20,03	3,83	20,27
V3-aver (km/h); undivided; no_ped	21	32,04	9,05	36,43
Mann-Whitney test				
H0: V3-aver; undivided; ped = V3-aver; undivided; no_ped				
H1: V3-aver; undivided; ped ≠ V3-aver; undivided; no_ped				
η1 - η2	95,1% CI		P-vrednost	
-14,154	(-17,900; -6,924)		0,0000	

Na osnovu iznetih rezultata analize može se zaključiti da pojava pešaka na IPP u svakom slučaju utiče na smanjenje brzine. Prosečno umanjeње brzine na specifičnom segmentu L2 iznosi oko 17,0 km/h što predstavlja umanjeње od oko 52,0% u odnosu na brzinu koja se ostvaruje u slučaju kada vozila nisu ometana od strane pešaka. Prosečno umanjeње brzine na segmentu L3 iznosi oko 12,5 km/h, što je približno jednako umanjeњу od oko 37,0%. Ukoliko se prosto uporede prosečne brzine ostvarene na podeljenim i nepodeljenim saobraćajnicama može se reći da postoji razlika u ovim vrednostima. Razlika prosečnih brzina na specifičnom segmentu L2 iznosi oko 1,0 km/h u proseku, dok razlika u brzinama na segmentu L3 u proseku iznosi oko 4,0 km/h, što u oba slučaja ne predstavlja praktično značajnu razliku.

Promena brzine kretanja na jednom delu odseka gradske saobraćajnice direktno utiče na povećanje ukupnog vremena putovanja na celom odseku. Kako je prethodnom analizom utvrđeno da prisustvo pešaka na IPP utiče na brzinu kretanja vozila na segmentima L2 i L3, po sličnom principu ispitana je promena vremena putovanja (t_2 i t_3), odnosno ostvareni prosečni vremenski gubici. Vremena putovanja posmatrana su zbirno, odnosno kao ukupno vreme putovanja na analiziranim specifičnim segmentima L2 i L3 (t_2+t_3). Na osnovu izvršenog Anderson-Darling testa saglasnosti sa može se reći da ostvarena vremena putovanja nemaju saglasnost sa normalnom raspodelom, što je u skladu ka prirodom podataka o brzinama, pa je i u ovom slučaju za poređenje uzoraka korišćen neparametarski Mann-Whitney test.

Tabela 6.22 Osnovni rezultati statističke analize razlike u vremenu putovanja – saobraćajnica sa razdelnim ostrvom

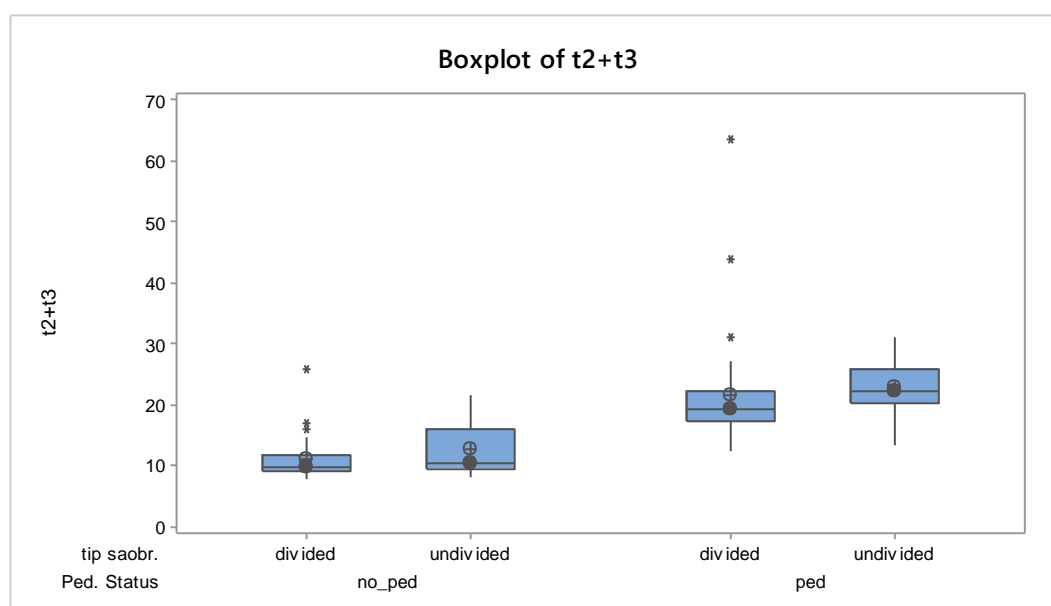
	N	Mean	StDev	Median
t_2+t_3 (s); divided; ped	35	21,59	9,18	19,30
t_2+t_3 (s); divided; no_ped	53	10,95	2,91	9,80
Mann-Whitney test				
H0: t_2+t_3 ; divided; ped = t_2+t_3 ; divided; no_ped				
H1: t_2+t_3 ; divided; ped ≠ t_2+t_3 ; divided; no_ped				
η1 - η2	95,1% CI		P-vrednost	
9,200	(7,800; 10,200)		0,0000	

Tabela 6.23 Osnovni rezultati statističke analize razlike u vremenu putovanja – nepodeljene saobraćajnice

	N	Mean	StDev	Median
t2+t3 (s); undivided; ped	21	22,70	4,54	22,10
t2+t3 (s); undivided; no_ped	32	12,57	4,09	10,50

Mann-Whitney test
H0: t2+t3; undivided; ped = t2+t3; undivided; no_ped
H1: t2+t3; undivided; ped ≠ t2+t3; undivided; no_ped

$\eta^1 - \eta^2$	95,1% CI	P-vrednost
10,800	(8,201;12,601)	0,0000



Slika 6.17 Dijagram ukupnog vremena putovanja na segmentima L2 i L3

U ovom delu analize prosečni vremenski gubici nastali usled propuštanja pešaka izraženi su kao razlika srednjih vrednosti ukupnog vremena putovanja na segmentima L2 i L3 (t2 i t3) ostvarenog u situacijama sa i bez prisutnih pešaka na IPP. Tako formulisani vremenski gubici u proseku iznose 10,64 s na saobraćajnicama sa razdelnim ostrvom, odnosno 10,13 s na saobraćajnicama sa nepodeljenim kolovozom. Prilikom snimanja parametara toka metodom pokretnog osmatrača uzeta je u obzir pozicija vozila u redu čekanja u slučaju kada ostvaruje vremenske gubitke radi propuštanja pešaka. U 75,0% slučajeva (42 vozila) posmatrano vozilo zabeleženo je kao prvo u redu, 21,4% slučajeva (12 vozila) kao drugo u redu i 3,6% (2 vozila) kao treće u redu čekanja. Uzimajući u obzir veličinu uzorka sa aspekta pozicije vozila u redu i utvrđena standardna odstupanja, može se reći da utvrđene vrednost vremenskih gubitaka na deonicama odgovaraju onim zabeleženim u prvom delu istraživanja na mikrolokacijama.

POGLAVLJE

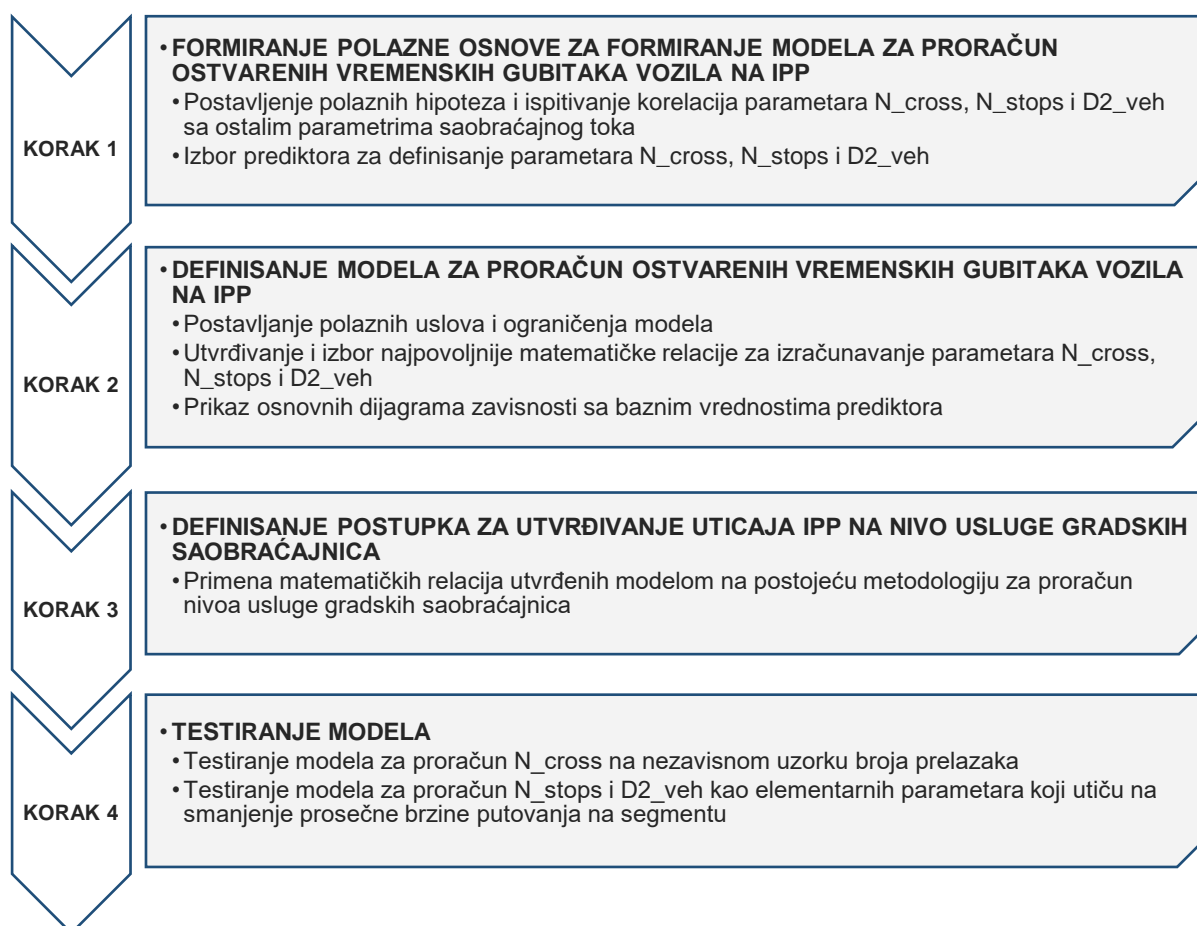
7

Model za utvrđivanje uticaja izdvojenih nesignalisanih pešačkih prelaza na nivo usluge gradskih saobraćajnica

Na osnovu podataka prikupljenih istraživanjem u realnom saobraćajnom toku, utvrđene su veze između definisanih parametara. Statističkom obradom podataka izdvojeni su ključni parametri koji na kraju figurišu u modelu. Osnovna svrha formiranog modela je da se na osnovu ulaznih parametara izraze ostvareni vremenski gubici u vozačkom toku koji nastaju usled propuštanja pešaka, koji sa druge strane direktno utiču na povećanje vremena putovanja na odseku, a dalje i na nivo usluge posmatrane saobraćajnice. Nakon formiranog modela na konkretnom primeru izvršena je validacija i testiranje modela.

7. MODEL ZA UTVRĐIVANJE UTICAJA NESIGNALISANIH IPP NA NIVO USLUGE GRADSKIH SAOBRAĆAJNICA

S obzirom na to da su analizom rezultata istraživanja parametara saobraćajnog toka koja su vršena na mikrolokacijama IPP i deonicama gradskih saobraćajnica sa IPP utvrđene osnovne karakteristike pešačkih i vozačkih tokova, stvorena je osnova za formiranje modela uticaja IPP na uslove odvijanja saobraćaja motornih vozila na gradskim saobraćajnicama. U model će biti implementirani rezultati istraživanja i dokazane varijacije parametara saobraćajnog toka u zavisnosti od postojanja IPP, kao i karakteristika vozačkih i pešačkih tokova. Na narednoj slici prikazan je dijagram toka formiranja i validacije modela za definisanje uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica.



Slika 7.1 Dijagram toka formiranja modela

7.1. Formiranje polazne osnove za formiranje modela za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP

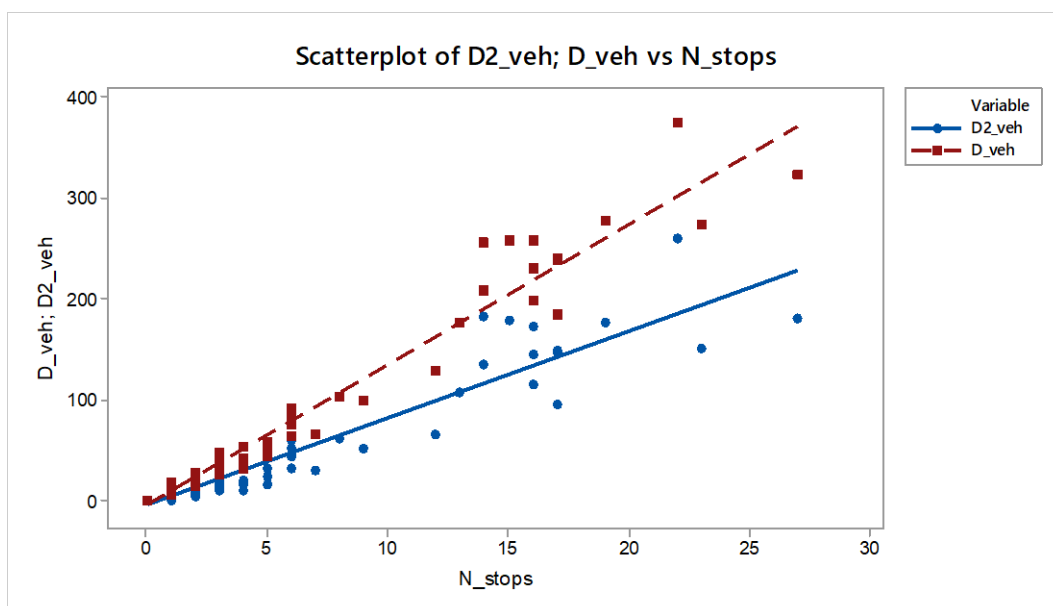
Ispitivanje karakteristika i prirode nastanaka vremenskih gubitaka vozila na IPP je osnova modela za definisanje uticaja nesignalisanih IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica. Činjenica je da sa porastom vremenskih gubitaka na IPP raste i vreme putovanja vozila, odnosno smanjuje srednja brzine putovanja vozila na osnovu koje se definiše nivo usluge gradskih saobraćajnica.

Ukupni ostvaren vremenski gubitak vozila (D_{veh}), kao što je prethodno opisano, čine tri karakteristične vremenske sekvence:

- $D1_{veh}$: vremenski gubitak nastao u zoni usporavanja vozila,
- $D2_{veh}$: vreme čekanja,
- $D3_{veh}$: vremenski gubitak nastao u zoni ubrzavanja vozila.

Vremena $D1_{veh}$ i $D3_{veh}$ zavise isključivo od srednje brzine toka i kinematskih karakteristika vozila, a za potrebe predmetne analize ova vremena usvojena su kao konstante, pri čemu je u modelu predloženo izračunavanje na osnovu stvarne srednje brzine toka. S obzirom na prethodnu konstataciju, predviđeno je da model za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka bude baziran na vremenskim gubicima $D2_{veh}$.

Osnovna pretpostavka je da ostvareni vremenski gubici vozila na IPP u najvećoj meri zavise od broja zaustavljenih vozila (N_{stops}), kao neizostavnog parametra ali su u obzir uzete i druge karakteristike kretanja pešaka i vozila koje sa aspekta teorije saobraćajnog toka mogu uticati na ostvarene vremenske gubitke. Ova pretpostavka postavljena je na osnovu rezultata istraživanja sprovedenih na mikrolokacijama.



Slika 7.2 Zavisnost broja zaustavljanja i ostvarenih vremenskih gubitaka vozila

Na prethodnom grafikonu prikazan je odnos ostvarenog broja zaustavljanja i ostvarenih gubitaka $D2_{veh}$ (čisto vreme čekanja) i D_{veh} (zbir vremena $D2_{veh}$ i gubitaka nastalih kao posledica usporavanja vozila $D1_{veh}$ i gubitaka nastalih kao

posledica ubrzanja vozila D3_veh). Na osnovu prikazanog grafikona jasno se uočava da porastom broja zaustavljanja raste i broj ostvarenih vremenskih gubitaka.

Na osnovu iznete pretpostavke formirane su sledeće hipoteze:

- H1₀:** Postoji korelacija ostvarenih vremenskih gubitaka sa ostvarenim brojem zaustavljenih vozila i drugim izabranim parametrima pešačkih i tokova motornih vozila.
- H1₁:** Ne postoji korelacija ostvarenih vremenskih gubitaka sa ostvarenim brojem zaustavljenih vozila i drugim izabranim parametrima pešačkih i tokova motornih vozila.

U cilju utvrđivanja uticaja različitih parametara izvršena je analiza koeficijenata korelacije između ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh i sledećih parametara odnosno njihovih kombinacija:

- broj zaustavljenih vozila (N_stops),
- prosečan petominutni protok vozila (Q_5min) izražen u PAJ jedinicama,
- procenat komercijalnih vozila u toku (KV%),
- vremenski interval sleđenja vozila u toku (th_veh),
- stepen propuštanja pešaka (Yr),
- prosečna zauzetost pešačkog prelaza od strane pešaka (Opc) – količnik dužine pešačkog prelaza i prosečne brzine grupe pešaka,
- broja saobraćajnih traka koje preseca pešački prelaz (N_lane).

Tabela 7.1 Korelacioni faktori zavisne promenljive D2_veh i izabranih prediktora

Prediktor	N_stops	Q_5min	KV%	th_veh	Yr	Opc	N_lane
Pearson korelacioni faktor (r)	0,946	0,354	-0,188	-0,245	0,230	0,496	0,378
p-vrednost (Pearson)	0,000	0,001	0,087	0,025	0,035	0,000	0,000
Spearman rho faktor	0,936	0,341	-0,016	-0,372	0,136	0,495	0,294
p-vrednost (Spearman)	0,000	0,002	0,888	0,000	0,217	0,000	0,007

Po izvršenoj analizi izabranih prediktora i njihove povezanosti sa zavisnom promenljivom D2_veh, pored broja zaustavljanja, kao dve najznačajnije pojedinačne promenljive izdvajaju se prosečna zauzetost IPP i broj saobraćajnih traka koji preseca IPP. Broj saobraćajnih traka je geometrijski parametar i njegovo utvrđivanje se vrši direktnom opservacijom analizirane lokacije. Prosečna zauzetost IPP je u direktnoj zavisnosti od dužine pešačkog prelaza i prosečne brzine pešaka odnosno grupe pešaka. Ovaj parametar se utvrđuje računskim putem, ali se promenljive koje figurišu utvrđuju direktnom opservacijom analizirane lokacije (dužina prelaza), odnosno imaju predefinisane ili uobičajene vrednosti (brzina pešaka, odnosno grupe pešaka). Na osnovu prethodnih konstatacija može se zaključiti da utvrđivanje parametara Opc i N_lane generalno ne predstavlja problem u inženjerskoj praksi. Broj zaustavljanja

vozila (N_{stops}) može da zavisi od nekoliko faktora, pa je u daljem radu analizirana mogućnost utvrđivanja ovog parametra.

7.1.1. Polazne osnove za proračun parametra N_{stops}

Prilikom formiranja polazne osnove usvojeno je da se broj zaustavljenih vozila može dovesti u vezu sa parametrima koji opisuju karakteristike vozačkih i pešačkih tokova i na osnovu njih predvideti broj zaustavljenih vozila. Na osnovu prethodnih analiza i iskustava kao ključni parametri uzeti su u razmatranje broj prelazaka pešaka i protok vozila i formirane su sledeće hipoteze:

- H2₀:** Postoji korelacija ostvarenog broja zaustavljenih vozila sa brojem prelazaka, protokom vozila i drugim izabranim parametrima pešačkih i tokova motornih vozila.
- H2₁:** Ne postoji korelacija ostvarenog broja zaustavljenih vozila sa brojem prelazaka, protokom vozila i drugim izabranim parametrima pešačkih i tokova motornih vozila.

Osnovna pretpostavka je da se broj zaustavljenih vozila (N_{stops}) može dovesti u vezu sa parametrima koji karakterišu pešačke i vozačke tokove. U cilju utvrđivanja uticaja određenih parametara izvršena je analiza koeficijenata korelacije između broja zaustavljenih vozila i sledećih parametara:

- broj prelazaka pešaka (N_{cross}),
- prosečan petominutni protok vozila (Q_{5min}) izražen u PAJ jedinicama,
- procenat komercijalnih vozila u toku ($KV\%$),
- vremenski interval sleđenja vozila u toku (th_{veh}),
- stepen propuštanja pešaka (Yr),
- proizvod prosečnog protoka vozila i stepena propuštanja pešaka.

Vrednosti utvrđenih koeficijenata korelacije prikazane su u narednoj tabeli.

Tabela 7.2 Korelacioni faktori zavisne promenljive N_{stops} i izabranih prediktora

Prediktor	N_{cross}	Q_{5min}	$KV\%$	th_{veh}	Yr	$Q_{5min} \times Yr$
Pearson korelacioni faktor (r)	0,671	0,522	-0,009	-0,254	0,015	0,668
P-vrednost (Pearson)	0,000	0,000	0,918	0,005	0,868	0,000
Spearman rho faktor	0,498	0,645	0,251	-0,624	-0,226	0,683
P-vrednost (Spearman)	0,000	0,000	0,005	0,000	0,012	0,000

Po izvršenoj analizi prediktora i njihovoj povezanosti sa zavisnom promenljivom koja je u ovom slučaju ostvaren broj zaustavljenih vozila, kao dve najznačajnije pojedinačne promenljive izdvajaju se broj prelazaka i protok vozila. Pored toga utvrđeno je da sam stepen propuštanja pešaka nije u značajnoj vezi sa ostvarenim brojem zaustavljanja, ali u proizvodu sa protokom vozila formira parametar koji ima veći korelacioni faktor od samog protoka vozila. Utvrđivanje protoka vozila i njegovo prevođenje u uslovno

homogen tok predstavlja standardnu proceduru u inženjerskoj praksi. Stepenu propuštanja pešaka i broj prelazaka su parametri koji se teže utvrđuju neposrednim merenjem na analiziranoj lokaciji. U okviru dalje analize i formiranja modela ispitivan je i definisan postupak za proračun prosečnog broja prelazaka (N_{cross}). Metodologija za proračun stepena propuštanja pešaka obrađena je u istraživanju (Mitrović Simić, 2015). S obzirom na to da je tim istraživanjem izvršena detaljna analiza i formiran pouzdan model za proračun stepena propuštanja pešaka, za potrebe formiranja modela za definisanje uticaja nesignalisanih IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica kao merodavni usvojeni su rezultati prethodnih istraživanja.

7.1.2. Polazne osnove za proračun parametra N_{cross}

Poznavanje ovog parametra neophodno je da bi se odredio broj zaustavljanja vozila koja imaju za cilj propuštanje pešaka na IPP. Osnovna pretpostavka je da se broj prelazaka može dovesti u vezu sa brojem pešaka i drugim relevantnim parametrima pešačkih tokova i geometrijskih karakteristika lokacije. Na osnovu toga definisane su sledeće hipoteze:

H3₀: Postoji korelacija ostvarenog broja prelazaka na IPP sa protokom pešaka i karakterističnim geometrijskim parametrima lokacije na kojoj se IPP nalazi.

H3₁: Ne postoji korelacija ostvarenog broja prelazaka na IPP sa protokom pešaka i karakterističnim geometrijskim parametrima lokacije na kojoj se IPP nalazi.

Kao osnovni i neizostavni prediktor definisan je broj (protok) pešaka u petominutnom intervalu. Pored protoka pešaka u razmatranje predikcionog modela za utvrđivanje broja prelazaka (N_{cross}) uvršteni su parametri koji definišu geometrijske karakteristike lokacije na kojoj se nalazi IPP, a koje po pretpostavci mogu da utiču na percepciju i ponašanje pešaka prilikom prelaska. Parametri za koje je pretpostavljeno da utiču na ponašanje pešaka su:

- broj saobraćajnih traka za motorna vozila koje preseca IPP (N_{lane});
- razlika tipa saobraćajnice po smeru kretanja motornih vozila (f_{dir}) – jednosmerno ili dvosmerno,
- dužina pešačkog prelaza (L_{pc}) izražena u metrima, i
- širina pešačkog prelaza (W_{pc}) izražena u metrima.

Ispitivanjem povezanosti broja prelazaka sa ostalim pomenutim parametrima utvrđen je Pearsonov i Spirmanov koeficijent korelacije za parove broja prelazaka i gore navedenih potencijalnih prediktora. Utvrđeni korelacioni koeficijenti prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 7.3 Korelacioni faktori zavisne promenljive N_{cross} i izabranih prediktora

Prediktor	N_{ped}	N_{lane}	L_{pc}	W_{pc}	f_{dir}
Pearson korelacioni faktor (r)	0,984	0,657	0,748	0,280	-0,232
p-vrednost (Pearson)	0,000	0,000	0,000	0,035	0,082
Spearman rho faktor	0,916	0,499	0,562	0,208	-0,172
p-vrednost (Spearman)	0,000	0,000	0,000	0,120	0,202

Po izvršenoj analizi prediktora i njihovoj povezanosti sa zavisnom promenljivom koja je u ovom slučaju ostvaren broj prelazaka preko pešačkih prelaza kao značajne promenljive usvojene su one čiji faktori korelacije čija je p-vrednost jednaka 0, odnosno protok pešaka, broj saobraćajnih traka za motorna vozila koje preseca IPP i dužina pešačkog prelaza.

7.2. Model za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP

Na osnovu prethodno definisanih hipoteza i izabranih prediktora za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP određeni su postupni koraci koji su redom prikazani po tačkama u nastavku rada. U svakom koraku date su matematičke relacije na osnovu kojih se utvrđuje vrednost određenog parametra kao i osnovni izvodi iz statističke analize kojom je opisana pouzdanost dobijenih relacija. S obzirom da je veličina uzorka na kom je analiza zasnovana ograničena za svaki metodološki korak, dati su polazni uslovi odnosno određena ograničenja modela.

7.2.1. Postupak za utvrđivanje parametra N_{cross}

Definisanje procedure za utvrđivanje broja prelazaka izvršeno je višestrukom regresionom jednačinom u kojoj je kao zavisna promenljiva definisan broj prelazaka po 5-minutnom intervalu. Prilikom formiranja modela usvojeni su sledeći polazni uslovi, odnosno ograničenja:

1. Ostvaren protok pešaka (N_{ped}) po petominutnim intervalima, odnosno način dolazaka pešaka na IPP saglasan je sa Poasonovom raspodelom.
2. Modelom je predviđena analiza pešačkih tokova čiji se časovni protok pešaka (q_{ped}) kreće u granicama od 100 do 600 ped/h.
3. Modelom je predviđena analiza pešačkih prelaza za prelazak preko 2 do 3 saobraćajne trake širine od 3,0 m do 3,50 m.

Nakon iterativnog procesa razmatranja odnosa izabranih prediktora sa zavisnom promenljivom utvrđeno je da se prihvata nulta hipoteza, odnosno da postoji veza između ostvarenog broja prelazaka na IPP sa protokom pešaka i karakterističnim geometrijskim parametrima lokacije na kojoj se pešački prelaz nalazi. Regresiona jednačina kojom je moguće opisati zavisnost ostvarenog broja prelazaka sa izabranim nezavisnim promenljivim dobijena je iterativnim postupkom i ima sledeći oblik:

$$N_{cross} = (2,492 + 0,09034 N_{ped} + 0,023 L_{pc} - 0,258 N_{lane})^2 \quad (7.1)$$

$$N_{ped} = \frac{q_{ped}}{12} \quad (7.2)$$

gde je:

N_{cross} - prosečan broj prelazaka u 5-minutnom intervalu (cross/5-min),

N_{ped} - prosečan protok pešaka u 5-minutnom intervalu (ped/5-min),

L_{pc} - dužina pešačkog prelaza izražena u metrima (m),

N_{lane} - broj saobraćajnih traka koje preseca IPP

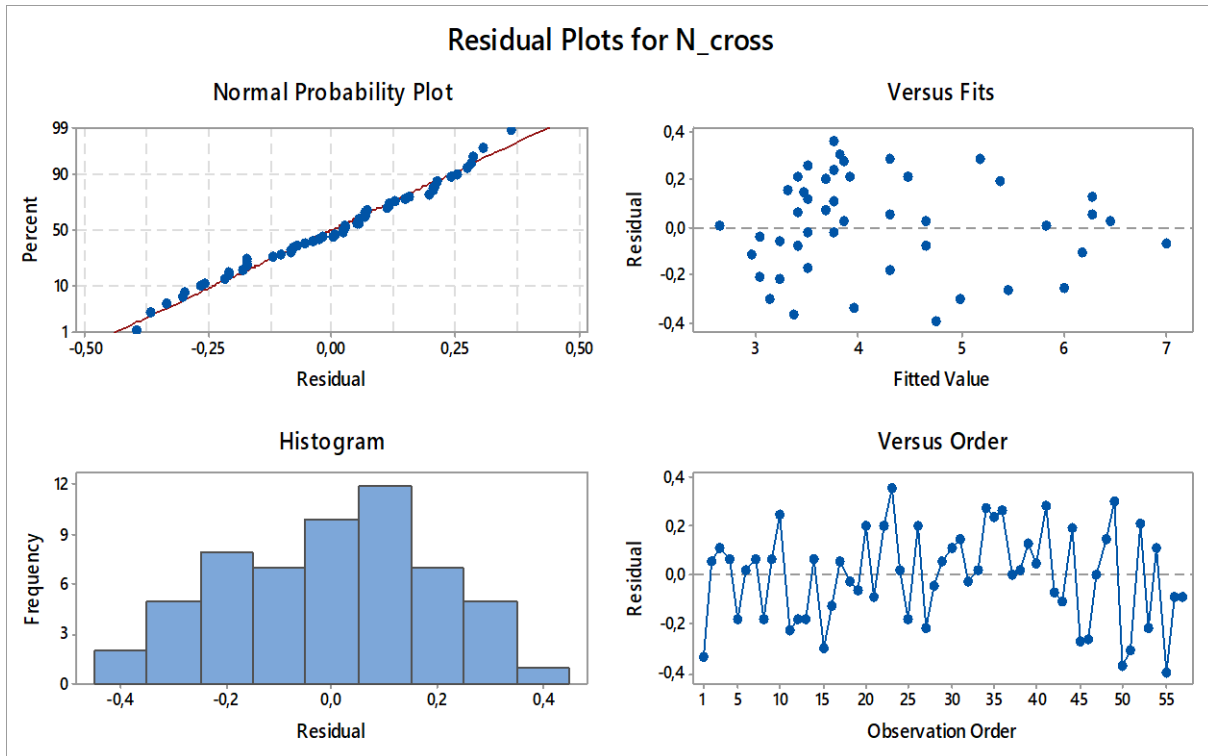
q_{ped} - utvrđeni (izbrojani) časovni protok pešaka (ped/h)

Prilikom analizom korelacionih koeficijenata ispitana je multikolinearnost prediktora i utvrđeno je da u ovom slučaju postoji multikolinearnost između svih usvojenih prediktora. Vrednosti ispitanih koeficijenata korelacije date su u okviru Priloga 1 ove disertacije. Ipak, kolinearni prediktori ravnopravno su uvršteni u regresionu jednačinu jer za utvrđenu korelaciju ne postoji teorijska osnova ili da su uvršteni prediktori važni sa aspekta percepcije pešaka. U svakom slučaju regresiona jednačina formirana sa sva tri izabrana prediktora daje najbolje predviđanje

Tabela 7.4 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za N_{cross}

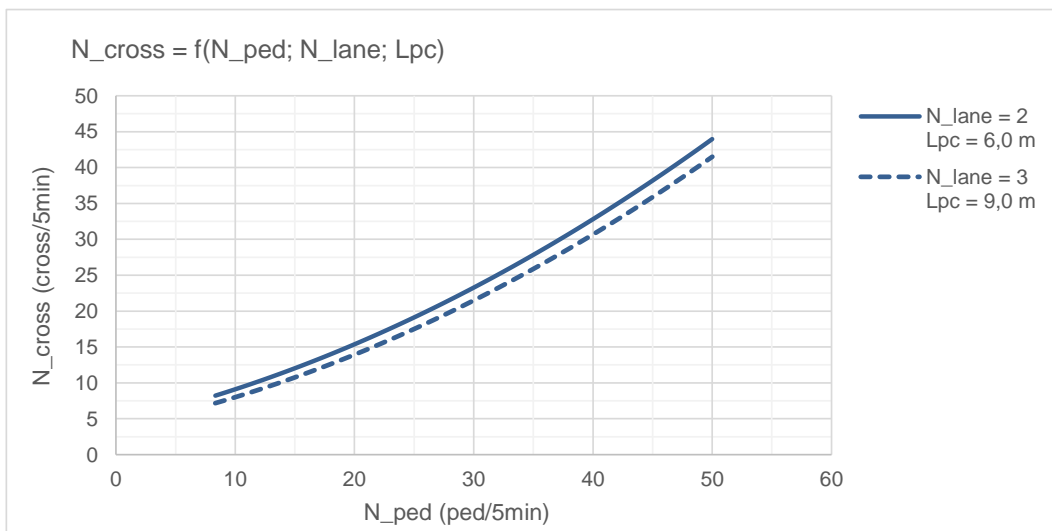
	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-vrednost	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
Regression	3	59,2146	19,7382	525,66	0,000	0,19	96,75%	96,56%	96,05%
N_ped	1	15,0318	15,0318	400,32	0,000				
Lpc	1	0,0005	0,0005	0,01	0,912				
N_lane	1	0,0126	0,0126	0,34	0,565				
Error	53	1,9901	0,0375						
Lack-of-Fit	26	1,4481	0,0557	2,77	0,005				
Pure Error	27	0,5420	0,0201						
Total	56	61,2047							

Na osnovu utvrđene p-vrednosti regresije koja je približno jednaka 0, može se reći da postoji statistički značajna zavisnost između posmatranih parametara. Takođe, koeficijent determinacije R² u ovom slučaju iznosi 96,75% te se na osnovu toga može konstatovati da formirana regresiona jednačina u prihvatljivoj meri opisuje definisanu zavisnost. Analizom reziduala utvrđeno je da su ravnomerno raspoređeni oko fitovane vrednosti, kao i da se ne može odbaciti njihova saglasnost sa normalnom raspodelom (p-vrednost=0,503).



Slika 7.3 Karakteristike reziduala regresije za N_cross

Sledeći grafikon prikazuje zavisnost prosečnog broja prelazaka tokom petominutnog perioda i prosečnog petominutnog protoka prema jednačini (7.1). Prikazane su dve krive, za varijantu IPP koji preseca dve i tri saobraćajne trake usvojene širine 3,0 m.



Slika 7.4 Dijagram zavisnosti broja prelazaka

Kriva opisuje područje sa protokom između 8 i 50 ped/5min što je ekvivalentno protoku od 100 i 600 ped/h respektivno. Ove granične vrednosti određene su veličinom analiziranog uzorka. U slučaju da postoji potreba da se predloženom metodom analiziraju tokovi manji od 100 ped/h može se usvojiti da je prosečan broj petominutnih

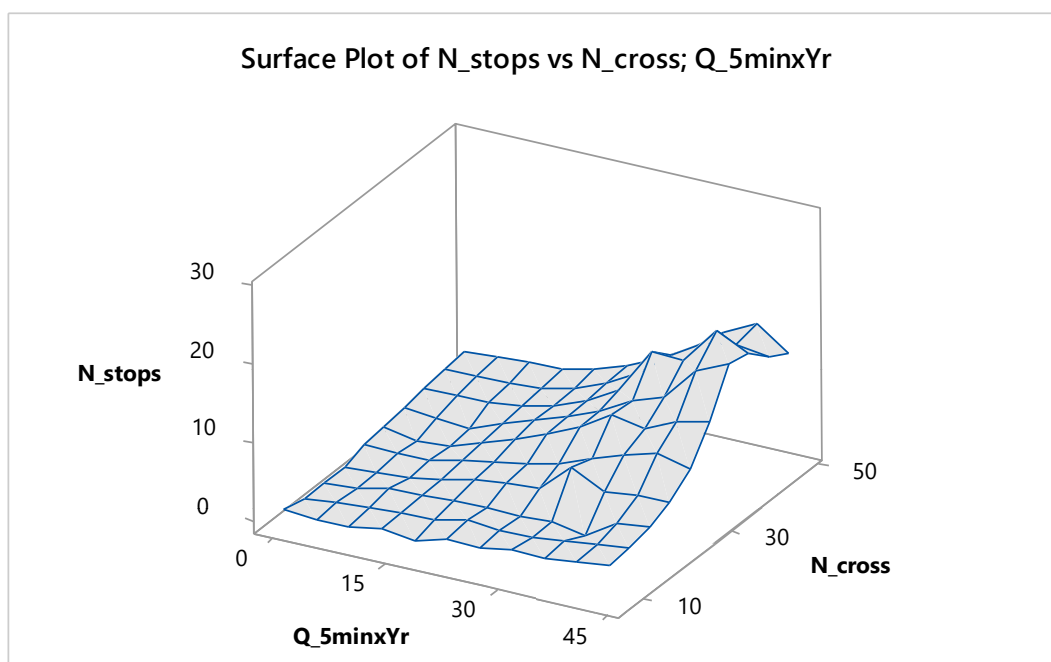
prelazaka jednak prosečnom petominutnom protoku pešaka ($N_{cross} (q_{ped}<100) = N_{ped} (q_{ped}<100)$).

7.2.2. Postupak za utvrđivanje parametra N_{stops}

Za definisanje procedure za utvrđivanje broja zaustavljanja primenjena je višestruka nelinearna regresiona jednačina u kojoj je kao zavisna promenljiva vrednost definisan broj zaustavljanja (N_{stops}) po 5-minutnom intervalu. Prilikom formiranja modela usvojeni su sledeći polazni uslovi, odnosno ograničenja:

1. Modelom je predviđena analiza pešačkih tokova čiji se časovni protok pešaka (q_{ped}) kreće u granicama od 100 do 600 ped/h.
2. Za potrebe proračuna stepena propuštanja pešaka koristi se postojeći model definisan prethodnim istraživanjima (*Mitrović Simić, 2015*).
3. Ulazni parametri za tokove motornih vozila posmatraju se za svaku traku pojedinačno.

Analizom karakteristika nastanka broja zaustavljanja u odnosu na definisane prediktore utvrđeno je da veza između njih nije linearna.



Slika 7.5 Grafikon zavisnosti N_{stops} sa N_{cross} i $Q_{5minxYr}$

Nakon iterativnog postupka sprovedenog u softveru za statističku obradu podataka ispitane su različite kombinacije funkcije odnosa izabranih prediktora sa zavisnom promenljivom i utvrđeno je da se prihvata nulta hipoteza H_{20} . Usvojena regresiona jednačina kojom je moguće opisati zavisnost ostvarenog broja zaustavljanja sa izabranim nezavisnim promenljivim je uprošćena zaokruživanjem koeficijenata i ima sledeći oblik:

$$N_{stops} = \frac{1,1 (Q_{5min} Yr)^2}{N_{cross} + Q_{5min} Yr + \exp\left(\frac{104}{N_{cross}}\right)} \quad (7.3)$$

$$Q_{5min} = \frac{q}{12} \quad (7.4)$$

$$Yr = 0,7029 - 0,000204 q + 0,000246 q_{ped} - 0,02533 BUS\% - 0,01787 TV\% - 0,0562 f_{dir} \quad (7.5)$$

gde je:

N_{stops} - prosečan broj zaustavljenih vozila u 5-minutnom intervalu (stops/5-min),

N_{cross} - prosečan broj prelazaka u 5-minutnom intervalu (cross/5-min),

Q_{5min} - prosečan petominutni protok vozila (PAJ/5-min)

q - utvrđeni (izbrojani) časovni protok vozila (PAJ/h/tr)

q_{ped} - utvrđeni (izbrojani) časovni protok pešaka (ped/h)

$BUS\%$ - procentualno učešće autobusa u časovnom protoku svih vozila

$TV\%$ - procentualno učešće teretnih vozila u časovnom protoku svih vozila

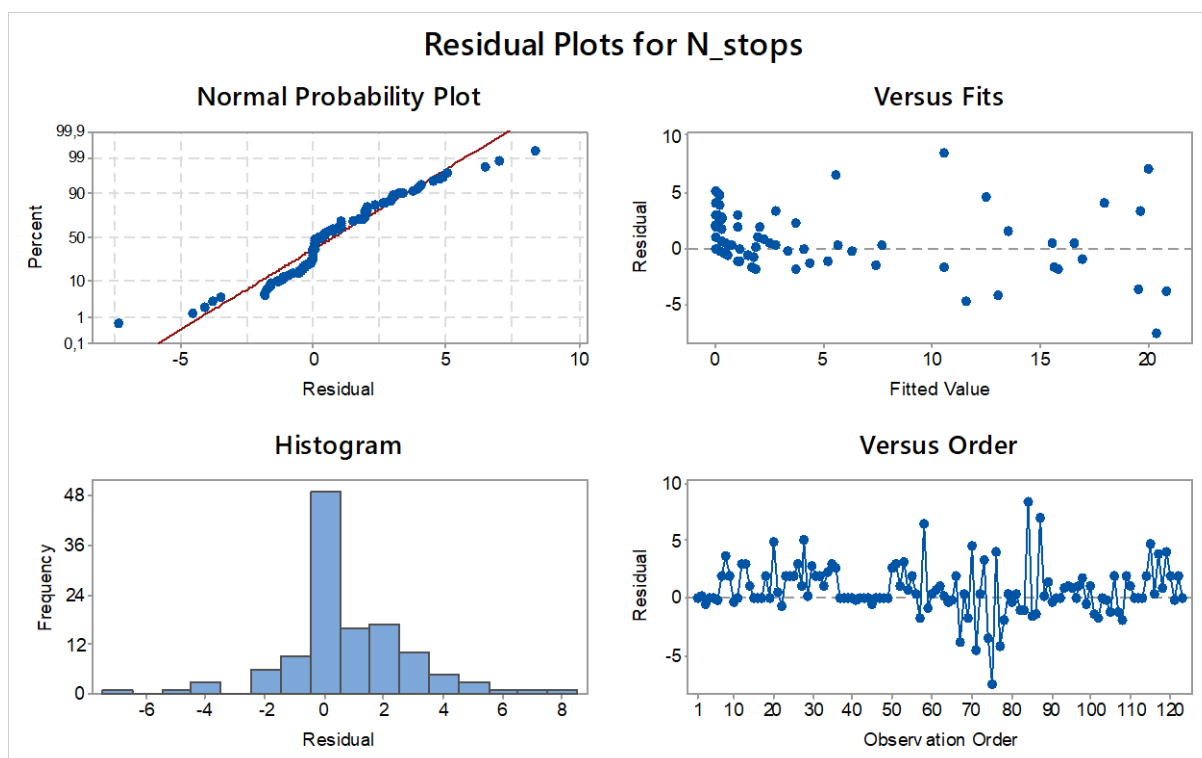
f_{dir} - faktor smera kretanja (1= dvosmerno kretanje vozila, 0 = jednosmerno kretanje vozila)

U okviru Priloga 2 ove disertacije date su vrednosti koeficijenata korelacije između usvojenih prediktora. Analizom je utvrđeno da postoji korelacija između broja prelazaka (N_{cross}) i faktora umnoška petominutnog protoka i stepena propuštanja pešaka ($Q_{5min} \times Yr$) ali za datu korelaciju ne postoji teorijska opravdanost te utvrđena korelacija nije uzeta u obzir.

Tabela 7.5 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za N_{stops}

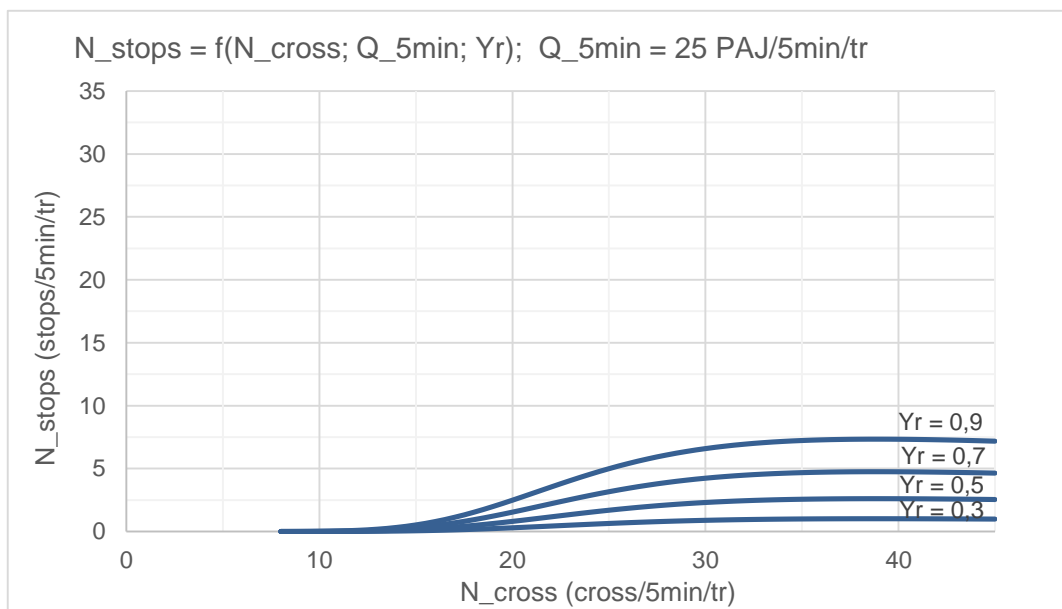
	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	p-vrednost	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
Regression	1	4904,8	4904,9	948,1	0,000	2,27	88,60%	88,51%	87,91%
f(Q _{5min} ;Yr;N _{cross})	1	4904,8	4904,9	948,1	0,000				
Error	122	631,2							
Total	123	5536,0							

Na osnovu utvrđene p-vrednosti regresije koja je približno jednaka 0, može se reći da postoji statistički značajna zavisnost između posmatranih parametara. Takođe, koeficijent determinacije R² u ovom slučaju iznosi 88,60% te se na osnovu toga može konstatovati da formirana regresiona jednačina u prihvatljivoj meri opisuje definisanu zavisnost. Analizom grafika reziduala utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni (rasuti) oko krive regresionog modela.

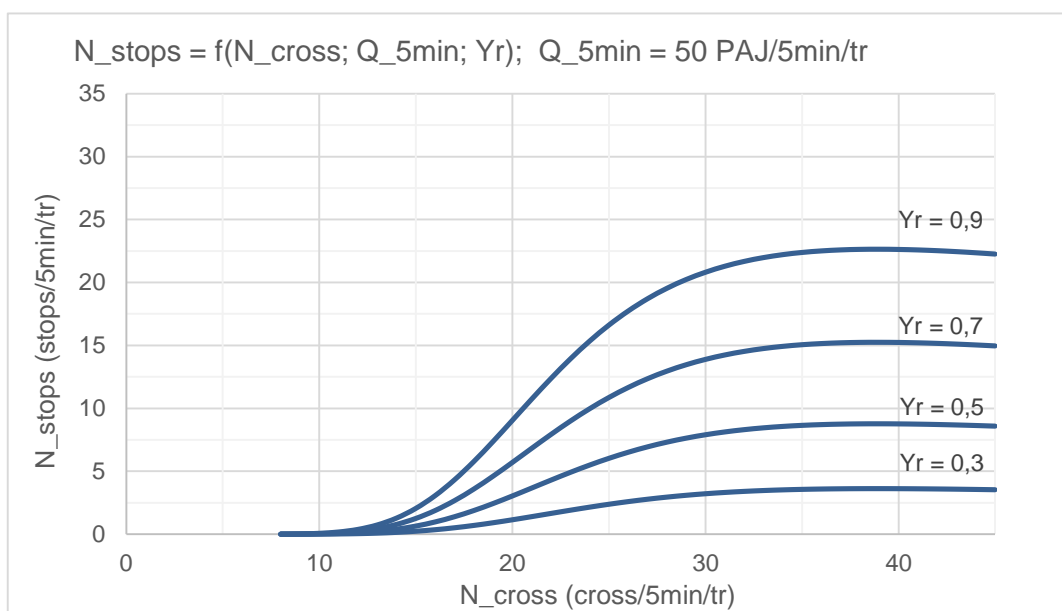


Slika 7.6 Karakteristike reziduala regresije za N_stops

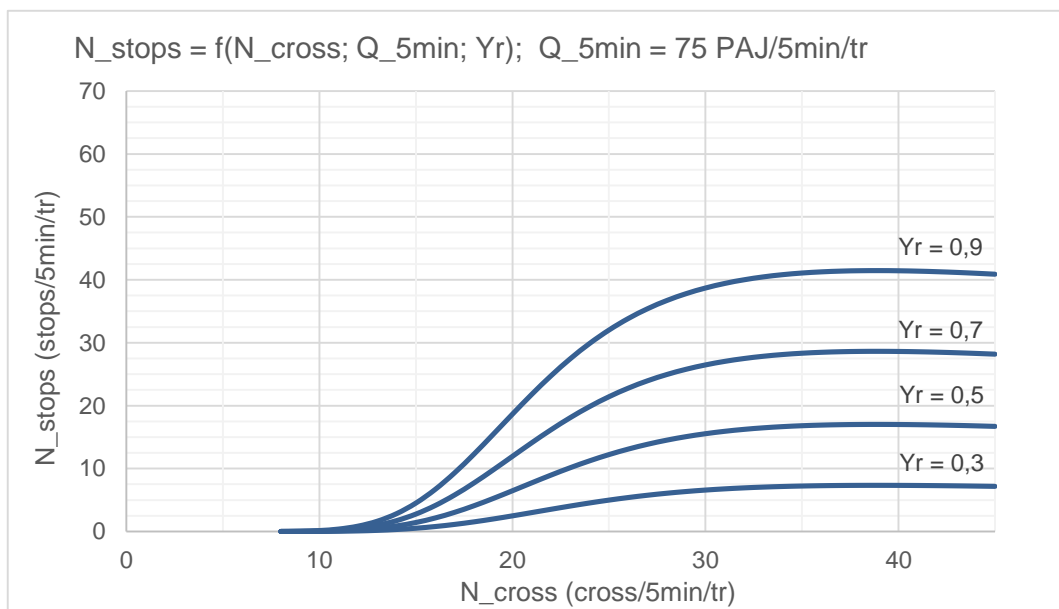
Analizirajući model definisan jednačinom (7.3) može se zaključiti da broj zaustavljanja u većoj meri zavisi od veličine protoka i stepena propuštanja pešaka. Uzimajući u obzir definisana ograničenja modelom nije predviđeno utvrđivanje broja zaustavljanja na prelazima gde broj prelazaka od 45 cross/5min, što je ekvivalentno protoku od 600 ped/h. Sa druge strane prema opšte prihvaćenim kriterijumima (*Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, 2002; JP Putevi Srbije, 2012*) na mestima sa protokom pešaka većim od 500 ped/h i protokom vozila 150 voz/h preporučuje se uvođenje svetlosne signalizacije pa tako model izvan definisanih granica u većini slučajeva ne bi ni imao praktičnu primenu. Na sledećim grafikonima prikazane su zavisnosti broja zaustavljanja u odnosu na izabrane prediktore.



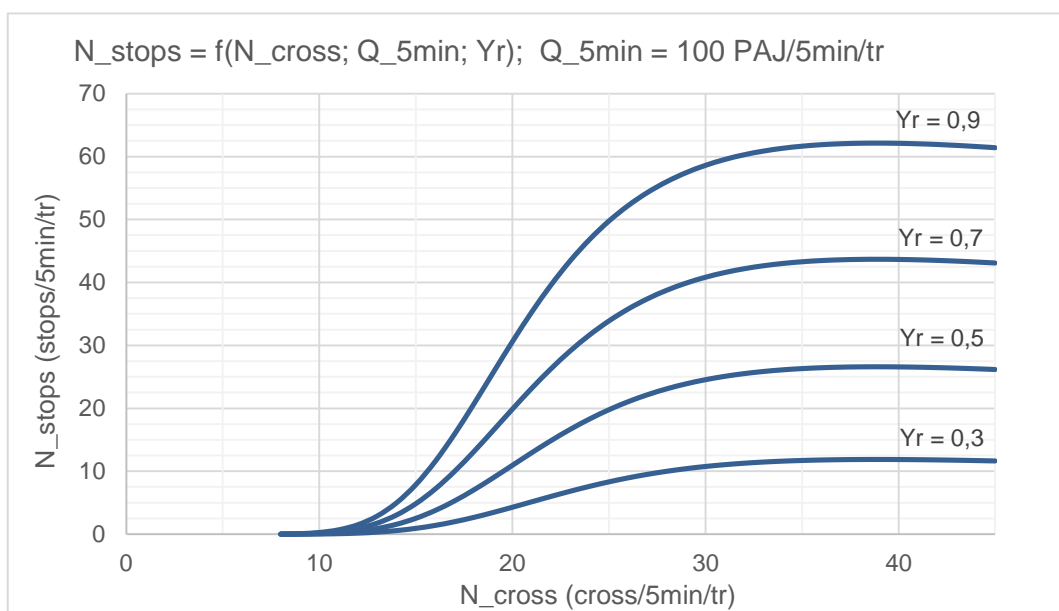
Slika 7.7 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka $Q_5min=25 \text{ PAJ/5min/tr}$



Slika 7.8 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka $Q_5min=50 \text{ PAJ/5min/tr}$



Slika 7.9 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka $Q_{5min}=75 \text{ PAJ/5min/tr}$



Slika 7.10 Dijagram zavisnosti broja zaustavljanja za veličinu toka $Q_{5min}=100 \text{ PAJ/5min/tr}$

Na prethodnim grafikonima prikazane su varijante sa vrednostima stepena propuštanja pešaka 0,3, 0,5, 0,7 i 0,9. Za grafički prikaz izabrane su situacije sa prosečnim petominutnim protokom od 25, 50, 75 i 100 PAJ/5min što je ekvivalentno saobraćajnicama sa časovnim protokom od 300, 600, 900 i 1200 voz/h respektivno. U svim slučajevima u modelu utvrđene vrednosti broja zaustavljanja, protoka vozila i stepena propuštanja odnose se na prost saobraćajni tok, odnosno na jednu saobraćajnu traku u jednom smeru.

7.2.3. Postupak za utvrđivanje vremenskih gubitaka D2_veh

Prema izvršenoj analizi uticaja određenih parametara na nastanak i veličinu vremenskih gubitaka D2_veh utvrđeno je da ovi gubici ostvaruju najveći stepen korelacije sa brojem zaustavljenih vozila, prosečnom zauzetošću pešačkog prelaza od strane pešaka i broja saobraćajnih traka koje preseca IPP. Regresionom analizom definisana je jednačina u kojoj ukupni ostvareni vremenski gubici tokom jednog 5-minutnog intervala predstavljaju zavisnu promenljivu, pri čemu su od ukupnog uzorka uzeti u obzir samo oni intervali sa ostvarenim vremenskim gubicima. Prilikom formiranja modela usvojeni su polazni uslovi, odnosno ograničenja koja važe za postupak proračuna parametara N_cross i N_stops.

Nakon iterativnog postupka u okviru kog razmatranja odnosa izabranih prediktora sa zavisnom promenljivom utvrđeno je da postoji veza između ostvarenog broja prelazaka na IPP sa protokom pešaka i karakterističnim geometrijskim parametrima lokacije na kojoj se pešački prelaz nalazi. U okviru analize razmatran je model po kom se vremenski gubici D2_veh definišu u funkciji samo broja zaustavljanja vozila i varijanta po kojoj su ovi vremenski gubici određeni u funkciji sva tri izabrana parametra. Model primenjen na formiranom uzorku sa empirijski utvrđenim podacima ima veći koeficijent determinacije ukoliko se posmatra samo u funkciji N_stops, pri čemu ta razlika iznosi manje od 0,3%. S obzirom da definisani model u svojoj konačnoj formi uzima u obzir vrednosti broja zaustavljenih vozila (N_stops) koje se dobijaju postupkom definisanim u tački 7.2.2 za utvrđivanje vremenskih gubitaka D2_veh izvršena je dodatna analiza u kojoj figuriše parametar N_stops utvrđen jednačinom (7.3). Rezultati ove analize pokazali su veći koeficijent determinacije u slučaju kada je D2_veh izraženo u funkciji sva tri odabrana parametra ($R^2=84,68\%$), pa je skup ovih promenljivih uzet kao merodavan prilikom definisanja jednačine za proračun D2_veh.

Tabela 7.6 Koeficijenti determinacije analiziranih varijanti modela za proračun D2_veh

	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
D2_veh = f(N_stops)	19,488	92,22%	92,13%	91,37%
D2_veh = f(N_stops; Opc; N_lane)	19,824	91,95%	91,85%	91,09%
D2_veh = f(N_stops*)	27,626	84,37%	84,18%	83,00%
D2_veh = f(N_stops*; Opc; N_lane)	27,354	84,68%	84,49%	83,30%

Vrednosti označene zvezdicom (N_stops*) su vrednosti dobijene pomoću jednačine (7.3)

Regresiona jednačina kojom je moguće opisati zavisnost ostvarenih vremenskih gubitaka D2_veh sa izabranim nezavisnim promenljivim ima sledeći oblik:

$$D_{2_veh} = 3,52 \frac{N_{stops} O_{pc}}{N_{lane}} \quad (7.6)$$

$$O_{pc} = \frac{L_{pc}}{V_{p_group}} \quad (7.7)$$

gde je:

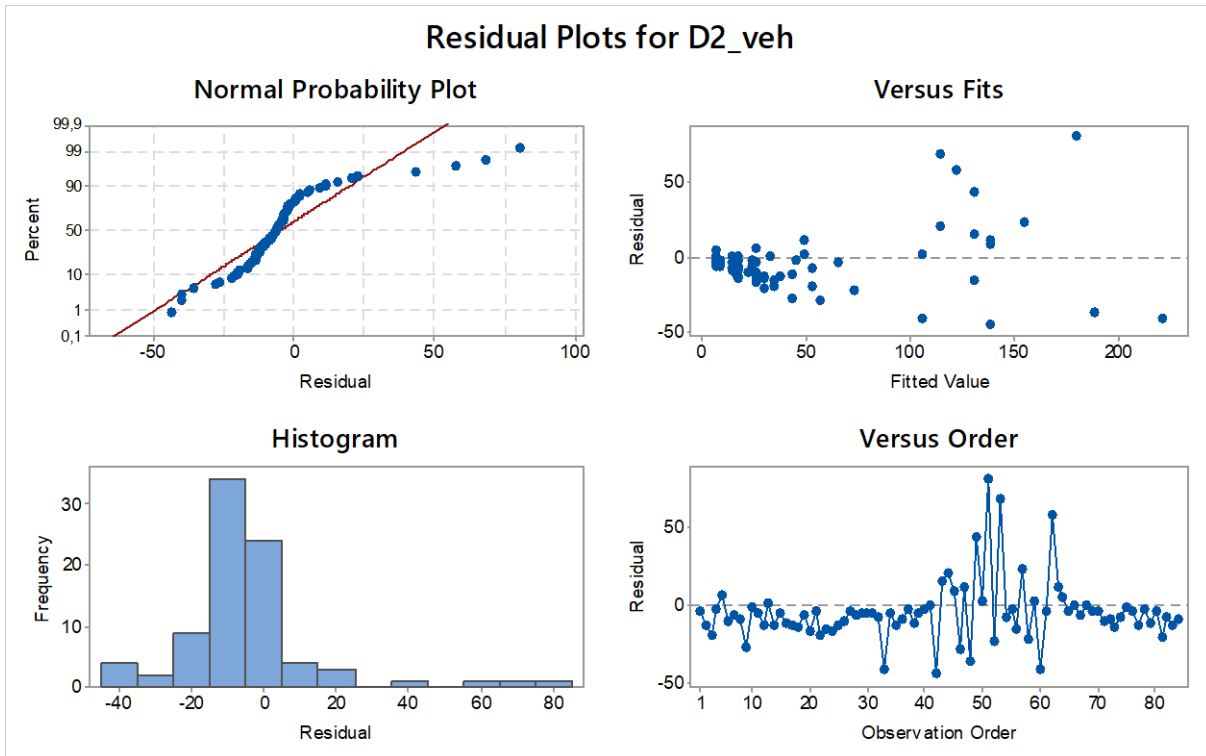
- D_{2_veh} - ukupna vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka D_{2_veh} u toku jednog petominutnog intervala (s),
 N_{stops} - prosečan broj zaustavljenih vozila u 5-minutnom intervalu (stops/5-min),
 O_{pc} - prosečna zauzetost IPP od strane pešaka (s),
 N_{lane} - broj saobraćajnih traka koje IPP,
 L_{pc} - dužina IPP izražena u metrima (m),
 V_{p_group} - prosečna brzina grupe pešaka – usvojena vrednost 1,4 m/s.

Vrednosti koeficijenta korelacije između usvojenih prediktora date su okviru Priloga 2 ove disertacije. Analizom je utvrđeno da postoji korelacija između prosečne zauzetosti IPP od strane pešaka (O_{pc}) i preostala dva prediktora. Ovaj faktor nije eliminisan iz modela jer u tom slučaju model dalje lošije rezultate.

Tabela 7.7 Parametri za ocenu pouzdanosti regresije za D_{2_veh}

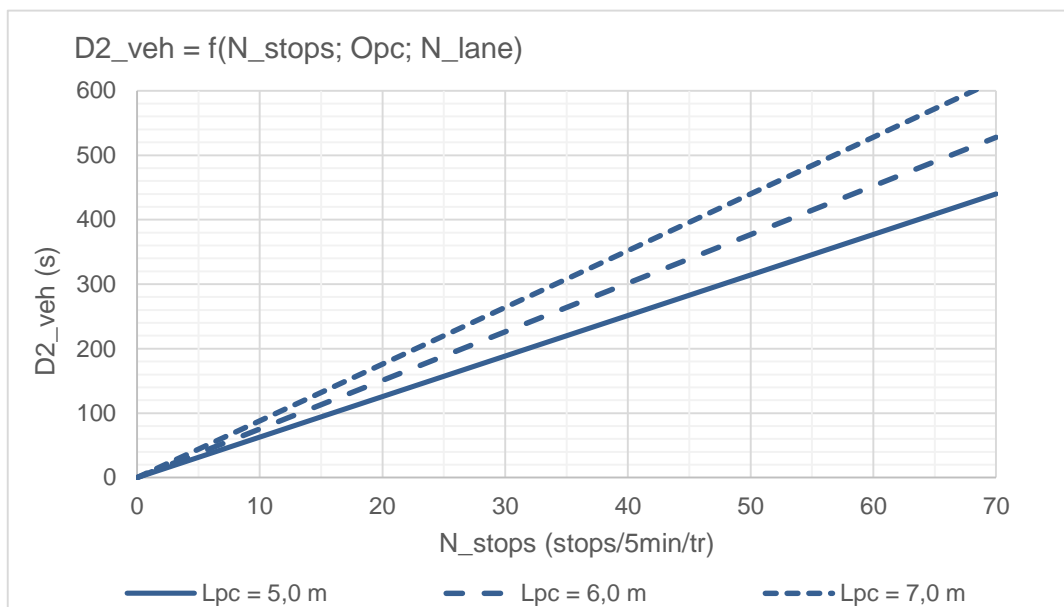
	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-vrednost	S	R ²	R ² (adj)	R ² (pred)
Regression	1	372632	372632	948,22	0,000	19,82	91,95%	91,85%	91,09%
f(N_{stops} ; O_{pc} ; N_{lane})	1	372632	372632	948,22	0,000				
Error	83	32618	393						
Lack-of-Fit	29	26751	922						
Pure Error	54	5867	109						
Total	84	405250							

Na osnovu utvrđene p-vrednosti regresije koja je jednaka 0,000 ili je zanemarljivo mala, odnosno manja od zadatog praga značajnosti može se reći da postoji zavisnost između posmatranih parametara. Takođe, koeficijent determinacije R^2 u ovom slučaju iznosi 91,95% te se na osnovu toga može konstatovati da formirana regresiona jednačina u prihvatljivoj meri opisuje definisanu zavisnost. Analizom grafika reziduala utvrđeno je da su oni slučajno raspoređeni (rasuti) oko krive regresionog modela.



Slika 7.11 Karakteristike reziduala regresije za D2_veh

Na sledećem grafikonu prikazana je zavisnost ostvarenih vremenskih gubitaka kao funkcije parametara definisanih u jednačini (7.6). Grafikon prikazuje prognozirane vrednosti ukupnih vremenskih gubitaka u petominutnom periodu po traci u zavisnosti od ostvarenog broja zaustavljenih vozila u varijanti pešačkog prelaza različite dužine koji preseca dve saobraćajne trake.



Slika 7.12 Dijagram zavisnosti gubitaka D2_veh u odnosu na izabrane prediktore

Vremenski gubitak $D2_{veh}$ samo je deo ukupnih ostvarenih vremenskih gubitaka u toku. Da bi se opisao uticaj IPP potrebno je sagledati ukupne ostvarene vremenske gubitke koji uključuju i gubitke nastale kao posledica usporavanja i ubrzavanja vozila ($D1_{veh}$ i $D3_{veh}$). Zbir ova tri vremena čini ukupne gubitke D_{veh} koji su definisani kao gubici ostvareni tokom jednog petominutnog intervala. U inženjerskoj praksi protok vozila kao i protok pešaka, kao merodavni kvantitativni parametri saobraćajnog toka, najčešće se posmatraju na časovnom nivou. Ako se uzme u obzir da realno ostvaren petominutni protok vozila u najmanjoj meri odstupa od prosečnog petominutnog protoka na nivou jednog sata, može se reći da će se i prosečni vremenski gubici vozila ponašati po istoj zakonitosti. Na osnovu toga usvaja se da ukupni vremenski gubici u toku jednog sata iznose:

$$d_{veh} = 12 D_{veh} \quad (7.8)$$

$$D_{veh} = D_{2_{veh}} + N_{stops} (D_{1_{veh}} + D_{3_{veh}}) \quad (7.9)$$

gde je:

- d_{veh} - ukupna vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP u toku jednog časa (s),
- D_{veh} - ukupna vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP u toku jednog petominutnog intervala (s),
- $D_{1_{veh}}$ - jedinični vremenski gubitak nastao kao posledica usporenja vozila (s/voz),
- $D_{3_{veh}}$ - jedinični vremenski gubitak nastao kao posledica ubrzanja vozila (s/voz).

Vremenski gubici koji nastaju kao posledica usporavanja odnosno ubrzavanja vozila za potrebe formiranja modela usvojeni su kao konstantne vrednosti ($D1_{veh} = \text{const.} = 2,5 \text{ s}$; $D3_{veh} = \text{const.} = 2,8 \text{ s}$). U konkretnoj primeni modela ovi parametri mogu biti i proračunati u skladu sa stvarnom brzinom saobraćajnog toka na odseku u posmatranom smeru bez uticaja prelaska pešaka i vremenskih gubitaka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (prosečna brzina vozila koja se ne zaustavljaju) ukoliko takvi podaci postoje. U tom slučaju vremenski gubici $D1_{veh}$ i $D3_{veh}$ mogu se proračunati na sledeći način:

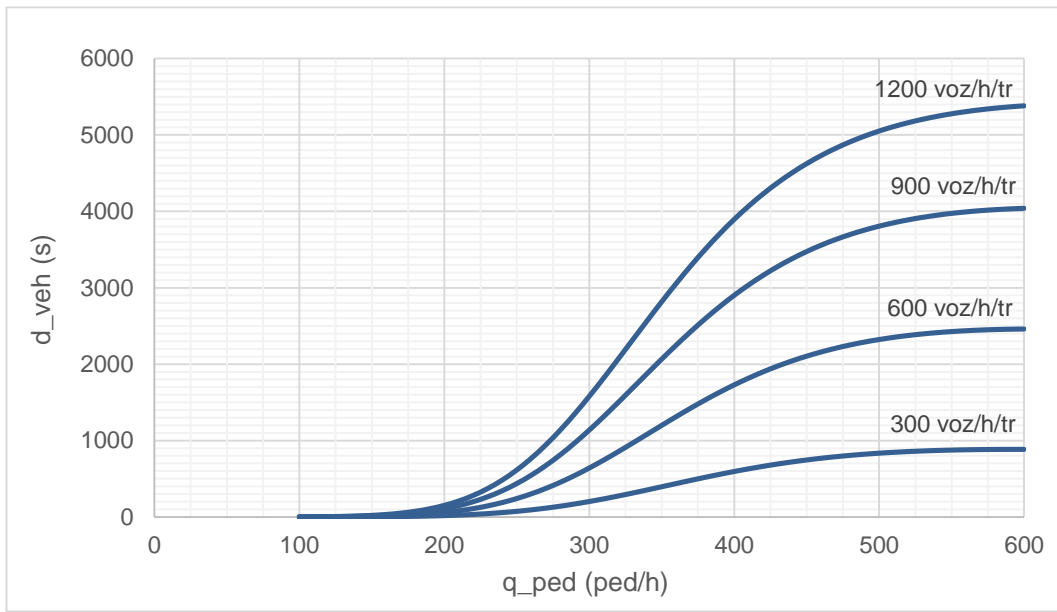
$$D_{1_{veh}} = \frac{L}{2 b t_R} \quad (7.10)$$

$$D_{3_{veh}} = \frac{L}{2 a t_R} \quad (7.11)$$

gde je:

- L - dužina odseka (s)
- t_R - vreme putovanja na odseku bez uticaja pešaka na IPP i gubitaka na izlaznoj graničnoj raskrsnici (s),
- b - usvojena srednja vrednost usporenja vozila ($2,0 \text{ m/s}^2$)
- a - usvojena srednja vrednost ubrzanja vozila ($1,8 \text{ m/s}^2$)

Na sledećem grafikonu prikazani su ukupno ostvareni vremenski gubici u toku jednog sata po jednoj saobraćajnoj traci u zavisnosti od protoka pešaka i časovnog protoka vozila po traci. Kao merodavni pešački prelaz usvojen je prelaz dužine $L_{pc} = 6,0$ m koji preseca dve saobraćajne trake za kretanje vozila u istom smeru. Sve konstante koje figurišu u proračunu imaju vrednosti koje su usvojene u prethodnom delu rada. Može se zaključiti da je kriva vremenskih gubitaka u skladu sa zakonom ponašanja broja zaustavljenih vozila s obzirom da ovaj par ima veoma visok stepen korelacije.



Slika 7.13 Dijagram zavisnosti gubitaka d_{veh} u odnosu na protok vozila i pešaka

7.3. Postupak za utvrđivanja uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica

Prema postojećoj metodologiji ([Transportation research board, 2016b](#)) nivo usluge na gradskim saobraćajnicama određuje se na osnovu prosečne brzine putovanja na odseku i definisane vrednosti brzine slobodnog toka (Tabela 3.2). Posmatrajući sa aspekta prihvaćene metodologije, prosečna brzina putovanja na odseku zavisi od dužine odseka, vremena putovanja na odseku (t_R) i vremenskih gubitaka prolaznog toka (d_t). Vremenski gubici prolaznog toka su definisani kao zbir vremenskih gubitaka nastalih na izlaznoj graničnoj raskrsnici i kao takvi zavise od tipa granične raskrsnice (raskrsnice na kraju odseka posmatrano u smeru vožnje). Vreme putovanja na odseku izračunava se na osnovu jednačine (3.5). Ovo vreme (t_R) predstavlja zbir različitih vremena putovanja i vremenskih gubitaka, između ostalog i vremenskih gubitaka koji mogu da nastanu na središnjem delu odseka čiji postupak proračuna nije definisan postojećom metodologijom. Jedan od razloga za nastanak vremenskih gubitaka duž odseka može biti propuštanje pešaka na IPP što direktno utiče na povećanje vremena putovanja na odseku. U skladu sa navedenim i u slučaju da karakteristike tokova na mestu ukrštanja generišu određene vremenske gubitke, jednačina za proračun vremena putovanja sa uticajem pešaka na IPP može biti definisana na sledeći način:

$$t_{R_ped} = t_R + \frac{d_{veh}}{12 N_{stops}} \quad (7.12)$$

gde je:

t_{R_ped} - prosečno vreme putovanja vozila na odseku sa uticajem pešaka na IPP (s),

t_R - prosečno vreme putovanja vozila na odseku bez uticaja pešaka na IPP, - ukupna vrednost ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP u toku

d_{veh} jednog časa (s),

N_{stops} - prosečan broj zaustavljenih vozila u 5-minutnom intervalu (stops/5-min),

Implementacijom utvrđene relacije u postupak koji je definisan opšte prihvaćenom metodologijom, jednačina za proračun srednje brzina prolaznog toka na odseku ima sledeći oblik:

$$S_{T_seg} = \frac{3,6 L}{\left[\frac{(q - 12 N_{stops}) t_R + 12 N_{stops} t_{R_ped}}{q} \right] + d_t} \quad (7.13)$$

gde je:

S_{T_seg} - brzina putovanja vozila prolaznog toka na odseku (km/h)

L - dužina odseka (m)

q - utvrđeni (izbrojan) časovni protok vozila (voz/h),

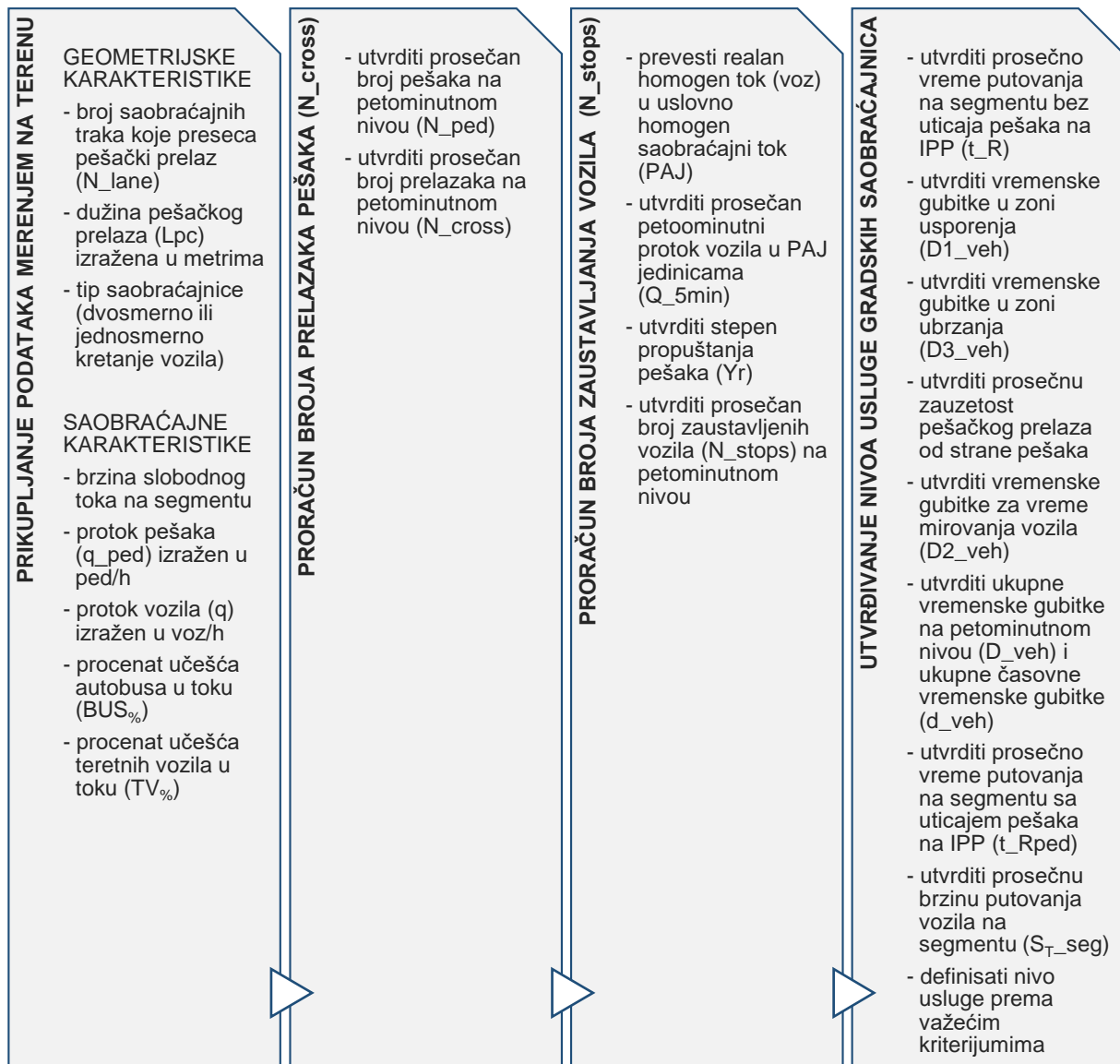
N_{stops} - prosečan broj zaustavljenih vozila u 5-minutnom intervalu (stops/5-min),

t_R - prosečno vreme putovanja vozila na odseku bez uticaja pešaka na IPP,

t_{R_ped} - prosečno vreme putovanja vozila na odseku sa uticajem pešaka na IPP (s),

d_t - vremenski gubici vozila prolaznog toka (s)

U cilju pojednostavljenja prikaza postupka za utvrđivanje uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica, na sledećoj slici prikazani su postupni koraci za primenu utvrđene metodologije.



Slika 7.14 Postupni koraci modela za proračun uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica

7.4. Testiranje modela za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka vozila na IPP

U okviru validacije modela izvršeno je nezavisno testiranje u dva koraka. Prvi korak obuhvata testiranje postupka za utvrđivanje ostvarenog broja prelazaka (N_{cross}). Drugi korak podrazumeva testiranje postupka za utvrđivanje srednje brzine vožnje na odseku ($S_{T_{seg}}$) kojim je obuhvaćena metodologija za proračun ostvarenih vremenskih gubitaka (D_{veh}) i broja zaustavljenih vozila (N_{stops}).

7.4.1. Testiranje modela za utvrđivanje parametra N_{cross}

Na dve nezavisno izabrane lokacije IPP (test lokacije LOK_8 i LOK_9), koje nisu uzete u obzir prilikom formiranja modela za proračun N_{cross} , izvršeno je testiranje dobijene

regresione jednačine. Testiranje je izvršeno na bazi dvočasovnog brojanja na svakoj lokaciji, odnosno na 48 petominutnih intervala. U narednim tabelama uporedno su prikazane vrednosti broja prelazaka i broja pešaka utvrđene brojanjem na pešačkom prelazu, i vrednosti dobijene modelom (N_cross*). Ukupan broj prelazaka dobijen modelom izražen je kao dvanestrostruka vrednost prosečnog broja petominutnih prelazaka dobijenih modelom.

Tabela 7.8 Uporedni prikaz rezultata proračuna N_cross na pešačkom prelazu LOK_8

5- minutni interval	LOK_8 – uzorak 1			LOK_8 – uzorak 2		
	N_ped	N_cross	N_cross*	N_ped	N_cross	N_cross*
0-5	14	11	11	28	21	21
5-10	12	9	10	32	18	24
10-15	31	22	24	27	16	20
15-20	30	21	23	16	11	12
20-25	31	17	24	25	20	19
25-30	27	18	20	19	13	14
30-35	14	9	11	14	12	11
35-40	23	18	17	28	21	21
40-45	23	19	17	24	17	18
45-50	21	13	16	22	19	16
50-55	21	18	16	20	15	15
55-60	31	24	24	30	21	23
Prosečno	23,2	16,6	17,2	23,8	17,0	17,6
Ukupno	278	199	206	285	204	211

Vrednosti označene zvezdicom (N_cross*) su vrednosti dobijene modelom

Tabela 7.9 Uporedni prikaz rezultata proračuna N_cross na pešačkom prelazu LOK_9

5- minutni interval	LOK_9 – uzorak 1			LOK_9 – uzorak 2		
	N_ped	N_cross	N_cross*	N_ped	N_cross	N_cross*
0-5	8	7	8	15	13	12
5-10	5	5	6	8	8	8
10-15	6	6	7	16	12	12
15-20	6	6	7	17	13	13
20-25	5	5	6	12	10	10
25-30	15	9	12	15	11	12
30-35	7	6	7	11	9	9
35-40	11	11	9	14	10	11
40-45	16	11	12	27	17	20
45-50	22	15	16	24	13	18
50-55	15	14	12	16	13	12
55-60	12	10	10	20	15	15
Prosečno	10,7	8,8	9,1	16,3	12,0	12,3
Ukupno	128	105	109	195	144	148

Vrednosti označene zvezdicom (N_cross*) su vrednosti dobijene modelom

Uporednom analizom srednjih vrednosti ostvarenog i modelom procenjenog broja prelazaka po petominutnim intervalima ustanovljeno je da se ne može odbaciti pretpostavka da su ove vrednosti jednake. S obzirom na usvojeno ograničenje koje podrazumeva da analizirani tokovi imaju saglasnost sa Poasonovom raspodelom kao i da se radi o spareno uzorku za uporednu analizu broja prelazaka primenjen je Wilcoxon signed-rank test. Osnovni rezultati statističke analize prikazani su u narednoj tabeli.

Tabela 7.10 Osnovni rezultati statističke analize ostvarenih i modelom utvrđenih N_cross

Lokacija/uzorak	LOK_8/1	LOK_8/2	LOK_9/1	LOK_9/2
Wilcoxon signed-rank test				
H0: N_cross_modelovano = N_cross_empirijski,				
H1: N_cross_modelovano \neq N_cross_empirijski				
Medijana (empirijski)	18,0	17,5	8,0	12,5
Medijana (modelovano)	17,3	17,9	9,1	12,1
p-vrednost	0,666	0,724	0,290	0,666

U svakom slučaju utvrđena p-vrednost je veća od zadatog praga značajnosti pa se ne može odbaciti nulta hipoteza. Na osnovu svega navedenog može se doneti zaključak da je predloženi model, uz poštovanje zadatih ograničenja, pogodan za procenu broja prelazaka preko na IPP po petominutnim intervalima.

7.4.1. Testiranje modela za utvrđivanje uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica

Testiranje modela za utvrđivanje uticaja IPP na nivo usluge gradskih saobraćajnica izvršeno je na osnovu podataka prikupljenih u okviru istraživanja karakteristika saobraćajnog toka na odsecima gradskih saobraćajnica. Karakteristike tokova na ovim lokacijama nisu uzete u obzir u računskom postupku formiranja modela već su korišćene isključivo kao test lokacije.

Metodologija za kvalitativno vrednovanje uslova odvijanja saobraćaja na odsecima gradskih saobraćajnica svakim nivoom usluge opisuje karakteristične uslove odvijanja saobraćaja (*Transportation research board, 2016b*). Svaki od šest nivoa usluge karakteriše određen opseg brzine saobraćajnog toka čije granične vrednosti zavise od bazne brzine u slobodnom toku, na način opisan u tački 3.3 (npr. nivo usluge „LOS C“ karakteriše brzina saobraćajnog toka koja ima vrednost u granicama između 50% i 67% bazne brzine slobodnog toka). Za potrebe utvrđivanja nivoa usluge na analiziranim saobraćajnicama definisane su granične vrednosti za baznu vrednost brzine u slobodnom toku koja iznosi 55 km/h. Navedena vrednost bazne brzine saobraćajnog toka usvojena je kao merodavna na osnovu prethodnih istraživanja brzine u slobodnom toku u Gradu Novom Sadu i Kragujevcu (*Bogdanović, Papić, et al., 2018; Bogdanović, Vračarević, et al., 2018*). Uzimajući u obzir kriterijume za definisanje nivoa usluge na osnovu bazne brzine slobodnog toka i usvojenu vrednost

ove brzine, kvalitativna ocena uslova odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama može se klasifikovati na način prikazan u narednoj tabeli.

Tabela 7.11 Kriterijumi za definisanje nivoa usluge na gradskim saobraćajnicama (BFFS = 55 km/h)

LOS	A	B	C	D	E	F
Brzina (km/h)	55 - 44	44 - 37	37 - 28	28 - 22	22 - 17	17 - 0

Na osnovu ovako definisanih kriterijuma i empirijski utvrđene prosečne brzine toka određen je stvarni nivo usluge svakog posmatranog odseka. U sledećem koraku, pomoću definisanog modela, izračunata je srednja brzina putovanja na svakom posmatranom odseku. Nakon toga izvršena je uporedna analiza empirijski utvrđenih brzina i brzina dobijene modelom kao i na osnovu tih vrednosti određenih nivoa usluga.

Tabela 7.12 Uporedna analiza empirijski utvrđenih brzina, brzina dobijenih modelom i nivoa usluge

Oznaka deonice	St_seg empirijski	LOS empirijski	St_seg model	LOS model	Validacija modela	Odnos empirijske i modelom utvrđene brzine
11	21,0	E	24,7	D	✘	manja empir. brzina za 3,8 km/h
12	21,0	E	21,4	E	✔	manja empir. brzina za 0,4 km/h
21	31,2	C	32,8	C	✔	manja empir. brzina za 1,6 km/h
22	31,8	C	33,5	B	✘	manja empir. brzina za 1,7 km/h
31	33,4	C	26,5	D	✘	veća empir. brzina za 6,9 km/h
32	24,5	D	22,1	D	✔	veća empir. brzina za 2,4 km/h
41	36,7	C	38,4	B	✘	manja empir. brzina za 1,7 km/h
42	13,9	F	15,9	F	✔	manja empir. brzina za 2,1 km/h
51	38,3	B	40,3	B	✔	manja empir. brzina za 2,0 km/h
52	37,3	B	39,2	B	✔	manja empir. brzina za 2,0 km/h
61	21,3	E	19,1	E	✔	veća empir. brzina za 2,2 km/h
62	23,0	D	24,8	D	✔	manja empir. brzina za 1,7 km/h
71	14,0	F	16,3	F	✔	manja empir. brzina za 2,3 km/h
72	18,0	E	17,6	E	✔	veća empir. brzina za 0,4 km/h
81	18,4	E	20,3	E	✔	manja empir. brzina za 1,8 km/h
82	17,5	E	21,7	E	✔	manja empir. brzina za 4,2 km/h
91	25,7	D	26,6	D	✔	manja empir. brzina za 0,9 km/h
92	30,2	C	30,9	C	✔	manja empir. brzina za 0,6 km/h

Na osnovu podataka prikazanih u prethodnoj tabeli može se reći da model u 13 od 17 slučajeva dobro opisuje uslova odvijanja saobraćaja, odnosno u 77,8% slučajeva se dobija isti nivo usluge. Maksimalno odstupanje empirijski utvrđene brzine od brzine dobijene modelom je 6,9 km/h, a ako se izuzme ovaj slučaj prosečno odstupanje iznosi između stvarne brzine i brzine dobijene modelom iznosi 1,9 km/h. Na osnovu rezultata testiranja može se reći da definisan model u velikoj meri realno opisuje uslove odvijanja saobraćaja.

POGLAVLJE

8

Zaključna razmatranja i pravci daljih istraživanja

Zaključna razmatranja obuhvataju pregled rezultata dobijenih predmetnim istraživanjem, ključna zapažanja i naučni doprinos. U zavisnosti od konačnih rezultata i uviđanjem određenih faktora koji mogu da utiču na nastanak vremenskih gubitaka na IPP, a koji predmetnim istraživanjem nisu obuhvaćeni, definisani su pravci daljih istraživanja

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA I PRAVCI DALJIH ISTRAŽIVANJA

Predmet analize koja je izvršena u okviru ovog rada je uticaj IPP na smanjenje brzine i vremena putovanja vozila na odsecima gradskih saobraćajnica. Celokupna analiza je izvršena sa ciljem da se definiše model kojim bi bilo moguće utvrditi vremenske gubitke vozačkih tokova koji nastaju kao posledica uticaja prelazaka pešaka na nesignalisanim IPP, i da model kao takav bude implementiran u postojeću metodologiju za definisanje uslova odvijanja saobraćaja na odsecima gradskih saobraćajnica.

Za potrebe izrade doktorske disertacije sprovedena su dva nezavisna istraživanja. Oba istraživanja izvršena su u uslovima realnog saobraćajnog toka. Inicijalno istraživanje izvršeno je na mikrolokacijama IPP. Na osnovu rezultata dobijenih ovim istraživanjem utvrđene su međusobne zavisnosti između parametara koji opisuju karakteristike pešačkih i vozačkih tokova na ovim lokacijama. Uzimajući u obzir utvrđene relacije i rezultate prethodnih istraživanja definisan je matematički model pomoću kog je moguće proceniti veličinu vremenskih gubitaka u vozačkim tokovima koji nastaju kao posledica potrebe za propuštanjem pešaka. U drugom delu istraživanja izvršeno je merenje brzine saobraćajnog toka na deonicama gradskih saobraćajnicama na kojim postoji IPP. Pešački prelazi na analiziranim deonicama nisu bili obuhvaćeni prvim delom istraživanja. Tokom snimanja na deonicama zabeležene su brzina i vreme putovanja vozila u slučaju kada tok motornih vozila nije ometan od strane pešaka i u situacijama kada se vozila zaustavljaju, ili usporavaju, radi propuštanja pešaka. Rezultati drugog dela istraživanja u najvećoj meri su korišćeni za potrebe kalibracije i provere valjanosti modela. Nakon testiranja modela utvrđeno je da dobijeni model u velikoj meri opisuje realne uslove odvijanja saobraćaja.

Definisan model za proračun vremenskih gubitaka vozila na IPP zasnovan je na jedinstvenim ograničenjima koji su u najvećoj meri određena opsegom prikupljenog uzorka (utvrđenim protokom pešaka i vozila). Iako određena ograničenja postoje, u domenu definisanog modela obuhvaćeni su slučajevi u kojim je prema domaćim i stranim preporukama adekvatno obeležavanje nesignalisanog IPP.

Buduća istraživanja mogu biti usmerena u dva pravca. Jedan pravac je dodatna razrada modela i primena u optimizaciji rada svetlosnih signala na koordinisanim odsecima gradskih saobraćajnica na kojima postoji nesignalisan pešački prelaz. Ova razrada teme podrazumevala bi definisanje kriterijuma i postupka za utvrđivanje optimalnog vremenskog pomaka zelenog svetla između dve susedne granične raskrsnice odseka sa IPP. Drugi pravac istraživanja odnosi se na uslove odvijanja saobraćaja na gradskim saobraćajnicama. Pored vremenskih gubitaka vozila koji nastaju na IPP, duž odseka moguća je pojava i drugih faktora koje mogu da utiču na

brzinu i vreme putovanja vozila na odseku. Ovi faktori vezani su za parkiranje i zaustavljanje vozila u saobraćajnim trakama duž odseka ili procese spajanja saobraćajnih tokova u tački ukidanja saobraćajne trake itd.

LITERATURA



Spisak korišćene literature

SPISAK KORIŠĆENE LITERATURE

- AASHTO. (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington.
- Almodfer, R., Xiong, S., Fang, Z., Kong, X., & Zheng, S. (2016). Quantitative analysis of lane-based pedestrian-vehicle conflict at a non-signalized marked crosswalk. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 42, 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.07.004>
- AMAL-Taei, A. (2016). Gap Analysis and Delay Development Modeling on Pedestrian Midblock Crossing in Dohuk City Road Network. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering*, 5(11), 34–44.
- Archer, J. (2005). *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections*. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Bak, R., & Kiec, M. (2012). Influence of Midblock Pedestrian Crossings on Urban Street Capacity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2316(1), 76–83. <https://doi.org/10.3141/2316-09>
- Barton, B. K., Kologi, S. M., & Siron, A. (2016). Distracted pedestrians in crosswalks: An application of the Theory of Planned Behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 37, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.12.012>
- Bella, F., & Silvestri, M. (2015). Effects of safety measures on driver's speed behavior at pedestrian crossings. *Accident Analysis and Prevention*, 83, 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.07.016>
- Bogdanović, V., & Garunović, N. (2016). *Zbirka zadataka iz teorije saobraćajnog toka*. (R. Doroslovački, Ed.) (Tehničke n). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu.
- Bogdanović, V., Jovanović, D., Ruškić, N., Papić, Z., Mitrović Simić, J., Garunović, N., & Matović, B. (2017). *Primena prinudnih usporivača saobraćaja na teritorijigrada Novog Sada sa posebnim osvrtom na metodologiju i uslove za implementaciju mera*. Novi Sad.
- Bogdanović, V., Papić, Z., Ruškić, N., Mitrović Simić, J., Saulić, N., Matović, B., ... Vukobratović, I. (2018). *Smart Plan - Prikupljanje podataka "prva faza"*. Novi Sad.
- Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić, Z., & Simeunović, M. (2013). The Research of Vehicle Acceleration at Signalized Intersections. *PROMET - Traffic&Transportation*, 25(1), 33–42. <https://doi.org/10.7307/ptt.v25i1.1245>
- Bogdanović, V., Vračarević, R., Basarić, V., Ćirić, M., Anđelković, M., Ruškić, N., ... Saulić, N. (2018). *Generalni urbanistički plan Kragujevac 2025*. Kragujevac.
- Bokare, P. S., & Maurya, A. K. (2017). Acceleration-Deceleration Behaviour of Various Vehicle Types. *Transportation Research Procedia*, 25, 4733–4749.

- <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.486>
- Bonneson, J., Pratt, M., & Vandehey, M. (2008). *Project 03-79: Predicting the performance of automobile traffic on urban streets*. Washington, D.C.
- 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*, 1982, 132–140. <https://doi.org/10.3141/1982-18>
- Broek, N. Vander. (2011). The When, Where and How of Mid-Block Crosswalks. *Kansas LTAP Newsletter*, pp. 10–12.
- Cantillo, V., Arellana, J., & Rolong, M. (2015). Modelling pedestrian crossing behaviour in urban roads: A latent variable approach. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 32, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.008>
- Carthy, T., Packham, D., Salet, D., & Silock, D. (1995). *Risk and safety on the roads: The older pedestrian*. Newcastle. Retrieved from https://roadsafetyfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/risk_and_safety_on_the_roads_-_the_older_pedestrian.pdf
- Chandra, S., Rastogi, R., & Das, V. R. (2014). Descriptive and parametric analysis of pedestrian gap acceptance in mixed traffic conditions. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(1), 284–293. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0363-z>
- Chen, P., Wu, C., & Zhu, S. (2016). Interaction between vehicles and pedestrians at uncontrolled mid-block crosswalks. *Safety Science*, 82, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.016>
- Chiang, C. L. (2003). *Statistical Methods of Analysis*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/5224>
- Cohen, J., Dearnaley, E. J., & Hansel, C. E. M. (1955). The Risk Taken in Crossing a Road. *Journal of the Operational Research Society*, 6(3), 120–128. <https://doi.org/10.1057/jors.1955.15>
- Coley, G., Wesley, A., Reed, N., & Parry, I. (2008). *Driver reaction times to familiar but unexpected events*. *TRL Limited*. Retrieved from http://www.trl.co.uk/online_store/reports_publications/trl_reports/cat_road_user_safety/report_driver_reaction_times_to_familiar_but_unexpected_events.htm
- 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. <https://doi.org/10.1002/jae.791>
- Dhamaniya, A., & Chandra, S. (2014). Influence of Undesignated Pedestrian Crossings on Midblock Capacity of Urban Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2461(1), 137–144. <https://doi.org/10.3141/2461-17>
- Dipietro, C., & King, E. (1970). *Pedestrian gap-acceptance*. Washington, D.C.
- Dommes, A., Cavallo, V., Dubuisson, J.-B., Tournier, I., & Vienne, F. (2014). Crossing a two-way street: comparison of young and old pedestrians. *Journal of Safety Research*, 50, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.03.008>
- E-Statistika. (2011). Statistička značajnost i kritične vrednosti. Retrieved January 10, 2020, from <https://e-statistika.rs/Article/Display/statisticka-znacajnost-i-kriticne-vrednosti>
- EEA. (2013). *A closer look at urban transport*. *TERM 2013: transport indicators*

- tracking progress towards environmental targets in Europe*. Copenhagen., Denmark: European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/94848>
- EPOMM. (2020). TEMS - The EPOMM Modal Split Tool. Retrieved January 15, 2019, from <http://www.epomm.eu/tems/index.phtml>
- Fakultet tehničkih nauka. (2006). *Studija mirujućeg saobraćaja u Novom Sadu*. Novi Sad.
- FHA. (2012). *Manual on Uniform Traffic Control Devices (2009 Editi)*. Washington: US Department of Transportation - Federal Highway Administration.
- Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. (2002). *Empfehlungen für Fussgängerverkehrsanlagen (EFA)*. Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2001). *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen*. Köln.
- Fruin, J. (1987). *Pedestrian Planning and Design*. Mobile, Alabama: Elevator World.
- Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics*, 27(11), 1139–1155. <https://doi.org/10.1080/00140138408963596>
- Goodwin, L. C. (2002). Weather Impacts on Arterial Traffic Flow. *Simulation*, 4–8.
- Greenshields, B., Bibbins, J., Channing, W., & Miller, H. (1935). A Study of Traffic Capacity. In *Proceedings of the Fourteenth Annual Meeting of the Highway Research Board* (pp. 448–477). Washington, D.C.
- Harrell, W. A. (1991). Factors Influencing Pedestrian Cautiousness in Crossing Streets. *The Journal of Social Psychology*, 131(3), 367–372. <https://doi.org/10.1080/00224545.1991.9713863>
- Hine, J., & Russell, J. (1993). Traffic barriers and pedestrian crossing behaviour. *Journal of Transport Geography*, 1(4), 230–239. [https://doi.org/10.1016/0966-6923\(93\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0966-6923(93)90047-4)
- Ivanović, B., Garunović, N., & Tomanović, Z. (2014). Research on the length of passing distance in the real traffic flow. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 66(9), 823–830. <https://doi.org/10.14256/JCE.1062.2014>
- Jorg, D., Andreas, L., & Ingo, T. (2012). Pedestrian Simulation for Urban Traffic Scenarios. In *Proceedings of the summer computer simulation conference 2012* (pp. 414–421). Genoa, Italy.
- JP Putevi Srbije. (2012). *Pešačke površine i površine za hendikepirane*. Beograd.
- JP Urbanizam. (2009). *Saobraćajna studija Grada Novog Sada sa dinamikom uređenja saobraćaja (NOSTRAM) - Knjiga 4: Analiza rezultata istraživanja*. Novi Sad.
- Kadali, B. R., Chiranjeevi, T., & Rajesh, R. (2015). Effect of pedestrians unsignalised mid-block crossing on vehicular speed. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5(2), 170–183. [https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5\(2\).07](https://doi.org/10.7708/ijtte.2015.5(2).07)
- Kuttam, M. O., Babu, S., & Asaithambi, G. (2017). Impact of pedestrian road crossing on capacity and level of service of urban undivided roads in Indian traffic conditions. *96th Annual Meeting of Transportation Research Board*, (November 2016), 1–15.
- Kuzović, L., & Bogdanović, V. (2010). *Teorija saobraćajnog toka*. (I. Ćosić, Ed.) (Tehničke n). Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Li, B. (2014). A bilevel model for multivariate risk analysis of pedestrians' crossing behavior at signalized intersections. *Transportation Research Part B*:

- Methodological*, 65, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.03.003>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.028>
- Maletin, M. (2009). *Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima*. (V. Anđus & J. Katanić, Eds.). Beograd: Orion art.
- Martin, A. (2006). *Factors influencing pedestrian safety: A literature review* (PPR241 ed.). London: London Road Safety Unit.
- MGSI. Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, Pub. L. No. "Sl. glasnik RS," br. 85/17, 114 (2017). Srbija: Vlada republike Srbije - Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture.
- Mitrović Simić, J. (2015). *Nivo usluge na nesignalisanim pešačkim prelazima*. University of Novi Sad.
- Mitrović Simić, J., Bogdanović, V., Basarić, V., & Saulić, N. (2017). The Research of Pedestrian Behaviour Characteristics at Unsignalized Crossings. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 63(1), 13–18.
- Moore, R. L. (1953). Pedestrian Choice and Judgment. *Journal of the Operational Research Society*, 4(1), 3–10. <https://doi.org/10.1057/jors.1953.2>
- NACTO. (2012). *Urban street design guide*. National Association of City Transportation Officials. New York.
- Oxley, J., Fildes, B., Ihsen, E., Charlton, J., & Day, R. (1997). Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 29(6), 839–847. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00053-5)
- Palamarthy, S., Mahmassan, H., & Machemehl, R. (1994). *Models of Pedestrian Crossing Behavior at Signalized Intersections*. Austin.
- Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2015). Pedestrian temporal and spatial gap acceptance at mid-block street crossing in developing world. *Journal of Safety Research*, 52, 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.12.006>
- Pawar, D. S., & Patil, G. R. (2016). Critical gap estimation for pedestrians at uncontrolled mid-block crossings on high-speed arterials. *Safety Science*, 86, 295–303. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.011>
- Petz, B. (1985). *Osnovne statističke metode za nematematičare* (2nd ed.). Zagreb: Udžbenici sveučilišta u Zagrebu.
- Pushkarev, B., & Zupan, J. M. (1975). *Urban space for pedestrians: a report or the regional plan association*. Cambridge (Mass.): MIT press. Retrieved from <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:000660395>
- RaceLogic. (2012). Performance Box. Retrieved August 14, 2019, from https://www.vboxmotorsport.co.uk/downloads/datasheets/RLPBS_Data.pdf
- Rouphail, N., Hummer, J., Milazzo, J., & Allen, P. (1998). *Capacity Analysis of Pedestrian and Bicycle Facilities: Recommended Procedures for the "Bicycles" Chapter of the Highway Capacity Manual*. Georgetown Pike McLean, Virginia, US. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/98108/>
- Savić, M. (2014). *Testiranje statističkih hipoteza - prezentacije sa predavanja*. Subotica. Retrieved from <http://www.ef.uns.ac.rs/Download/statistika/2017-10-16-SOT2-Parametarski-testovi.pdf>

- Siti Naquiyah, M. N., Basil, D. D., Rizati, H., Walid, A. A. B., Munzilah, M. R., Joewono, P., ... Kamarudin, A. (2017). Analysis of Pedestrian Gap Acceptance and Crossing Decision in Kuala Lumpur. In *ISCEE 2016*. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710308014>
- Trafficware LLC. (2017). *Synchro Studio 10 User Guide*. Gillingham, Shugar Land, TX, US: Trafficware, LLC.
- Transportation research board. (2010). *Highway Capacity Manual 2010* (5th ed.). Washington, D.C.: Transportation Research Board of the National Academy of Sciences.
- Transportation research board. (2016a). Two-Way Stop-Controlled Intersections. In *Highway Capacity Manual 6TH Edition - Volume 3: Interrupted Flow*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Transportation research board. (2016b). Urban Street Segments. In *Highway Capacity Manual 6TH Edition - Volume 3: Interrupted Flow*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Várhelyi, A. (1998). Drivers' speed behaviour at a zebra crossing: a case study. *Accident Analysis & Prevention*, 30(6), 731–743. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(98\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(98)00026-8)
- Vlada republike Srbije. Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Pub. L. No. ("Sl. glasnik RS," br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013-odluka US, 55/2014, 96/2015-dr. zakon, 9/2016-odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018-zakon, 87/2018 i 23/2019), 120 (2019). Srbija: Vlada republike Srbije. Retrieved from https://www.paragraf.rs/propisi_download/zakon_o_bezbednosti_saobracaja_na_putevima.pdf
- Vračarević, R. (2001). *Osnove planiranja saobraćaja*. Novi Sad.
- Wang, T., Wu, J., Zheng, P., & McDonald, M. (2010). Study of pedestrians' gap acceptance behavior when they jaywalk outside crossing facilities. In *13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 1295–1300). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2010.5625157>
- Wasserstein, R. L., & Lazar, N. A. (2016). The ASA Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose. *The American Statistician*, 70(2), 129–133. <https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108>
- World Health Organization. (2013). *Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Geneva, Switzerland. Retrieved from http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/79753/9789241505352_eng.pdf;jsessionid=F4A453BE9D1E5D3E8A0F1E599B74245A?sequence=1
- Yannis, G., Eleonora, P., & Athanasios, T. (2010). Pedestrian gap acceptance for mid-block street crossing. In *World Conference on Transport Research Society* (pp. 1–11). Lisbon.
- Zhao, J., & Wu, J. (2004). Analysis of pedestrian behavior with mixed traffic flow at intersection. In *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems* (pp. 323–327). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2003.1251971>

PRILOZI



PRILOG 1: Izvod iz statističke analize karakteristika pešačkih tokova na IPP

PRILOG 2: Izvod iz statističke analize karakteristika vozačkih tokova na IPP

PRILOG 3: Izvod iz statističke analize karakteristika brzina vozila na deonicama gradskih saobraćajnica

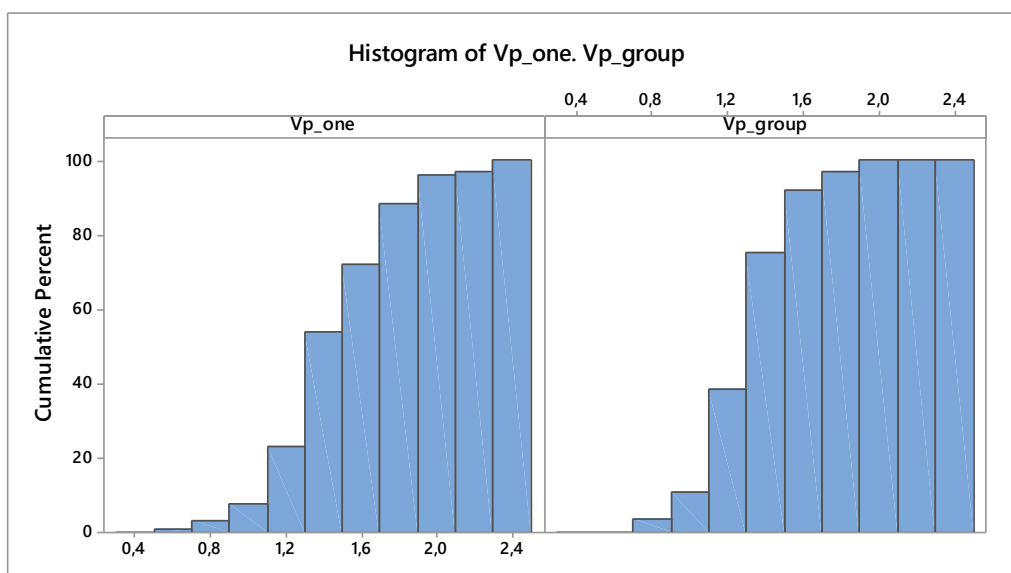
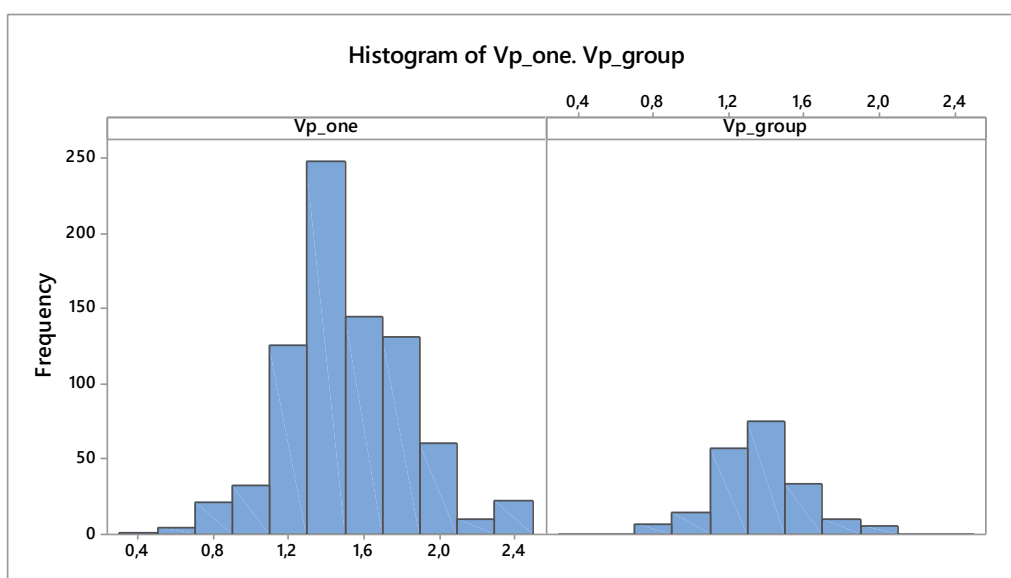
PRILOG 4: Potvrda o kalibraciji RLPBMIC uređaja

PRILOG 1**Izvod iz statističke analize karakteristika
pešačkih tokova na IPP****Descriptive Statistics: Vp_one; Vp_group**

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Vp_one	801	9	1,506	0,0113	0,3205	0,4664	1,3856	1,4136	1,7293	2,4473
Vp_group	204	3	1,363	0,0167	0,2388	0,7778	1,1708	1,3954	1,4923	1,9721

Vp_one - brzina pešaka koji se kreće samostalno

Vp_group - brzina pešaka koji se kreću u grupi



Mann-Whitney Test and CI: Vp_one; Vp_group

	N	Median
Vp_one	801	1,4136
Vp_group	204	1,3954

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is 0,1371
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (0,0926.0,2142)
 W = 426343,5
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000
 The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)

Descriptive Statistics: N_cross. N_ped. N_one. N_group / 5min interval

Location LOK_1

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	12	13,500	0,802	2,780	9,000	11,250	13,500	15,000	19,000
N_ped	12	17,25	1,12	3,89	12,00	14,25	16,00	19,75	24,00
N_one	12	10,500	0,702	2,431	7,000	8,000	10,500	12,000	15,000
N_group	12	3,000	0,348	1,206	1,000	2,000	3,000	3,750	5,000

Location LOK_2

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	12	14,17	1,39	4,80	8,00	10,25	13,50	18,50	22,00
N_ped	12	17,33	1,73	6,01	9,00	12,50	16,00	22,75	28,00
N_one	12	11,67	1,18	4,10	6,00	8,25	11,00	15,75	18,00
N_group	12	2,500	0,337	1,168	1,000	1,250	2,500	3,750	4,000

Location LOK_3

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	12	14,58	1,30	4,50	8,00	11,25	13,50	18,50	22,00
N_ped	12	17,33	1,64	5,68	10,00	13,25	16,50	22,75	28,00
N_one	12	12,08	1,02	3,53	7,00	8,50	11,50	15,00	18,00
N_group	12	2,500	0,452	1,567	1,000	1,000	2,000	3,750	6,000

Location LOK_4

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	6	39,17	2,59	6,34	30,00	33,00	40,50	43,50	48,00
N_ped	6	46,83	2,76	6,77	36,00	41,25	48,00	51,50	56,00
N_one	6	32,33	2,25	5,50	25,00	26,50	33,50	36,25	40,00
N_group	6	6,833	0,401	0,983	5,000	6,500	7,000	7,250	8,000

Location LOK_5

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	4	32,00	2,08	4,16	27,00	28,00	32,00	36,00	37,00
N_ped	4	42,25	2,21	4,43	38,00	38,25	42,00	46,50	47,00
N_one	4	24,25	1,89	3,77	19,00	20,50	25,00	27,25	28,00
N_group	4	7,750	0,629	1,258	6,000	6,500	8,000	8,750	9,000

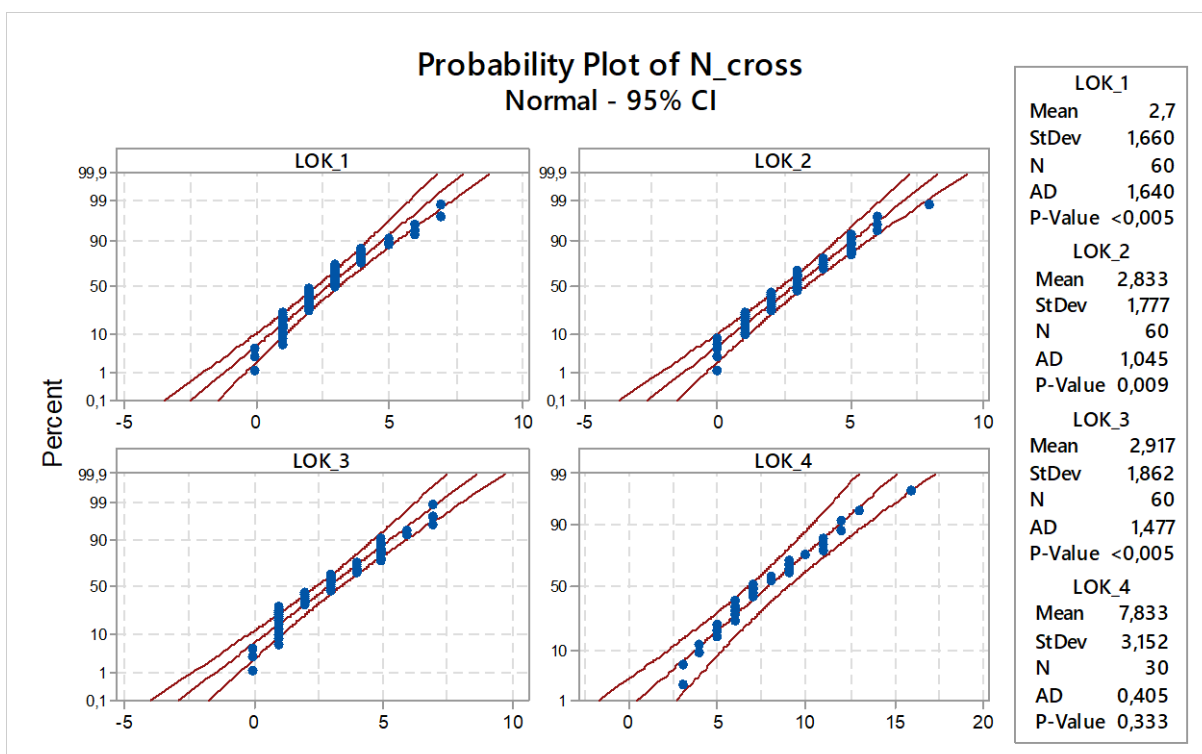
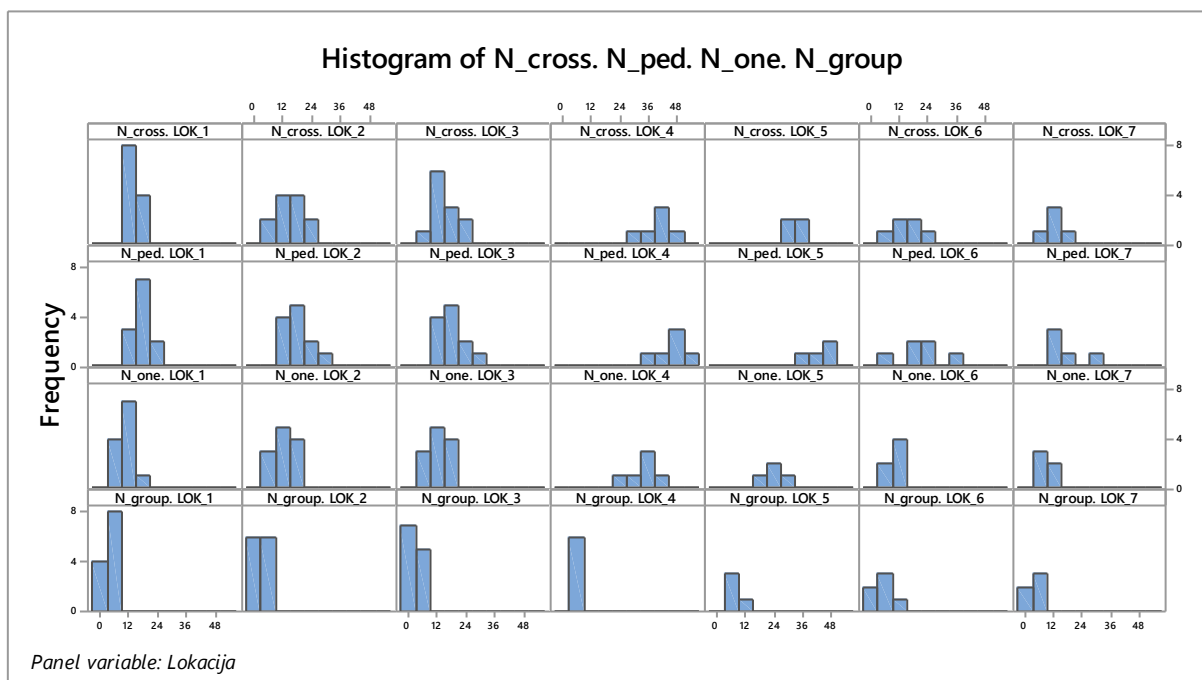
Location LOK_6

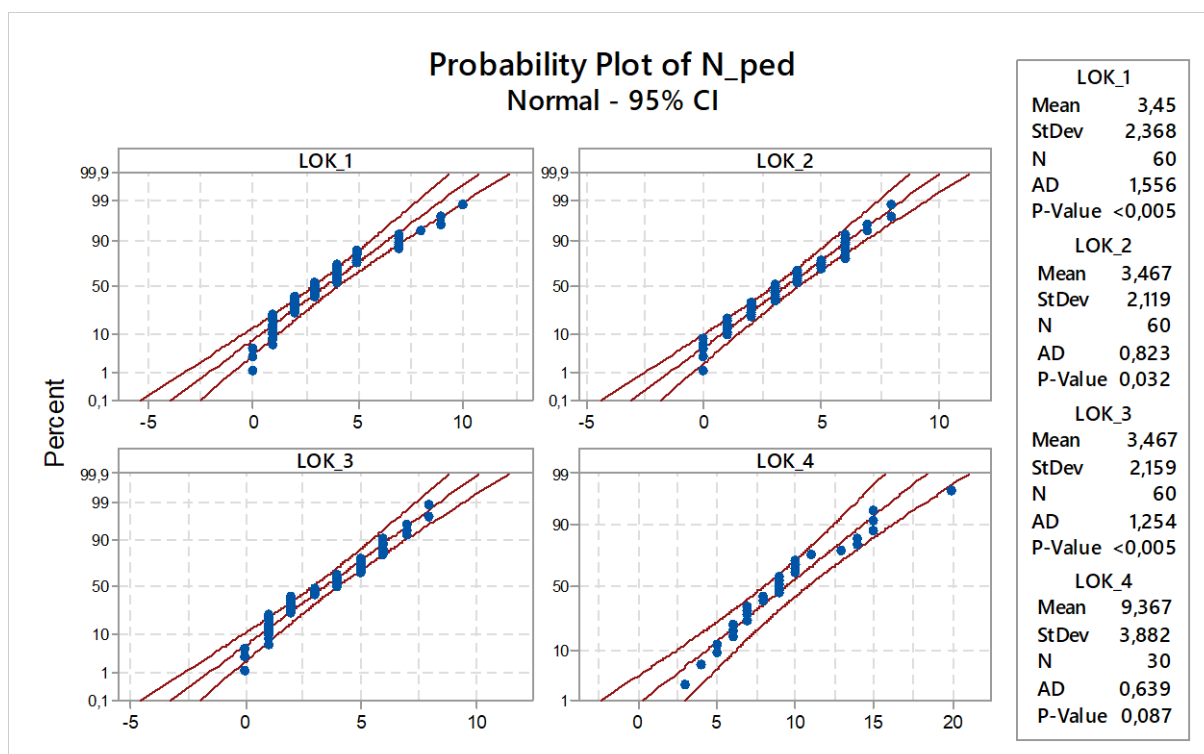
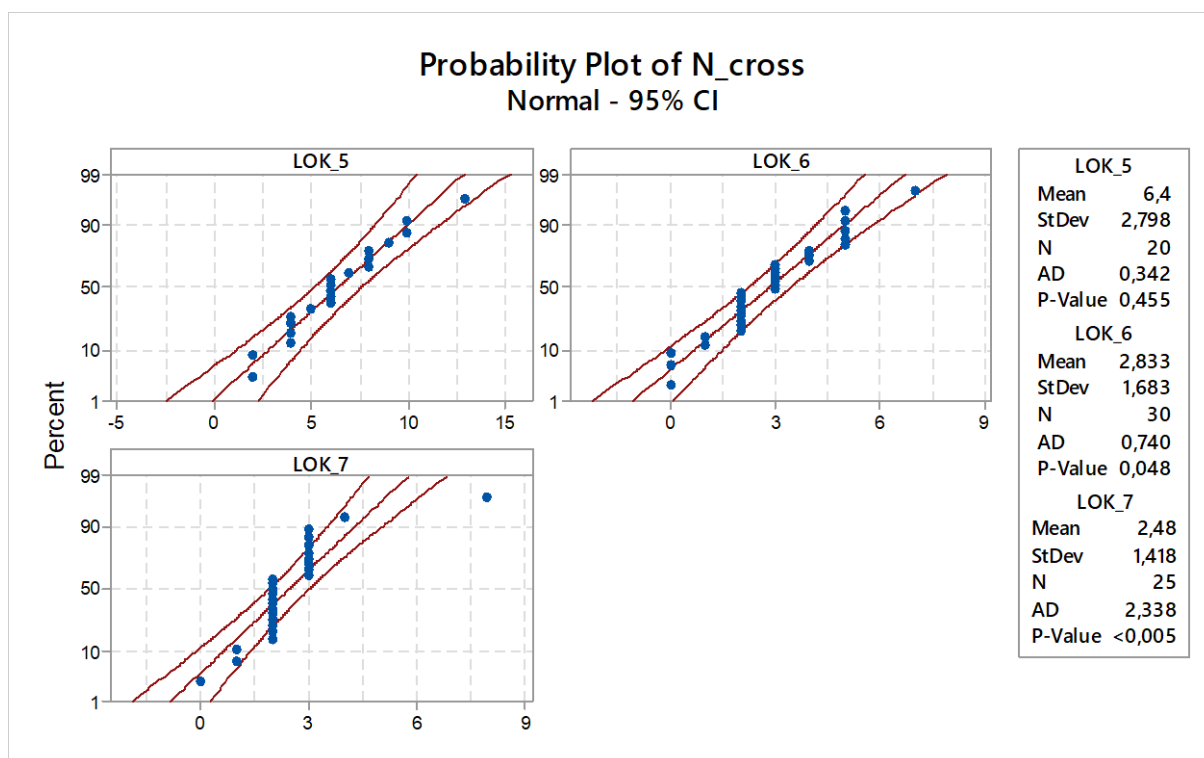
Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	6	14,17	2,29	5,60	7,00	8,50	15,00	18,25	22,00
N_ped	6	19,67	3,51	8,59	8,00	14,00	19,00	25,00	34,00
N_one	6	10,17	1,51	3,71	5,00	5,75	12,00	13,00	13,00
N_group	6	4,00	1,13	2,76	1,00	1,75	4,00	5,25	9,00

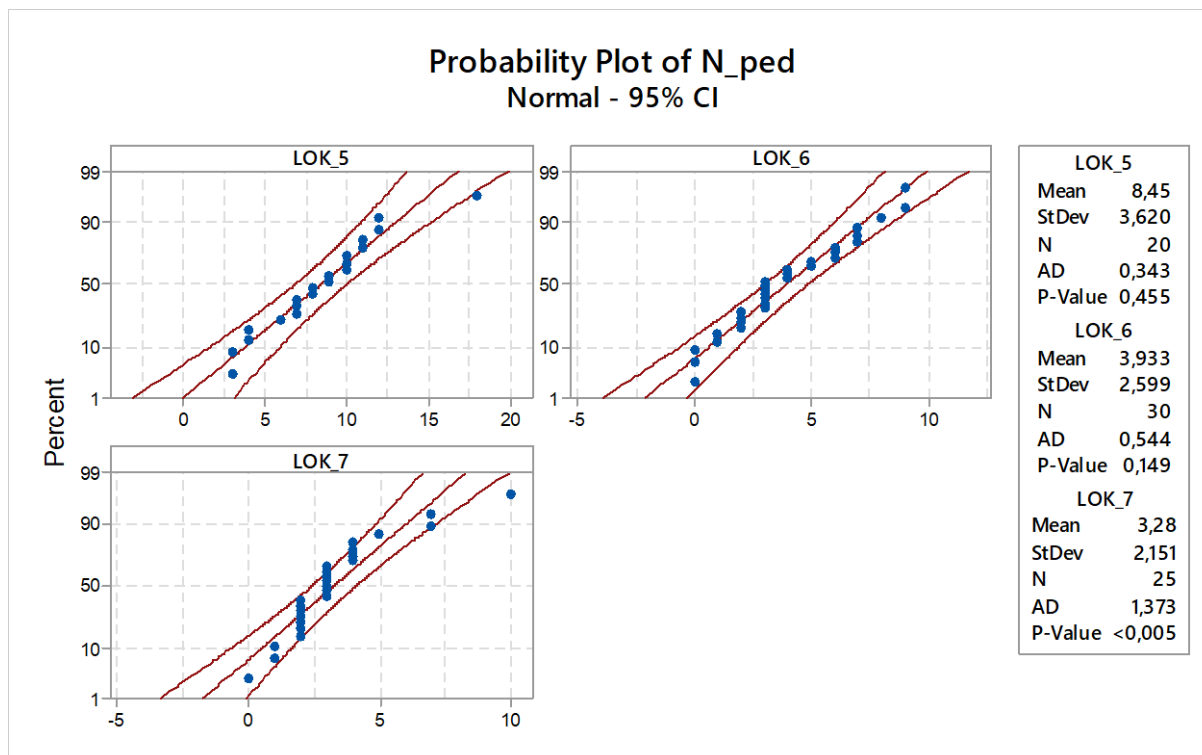
Location LOK_7

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
N_cross	5	12,40	1,83	4,10	8,00	9,50	11,00	16,00	19,00
N_ped	5	16,40	3,26	7,30	10,00	12,00	14,00	22,00	29,00
N_one	5	9,40	1,33	2,97	6,00	7,00	8,00	12,50	13,00
N_group	5	3,000	0,837	1,871	1,000	1,500	3,000	4,500	6,000

N_cross - broj prelazaka preko pešačkog prelaza u 5-minutnom periodu
 N_ped - broj pešaka na pešačkom prelazu u 5-minutnom periodu
 N_one - broj samostalnih prelazaka preko pešačkog prelaza u 5-minutnom periodu
 N_group - broj prelazaka u grupi preko pešačkog prelaza u 5-minutnom periodu







Goodness-of-Fit Test for Poisson Distribution: N_{cross} (1-min sample)

Data column: LOK_1

Poisson mean for LOK_1 = 2,7

LOK_1	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
0	3	0,067206	4,0323	0,264291
1	12	0,181455	10,8873	0,113721
2	15	0,244964	14,6978	0,006212
3	15	0,220468	13,2281	0,237357
4	7	0,148816	8,9289	0,416714
5	3	0,080360	4,8216	0,688218
>=6	5	0,056732	3,4039	0,748417

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	2,47493	0,780

Data column: LOK_2

Poisson mean for LOK_2 = 2,83333

LOK_2	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
0	5	0,058816	3,5290	0,61317
1	10	0,166647	9,9988	0,00000
2	12	0,236083	14,1650	0,33089
3	14	0,222967	13,3780	0,02892
4	7	0,157935	9,4761	0,64700
5	8	0,089497	5,3698	1,28832
>=6	4	0,068055	4,0833	0,00170

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	2,91000	0,714

Data column: LOK_3

Poisson mean for LOK_3 = 2,91667

LOK_3	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
0	3	0,054114	3,2468	0,01876
1	15	0,157832	9,4699	3,22938
2	9	0,230171	13,8103	1,67548
3	12	0,223778	13,4267	0,15159
4	7	0,163171	9,7903	0,79524
5	9	0,095183	5,7110	1,89416
>=6	5	0,075751	4,5450	0,04554

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	7,81016	0,167

Data column: LOK_4

Poisson mean for LOK_4 = 7,83333

LOK_4	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=4	4	0,109580	3,28741	0,15446
5	3	0,097404	2,92213	0,00208
6	5	0,127167	3,81500	0,36808
7	4	0,142306	4,26917	0,01697
8	2	0,139341	4,18023	1,13711
9	4	0,121278	3,63835	0,03595
10	1	0,095001	2,85004	1,20091
11	3	0,067652	2,02957	0,46400
>=12	4	0,100270	3,00809	0,32708

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
30	0	7	3,70664	0,813

Data column: LOK_5

Poisson mean for LOK_5 = 6,4

LOK_5	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=4	6	0,235070	4,70140	0,35869
5	1	0,148674	2,97347	1,30978
6 - 7	6	0,303577	6,07155	0,00084
8 - 9	4	0,198478	3,96956	0,00023
>=10	3	0,114201	2,28402	0,22444

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
20	0	3	1,89399	0,595

Data column: LOK_6

Poisson mean for LOK_6 = 2,83333

LOK_6	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	5	0,225463	6,76389	0,459990
2	9	0,236083	7,08248	0,519150
3	7	0,222967	6,68901	0,014459
4	3	0,157935	4,73805	0,637566
>=5	6	0,157552	4,72656	0,343093

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
30	0	3	1,97426	0,578

Data column: LOK_7

Poisson mean for LOK_7 = 2,48

LOK_7	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
0	1	0,083743	2,09358	0,57123
1	2	0,207683	5,19208	1,96248
2	12	0,257527	6,43818	4,80475
3	8	0,212889	5,32223	1,34727
>=4	2	0,238157	5,95393	2,62576

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
25	0	3	11,3115	0,010

Goodness-of-Fit Test for Poisson Distribution: N_ped (1-min sample)

Data column: LOK_1

Poisson mean for LOK_1 = 3,45

LOK_1	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	14	0,141268	8,4761	3,59997
2	10	0,188926	11,3356	0,15736
3	9	0,217265	13,0359	1,24951
4	12	0,187391	11,2435	0,05090
5	6	0,129300	7,7580	0,39837
6	0	0,074347	4,4608	4,46085
>=7	9	0,061502	3,6901	7,64063

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	17,5576	0,004

Data column: LOK_2

Poisson mean for LOK_2 = 3,46667

LOK_2	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	12	0,139453	8,3672	1,57725
2	9	0,187603	11,2562	0,45223
3	11	0,216786	13,0071	0,30973
4	9	0,187881	11,2729	0,45826
5	6	0,130264	7,8159	0,42187
6	9	0,075264	4,5158	4,45275
>=7	4	0,062749	3,7649	0,01468

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	7,68676	0,174

Data column: LOK_3

Poisson mean for LOK_3 = 3,46667

LOK_3	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	14	0,139453	8,3672	3,79199
2	11	0,187603	11,2562	0,00583
3	5	0,216786	13,0071	4,92917
4	9	0,187881	11,2729	0,45826
5	9	0,130264	7,8159	0,17941
6	7	0,075264	4,5158	1,36656
>=7	5	0,062749	3,7649	0,40516

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
60	0	5	11,1364	0,049

Data column: LOK_4

Poisson mean for LOK_4 = 9,36667

LOK_4	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=5	4	0,095170	2,85511	0,45910
6 - 7	7	0,187564	5,62691	0,33507
8 - 9	7	0,256482	7,69445	0,06268
10 - 11	5	0,226842	6,80526	0,47889
12 - 13	1	0,140104	4,20312	2,44103
>=14	6	0,093839	2,81516	3,60305

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
30	0	4	7,37981	0,117

Data column: LOK_5

Poisson mean for LOK_5 = 8,45

LOK_5	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=6	5	0,261546	5,23092	0,010194
7	3	0,130550	2,61101	0,057953
8 - 9	4	0,267361	5,34722	0,339427
10 - 11	5	0,193438	3,86877	0,330774
>=12	3	0,147104	2,94209	0,001140

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
20	0	3	0,739488	0,864

Data column: LOK_6

Poisson mean for LOK_6 = 3,93333

LOK_6	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	5	0,096586	2,89759	1,52545
2	4	0,151449	4,54347	0,06501
3	7	0,198567	5,95700	0,18262
4	3	0,195257	5,85771	1,39415
5	2	0,153602	4,60807	1,47611
6	3	0,100695	3,02084	0,00014
>=7	6	0,103844	3,11532	2,67112

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
30	0	5	7,31460	0,198

Data column: LOK_7

Poisson mean for LOK_7 = 3,28

LOK_7	Observed	Poisson Probability	Expected	Contribution to Chi-Sq
<=1	3	0,161049	4,02622	0,261569
2	7	0,202410	5,06025	0,743568
3	7	0,221302	5,53254	0,389233
4	4	0,181467	4,53668	0,063488
>=5	4	0,233772	5,84431	0,582015

N	N*	DF	Chi-Sq	P-value
25	0	3	2,03987	0,564

Correlation: N_cross. N_ped , N_lane, Lpc, Wpc, f_dir

Cell Contents: Pearson correlation
P-value

	N_cross	N_ped	Lpc	Wpc	N_lane
N_ped	0,984 0,000				
Lpc	0,748 0,000	0,773 0,000			
Wpc	0,280 0,035	0,248 0,063	0,167 0,214		
N_lane	0,657 0,000	0,690 0,000	0,985 0,000	0,115 0,392	
f_dir	-0,232 0,082	-0,220 0,100	-0,318 0,016	-0,929 0,000	-0,323 0,014

Cell Contents: Spearman rho
P-value

	N_cross	N_ped	Lpc	Wpc	N_lane
N_ped	0,961 0,000				
Lpc	0,562 0,000	0,604 0,000			
Wpc	0,208 0,120	0,139 0,302	0,094 0,489		
N_lane	0,499 0,000	0,552 0,000	0,987 0,000	0,026 0,847	
f_dir	-0,172 0,202	-0,140 0,298	-0,319 0,016	-0,863 0,000	-0,323 0,014

Lpc - dužina pešačkog prelaza izražena u metrima
Wpc - širina pešačkog prelaza izražena u metrima
N_lane - broj saobraćajnih traka za motorna vozila koje preseca IPP
f_dir - faktor tipa saobraćajnice po smeru kretanja motornih vozila
(za jednosmerne: f_dir=1; za dvosmerne: f_dir=2)

Regression Analysis: N_cross versus N_ped. Lpc. N_lane

Method

Box-Cox transformation

Rounded λ 0,5
Estimated λ 0,669928
95% CI for λ (0,462428. 0,857428)

Analysis of Variance for Transformed Response

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Regression	3	59,2146	19,7382	525,66	0,000
N_ped	1	15,0318	15,0318	400,32	0,000
Lpc (m)	1	0,0005	0,0005	0,01	0,912
N_lane	1	0,0126	0,0126	0,34	0,565
Error	53	1,9901	0,0375		
Lack-of-Fit	26	1,4481	0,0557	2,77	0,005
Pure Error	27	0,5420	0,0201		
Total	56	61,2047			

Model Summary for Transformed Response

S 0,193777
R-sq 96,75%
R-sq(adj) 96,56%
R-sq(pred) 96,05%

Coefficients for Transformed Response

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-value	VIF
Constant	2,492	0,505	4,93	0,000	
N_ped	0,09034	0,00452	20,01	0,000	4,40
Lpc (m)	0,023	0,203	0,11	0,912	79,01
N_lane	-0,258	0,445	-0,58	0,565	60,72

Regression Equation

$$N_cross^{0,5} = 2,492 + 0,09034 N_ped + 0,023 Lpc (m) - 0,258 N_lane$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Original Response

Obs	N_cross	Fit
47	7,000	6,991
50	9,000	11,335
51	22,000	24,929
55	19,000	22,600

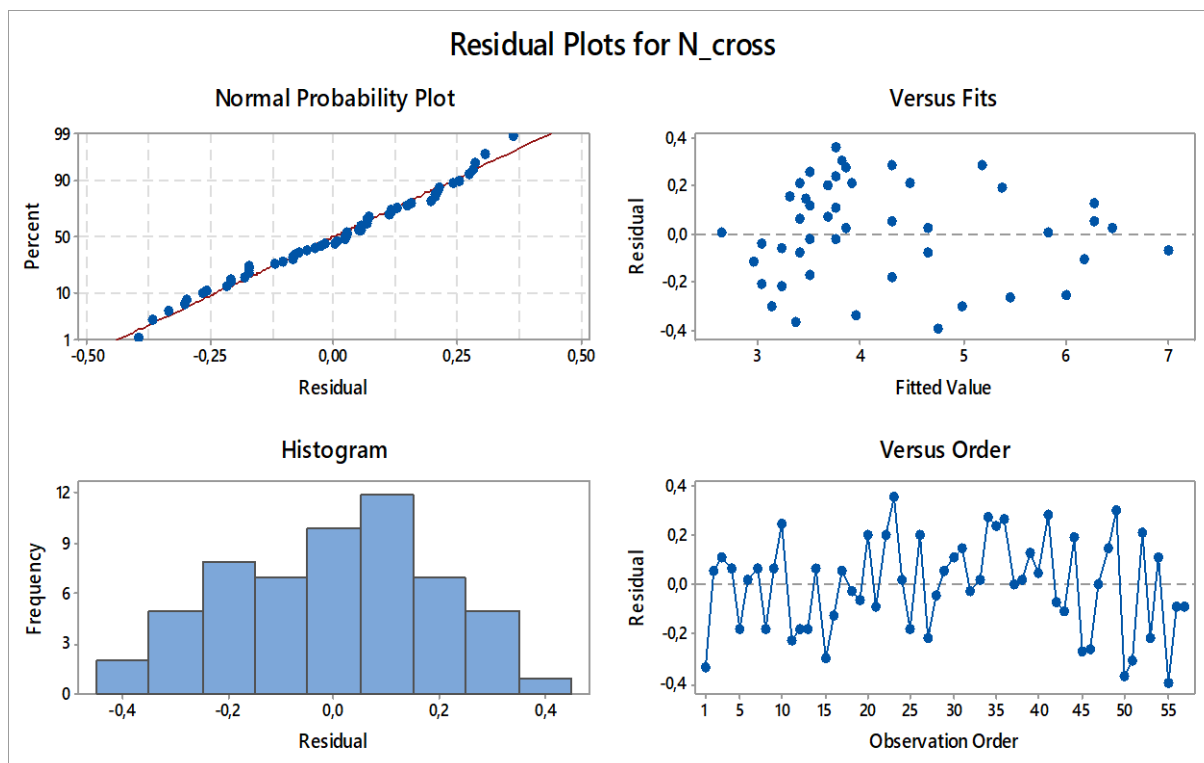
Transformed Response

Obs	N_cross'	Fit	Resid	Std Resid	
47	2,6458	2,6440	0,0017	0,01	X
50	3,0000	3,3667	-0,3667	-2,08	R
51	4,6904	4,9929	-0,3025	-1,84	X
55	4,3589	4,7539	-0,3950	-2,15	R

N_cross' = transformed response

R Large residual

X Unusual X



Test of Regression Equation: Empirical versus model predicted value Wilcoxon Signed Rank Test

LOK_8/1 versus LOK_8/1_pred

Test of median = 18,00 versus median \neq 18,00

	N for	Wilcoxon	Estimated		
	N	Test	Statistic	P	Median
LOK_8/1_pred	12	12	33,0	0,666	17,26

LOK_8/2 versus LOK_8/2_pred

Test of median = 17,50 versus median \neq 17,50

	N for	Wilcoxon	Estimated		
	N	Test	Statistic	P	Median
LOK_8/2_pred	12	12	44,0	0,724	17,86

LOK_9/1 versus LOK_9/1_pred

Test of median = 8,000 versus median \neq 8,000

	N for	Wilcoxon	Estimated		
	N	Test	Statistic	P	Median
LOK_9/1_pred	12	12	53,0	0,290	9,127

LOK_9/2 versus LOK_9/2_pred

Test of median = 12,50 versus median \neq 12,50

	N for	Wilcoxon	Estimated		
	N	Test	Statistic	P	Median
LOK_9/2_pred	12	12	33,0	0,666	12,11

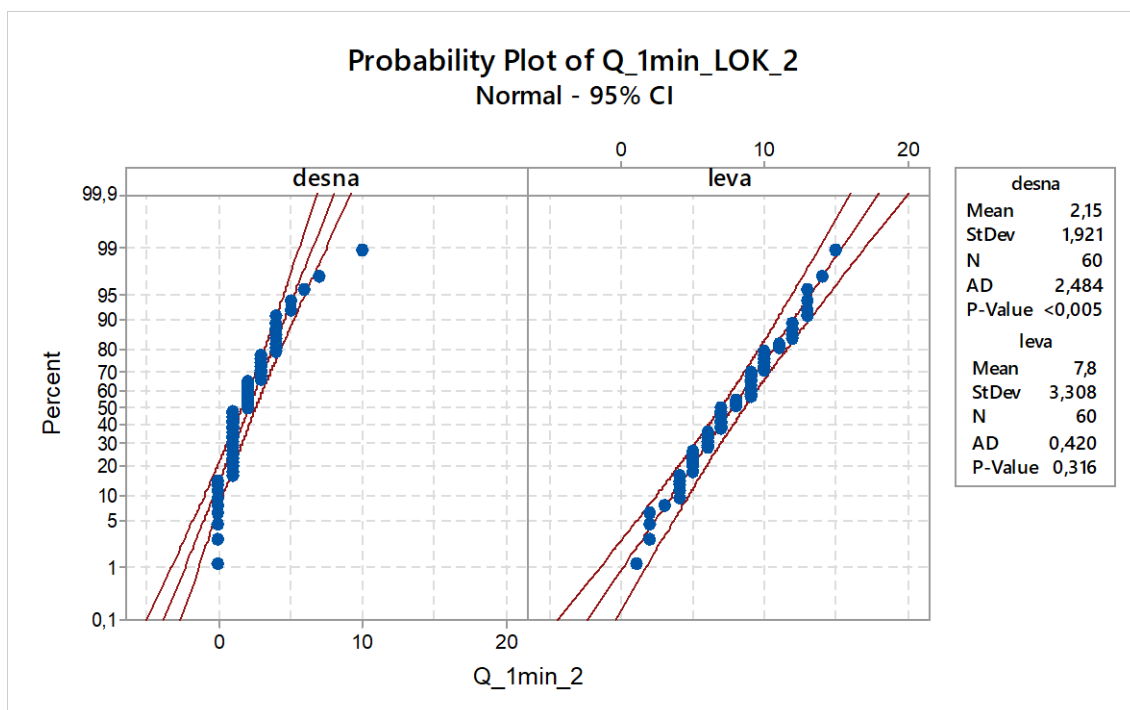
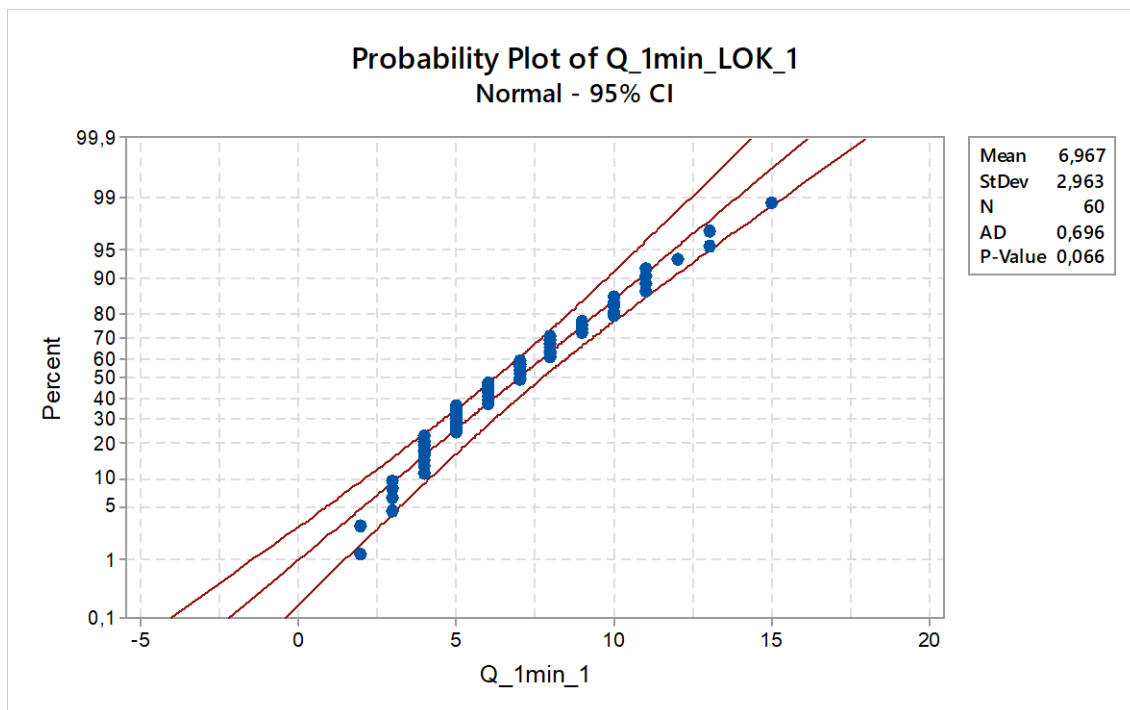
PRILOG 2

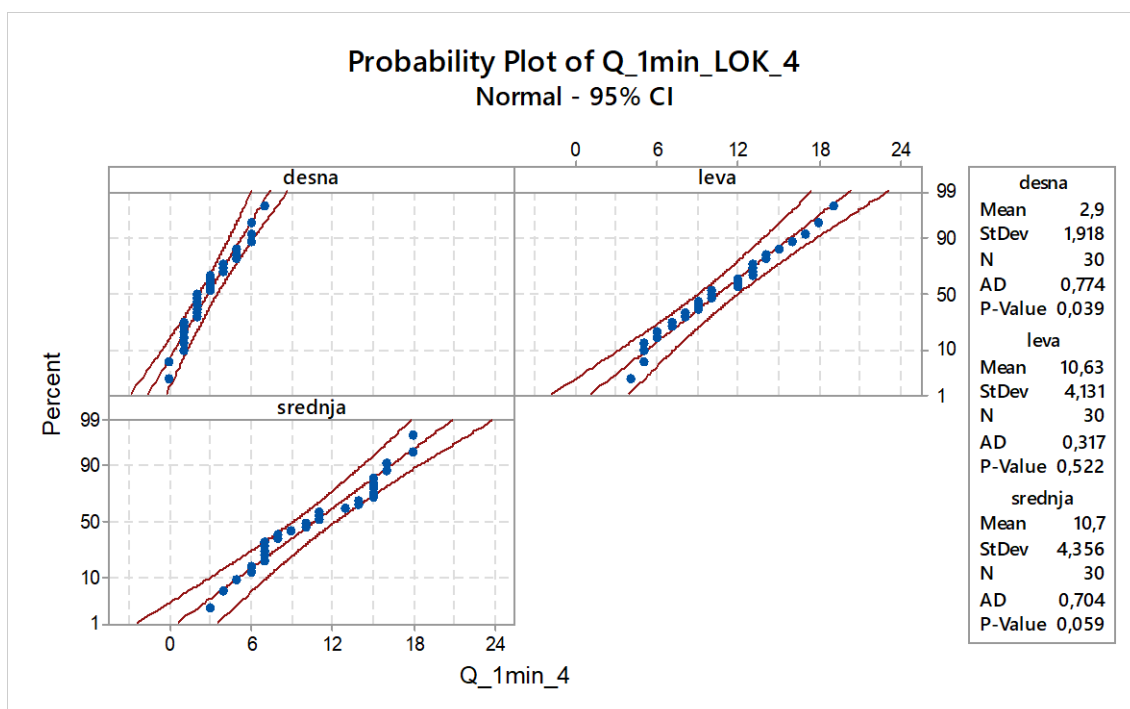
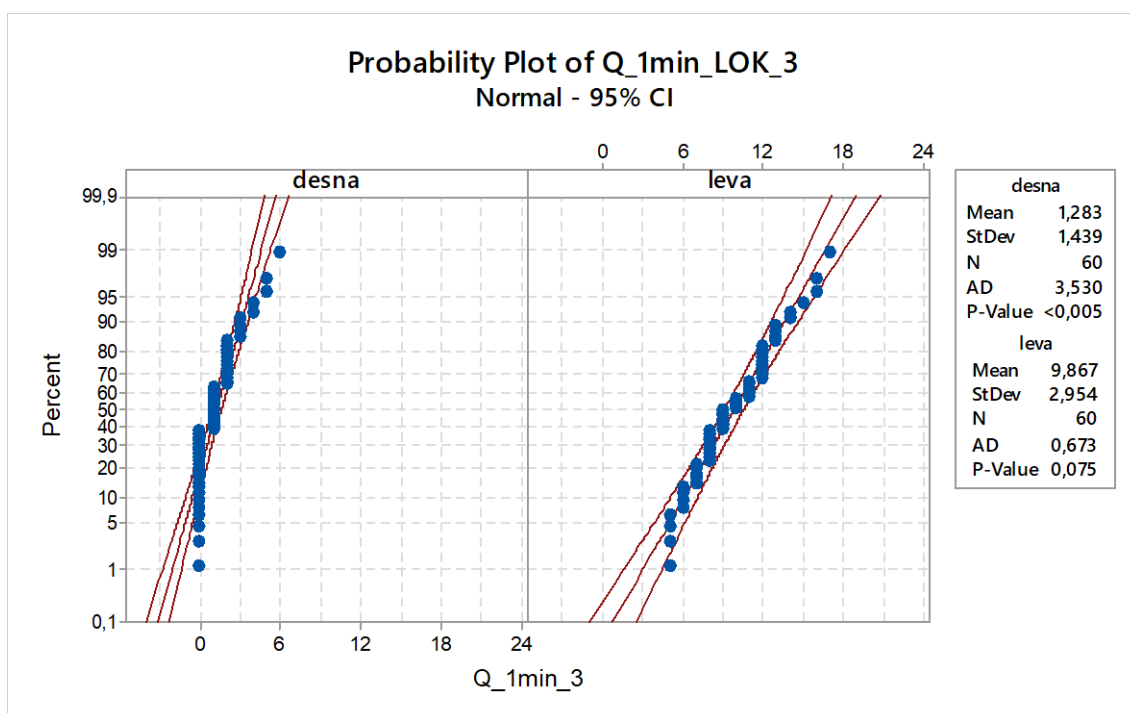
Izvod iz statističke analize karakteristika vozačkih tokova na IPP

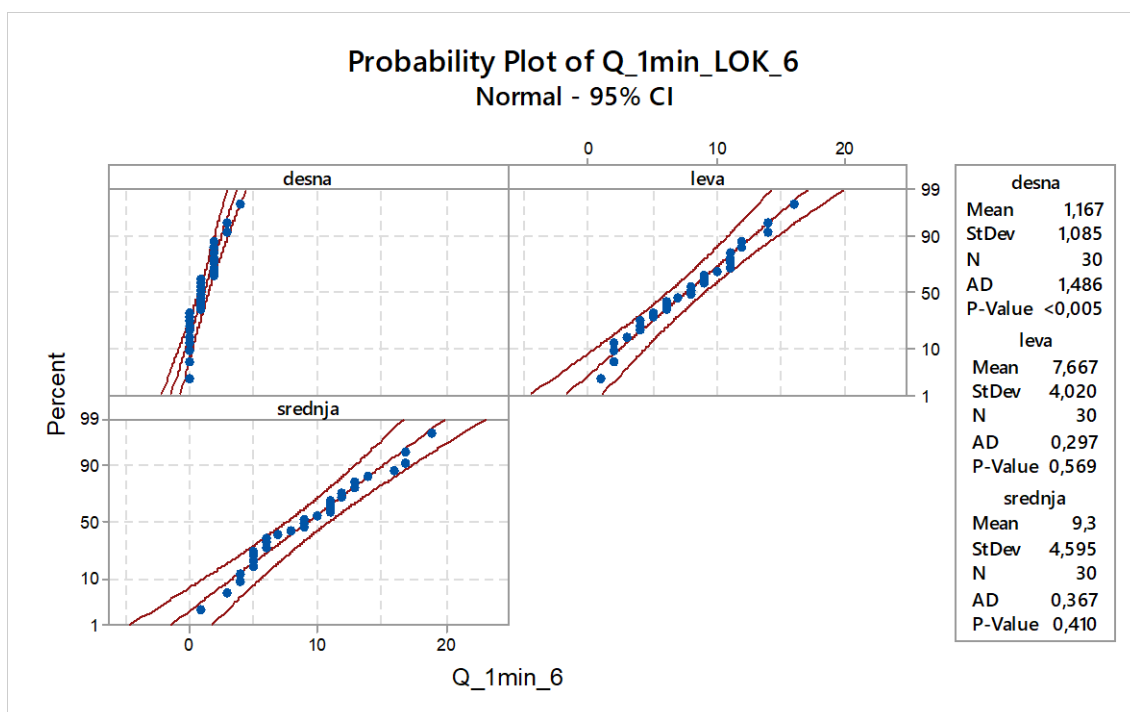
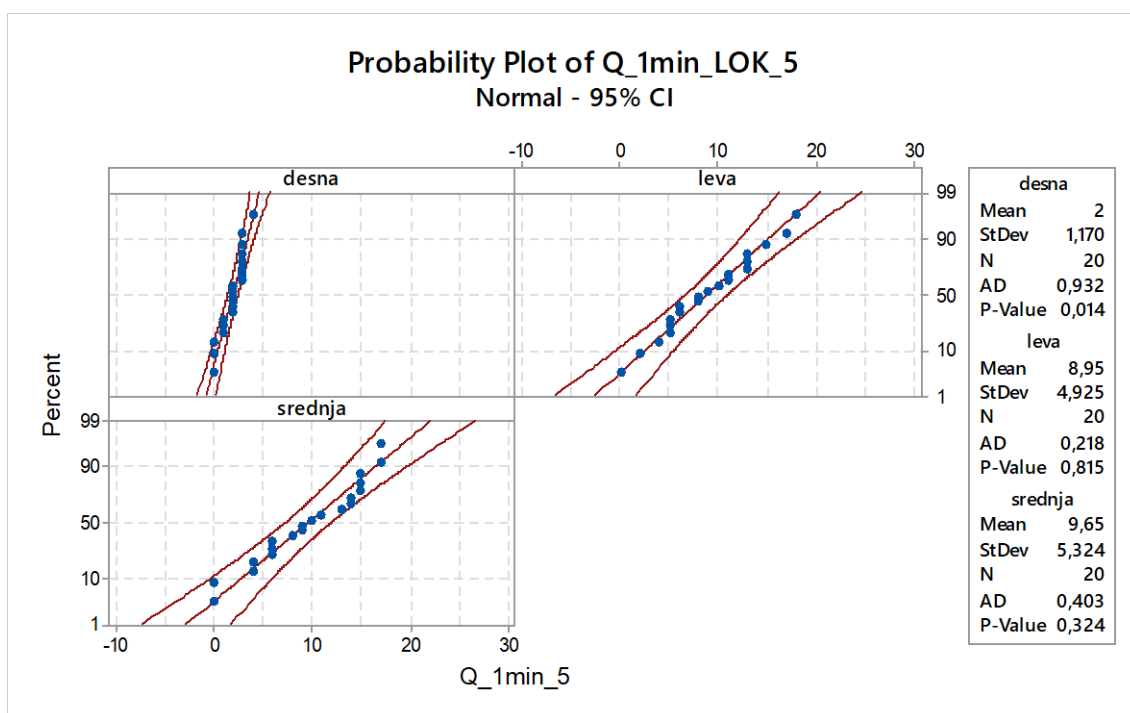
Descriptive Statistics: Q_5min /tr

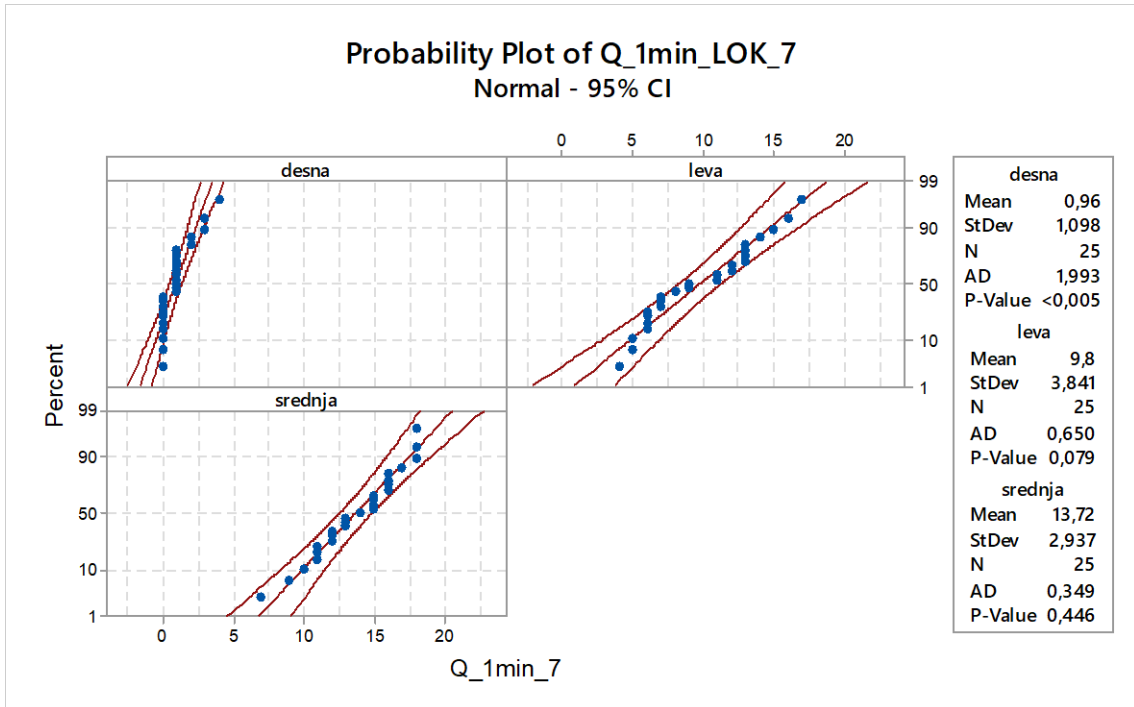
Location LOK_1										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	12	34,83	2,26	7,84	21,00	29,50	34,00	40,25	48,00
Location LOK_2										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	12	10,75	1,22	4,22	4,00	6,75	11,00	13,50	19,00
	leva tr.	12	39,00	2,59	8,96	27,00	31,50	37,00	45,25	56,00
Location LOK_3										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	12	6,42	1,44	5,00	0,00	2,25	6,50	10,50	17,00
	leva tr.	12	49,33	2,23	7,74	35,00	45,00	49,50	54,75	63,00
Location LOK_4										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	6	14,50	0,95	2,34	11,00	12,50	15,00	15,75	18,00
	leva tr.	6	53,17	2,47	6,05	47,00	47,00	53,00	57,75	63,00
	srednja tr.	6	53,50	2,86	7,01	47,00	49,25	51,50	57,25	67,00
Location LOK_5										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	4	10,00	1,87	3,74	6,00	6,75	9,50	13,75	15,00
	leva tr.	4	44,75	7,36	14,73	32,00	32,25	42,50	59,50	62,00
	srednja tr.	4	48,25	5,57	11,15	35,00	37,75	48,00	59,00	62,00
Location LOK_6										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	6	5,833	0,703	1,722	4,000	4,000	6,000	7,250	8,000
	leva tr.	6	38,33	2,72	6,65	28,00	34,00	37,50	45,25	46,00
	srednja tr.	6	46,50	2,62	6,41	41,00	43,25	44,00	50,00	59,00
Location LOK_7										
Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Q_5min	desna tr.	5	4,80	1,24	2,77	1,00	2,50	4,00	7,50	8,00
	leva tr.	5	49,00	1,52	3,39	45,00	46,00	48,00	52,50	53,00
	srednja tr.	5	68,60	2,54	5,68	64,00	64,50	65,00	74,50	77,00

Q_5min - izbrojan protok vozila u petominutnom interval izražen u vozilima









Descriptive Statistics: th_veh /tr

Location LOK_1

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	12	9,050	0,657	2,275	6,300	7,325	9,100	10,100	14,600

Location LOK_2

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	12	33,62	5,95	20,61	15,20	21,05	27,35	38,95	91,80
	leva tr.	12	8,058	0,497	1,721	5,900	6,250	8,000	9,475	10,800

Location LOK_3

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	12	70,3	25,8	89,3	0,0	28,8	42,0	84,6	338,0
	leva tr.	12	6,242	0,312	1,080	4,600	5,550	6,000	6,600	8,300

Location LOK_4

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	6	20,57	1,16	2,85	16,10	17,90	21,05	23,27	23,50
	leva tr.	6	5,683	0,260	0,637	4,800	5,175	5,700	6,100	6,700
	srednja tr.	6	5,650	0,275	0,675	4,400	5,225	5,800	6,150	6,300

Location LOK_5

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	4	30,33	6,56	13,12	19,20	19,52	27,55	43,90	47,00
	leva tr.	4	6,650	0,953	1,905	4,700	5,000	6,350	8,600	9,200
	srednja tr.	4	5,600	0,449	0,898	4,700	4,775	5,550	6,475	6,600

Location LOK_6

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	6	49,98	9,39	23,01	29,80	33,63	41,20	69,20	90,80
	leva tr.	6	8,067	0,548	1,341	6,700	6,925	7,950	8,900	10,400
	srednja tr.	6	6,533	0,253	0,619	5,400	6,150	6,650	7,025	7,100

Location LOK_7

Variable	TRAKA	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
th_veh	desna tr.	5	69,3	15,2	33,9	34,6	37,0	75,5	98,3	118,0
	leva tr.	5	6,140	0,169	0,378	5,700	5,750	6,300	6,450	6,600
	srednja tr.	5	4,400	0,152	0,339	3,900	4,050	4,600	4,650	4,700

th_veh - prosečan vremenski interval sleđenja vozila u petominutnom intervalu

Correlation: N_stops, Q_5min, KV(%), th_veh, N_cross, Yr, Opc

Cell Contents: Pearson correlation

	P-value						
	N_stops	Q_5min	KV(%)	th_veh	N_cross	Yr	Opc (s)
Q_5min	0,522 0,000						
KV(%)	-0,009 0,918	0,356 0,000					
th_veh	-0,254 0,005	-0,558 0,000	-0,306 0,001				
N_cross	0,671 0,000	0,130 0,150	-0,073 0,423	-0,105 0,249			
Yr	0,015 0,868	-0,618 0,000	-0,857 0,000	0,397 0,000	0,334 0,000		
Opc (s)	0,481 0,000	0,193 0,033	-0,199 0,027	-0,122 0,179	0,625 0,000	0,264 0,003	
Q_5min*Yr	0,668 0,000	0,927 0,000	0,089 0,326	-0,538 0,000	0,334 0,000	-0,318 0,000	0,340 0,000

Cell Contents: Spearman rho

	P-value						
	N_stops	Q_5min	KV(%)	th_veh	N_cross	Yr	Opc (s)
Q_5min	0,645 0,000						
KV(%)	0,251 0,005	0,443 0,000					
th_veh	-0,624 0,000	-0,930 0,000	-0,373 0,000				
N_cross	0,498 0,000	0,121 0,183	-0,012 0,895	-0,162 0,073			
Yr	-0,226 0,012	-0,648 0,000	-0,841 0,000	0,568 0,000	0,317 0,000		
Opc (s)	0,446 0,000	0,213 0,018	-0,123 0,174	-0,238 0,008	0,562 0,000	0,242 0,007	
Q_5min*Yr	0,683 0,000	0,937 0,000	0,263 0,003	-0,893 0,000	0,273 0,002	-0,447 0,000	0,345 0,000

N_stops - broj zautavljenih vozila ispred IPP u petominutnom intervalu

N_cross - broj prelazaka pešaka u petominutnom intervalu

Q_5min - prosečan petominutni protok vozila izražen u PAJ jedinicama,

KV(%) - procenat komercijalnih vozila u toku

th_veh - prosečan vremenski interval sleđenja vozila u petominutnom intervalu

Yr - stepen propuštanja pešaka

Opc - zauzetost pešačkog prelaza izražena u sekundama

Regression Analysis: N_stops versus f(Q_5min; Yr; N_cross)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Regression	1	4904,8	4904,85	948,09	0,000
f(N_cross;Q_5min;Yr)	1	4904,8	4904,85	948,09	0,000
Error	122	631,2	5,17		
Total	123	5536,0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,27451	88,60%	88,51%	87,91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-value	VIF
f(N_cross;Q_5min;Yr)	1,0769	0,0350	30,79	0,000	1,00

f(N_cross;Q_5min;Yr) = (Q_5min*Yr)^2 / (N_cross+Q_5min*Yr+EXP(104/N_cross))

Regression Equation

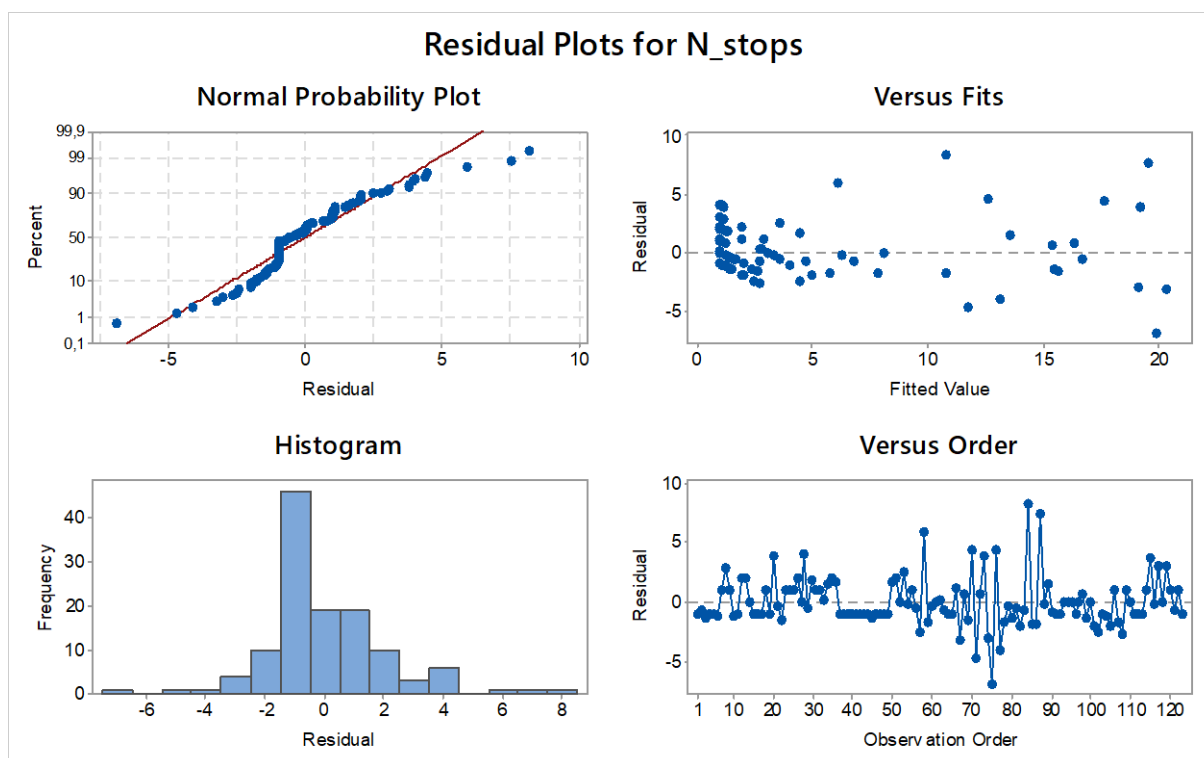
$$N_stops = 1,0769 * (Q_5min * Yr)^2 / (N_cross + Q_5min * Yr + EXP(104 / N_cross))$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	N_stops	Fit	Resid	Std Resid	
20	5,000	0,129	4,871	2,14	R
28	5,000	0,001	4,999	2,20	R
58	12,000	5,565	6,435	2,84	R
67	17,000	20,811	-3,811	-1,75	X
68	16,000	15,562	0,438	0,20	X
69	14,000	15,656	-1,656	-0,75	X
70	17,000	12,530	4,470	2,00	X
71	7,000	11,604	-4,604	-2,05	R X
72	17,000	16,565	0,435	0,20	X
73	23,000	19,659	3,341	1,53	X
74	16,000	19,517	-3,517	-1,61	X
75	13,000	20,410	-7,410	-3,41	R X
76	22,000	17,955	4,045	1,84	X
77	9,000	13,106	-4,106	-1,84	X
78	14,000	15,842	-1,842	-0,83	X
83	16,000	16,972	-0,972	-0,44	X
84	19,000	10,618	8,382	3,73	R
87	27,000	20,005	6,995	3,21	R X
89	15,000	13,558	1,442	0,65	X
115	5,000	0,266	4,734	2,08	R

R Large residual

X Unusual X



Descriptive Statistics: D*_veh

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D*_veh	462	12,644	0,223	4,802	6,280	9,300	11,292	14,338	34,268

Variab.	Lok	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D*_veh	LOK_1	12	11,30	1,25	4,34	7,31	8,53	10,30	12,83	23,29
	LOK_2	54	10,227	0,325	2,386	7,232	8,319	10,250	12,221	16,316
	LOK_3	35	10,748	0,399	2,358	7,224	8,316	11,268	12,276	16,356
	LOK_4	201	13,912	0,397	5,633	6,300	9,361	11,352	18,270	34,268
	LOK_5	110	13,476	0,412	4,320	7,276	10,296	12,326	15,575	28,296
	LOK_6	17	10,051	0,717	2,955	6,280	7,806	9,308	12,270	17,296
	LOK_7	33	9,941	0,429	2,465	6,380	8,312	9,333	11,268	18,256

Variab.	PIQ	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D*_veh	1	206	10,392	0,195	2,801	6,280	8,287	10,254	11,574	22,292
	2	126	11,814	0,297	3,333	7,316	9,308	11,264	13,289	25,296
	3	64	14,724	0,584	4,672	8,320	11,247	12,818	18,313	28,296
	4	37	18,079	0,838	5,099	11,280	13,258	18,316	21,356	29,296
	5	17	20,13	1,34	5,52	8,32	15,76	20,36	25,28	28,29
	6	9	22,42	2,13	6,39	15,32	16,32	20,36	27,28	34,27
	7	3	18,98	3,52	6,10	12,32	12,32	20,33	24,29	24,29

D*_veh - ukupni vremenski gubitak zaustavljenog vozila (D1+D2+D3)
 PIQ - pozicija vozila u redu čekanja

Descriptive Statistics: D2*_veh

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D2*_veh	462	7,344	0,223	4,802	0,980	4,000	5,992	9,038	28,968

Variab.	Lok.	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D2*_veh	LOK_1	12	6,00	1,25	4,34	2,01	3,23	5,00	7,53	17,99
	LOK_2	54	4,927	0,325	2,386	1,932	3,019	4,950	6,921	11,016
	LOK_3	35	5,448	0,399	2,358	1,924	3,016	5,968	6,976	11,056
	LOK_4	201	8,612	0,397	5,633	1,000	4,061	6,052	12,970	28,968
	LOK_5	110	8,176	0,412	4,320	1,976	4,996	7,026	10,275	22,996
	LOK_6	17	4,751	0,717	2,955	0,980	2,506	4,008	6,970	11,996
	LOK_7	33	4,641	0,429	2,465	1,080	3,012	4,033	5,968	12,956

Variable	PIQ	N	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
D2*_veh	1	206	5,092	0,195	2,801	0,980	2,987	4,954	6,274	16,992
	2	126	6,514	0,297	3,333	2,016	4,008	5,964	7,989	19,996
	3	64	9,424	0,584	4,672	3,020	5,947	7,518	13,013	22,996
	4	37	12,779	0,838	5,099	5,980	7,958	13,016	16,056	23,996
	5	17	14,83	1,34	5,52	3,02	10,46	15,06	19,98	22,99
	6	9	17,12	2,13	6,39	10,02	11,02	15,06	21,98	28,97
	7	3	13,68	3,52	6,10	7,02	7,02	15,03	18,99	18,99

D2*_veh - ukupno vreme čistog čekanja zaustavljenog vozila

Correlation: D2_veh; N_stops; Q_5min; KV(%); th_veh; Yr; Opc (s); N_lane

Cell Contents: Pearson correlation
P-value

	D2_veh	N_stops	Q_5min	KV(%)	th_veh	Yr	Opc
N_stops	0,946 0,000						
Q_5min	0,354 0,001	0,421 0,000					
KV(%)	-0,188 0,087	-0,174 0,114	0,172 0,118				
th_veh	-0,245 0,025	-0,282 0,009	-0,723 0,000	-0,278 0,010			
Yr	0,230 0,035	0,189 0,086	-0,531 0,000	-0,820 0,000	0,423 0,000		
Opc	0,496 0,000	0,487 0,000	0,061 0,583	-0,322 0,003	0,001 0,993	0,426 0,000	
N_lane	0,378 0,000	0,370 0,001	0,073 0,510	-0,328 0,002	0,040 0,715	0,361 0,001	0,973 0,000

Cell Contents: Spearman rho
P-value

	D2_veh	N_stops	Q_5min	KV(%)	th_veh	Yr	Opc (s)	N_lane
N_stops	0,936 0,000							
Q_5min	0,341 0,002	0,438 0,000						
KV(%)	-0,016 0,888	-0,033 0,768	0,160 0,147					
th_veh	-0,372 0,000	-0,479 0,000	-0,951 0,000	-0,089 0,419				
Yr	0,136 0,217	0,092 0,404	-0,504 0,000	-0,777 0,000	0,431 0,000			
Opc (s)	0,495 0,000	0,475 0,000	0,097 0,382	-0,262 0,016	-0,175 0,112	0,461 0,000		
N_lane	0,294 0,007	0,286 0,008	0,115 0,297	-0,285 0,009	-0,183 0,096	0,348 0,001	0,913 0,000	

Regression Analysis: D2_veh versus f(N_stops; Opc; N_lane)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-value
Regression	1	372632	372632	948,22	0,000
N_stops*Opc/N_lane	1	372632	372632	948,22	0,000
Error	83	32618	393		
Lack-of-Fit	29	26751	922	8,49	0,000
Pure Error	54	5867	109		
Total	84	405250			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
19,8238	91,95%	91,85%	91,09%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-value	VIF
N_stops*Opc/N_lane	3,520	0,114	30,79	0,000	1,00

Regression Equation

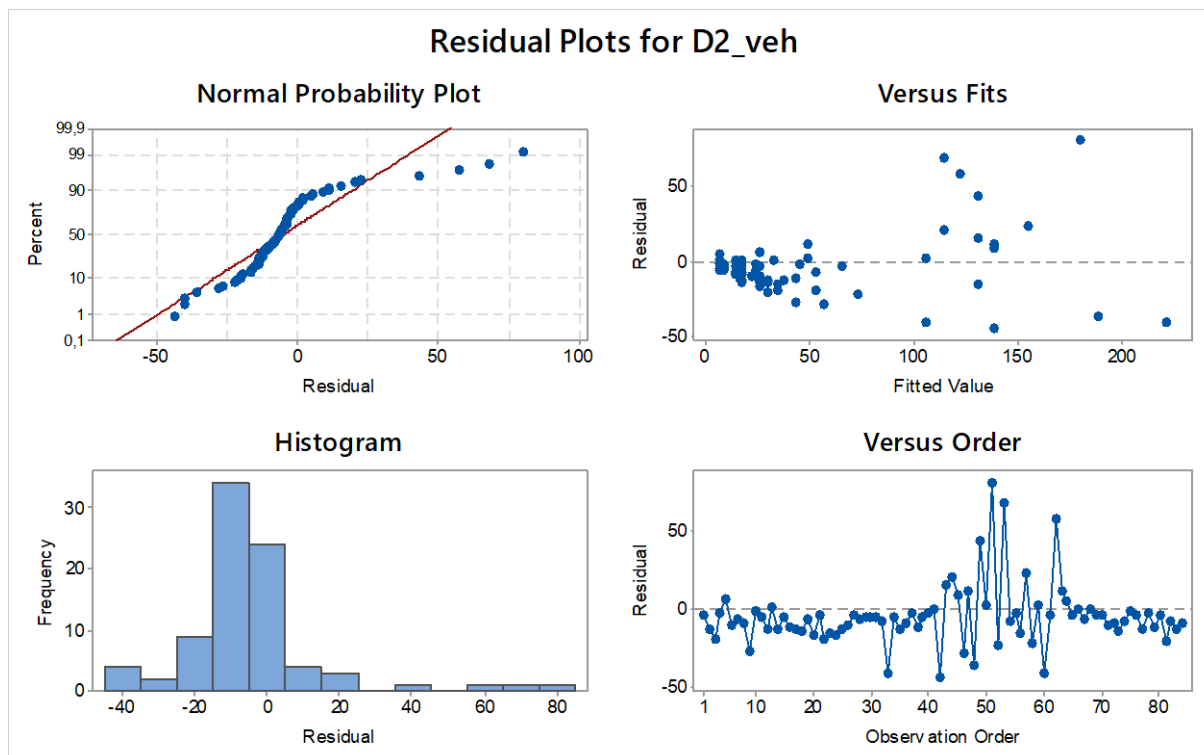
D2_veh = 3,520*N_stops*Opc/N_lane

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	D2_veh	Fit	Resid	Std Resid		
33	65,17	105,59	-40,42	-2,07	R	
42	94,89	138,90	-44,01	-2,28	R	X
43	146,00	130,73	15,27	0,79		X
45	147,82	138,90	8,92	0,46		X
47	150,15	138,90	11,25	0,58		X
48	151,77	187,92	-36,15	-1,92		X
49	174,00	130,73	43,27	2,23	R	X
51	260,11	179,75	80,36	4,24	R	X
53	182,08	114,39	67,69	3,48	R	
56	114,88	130,73	-15,85	-0,82		X
57	177,56	155,24	22,32	1,16		X
60	180,07	220,60	-40,53	-2,19	R	X
62	179,94	122,56	57,39	2,95	R	X

R Large residual

X Unusual X



Mann-Whitney Test and CI: St_seg empirical. St_seg MODEL

Mann-Whitney Test and CI: St_seg empirical vs. St_seg MODEL*

	N	Median
St_seg empirical	18	23,75
St_seg MODEL*	18	24,50

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0,75
 95,2 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-6,30.5,10)
 W = 321,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,7160
 The test is significant at 0,7159 (adjusted for ties)

Mann-Whitney Test and CI: St_seg empirical vs. St_seg MODEL

	N	Median
St_seg empirical	18	23,75
St_seg MODEL	18	24,75

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -0,90
 95,2 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-6,40.5,00)
 W = 317,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,6239
 The test is significant at 0,6238 (adjusted for ties)

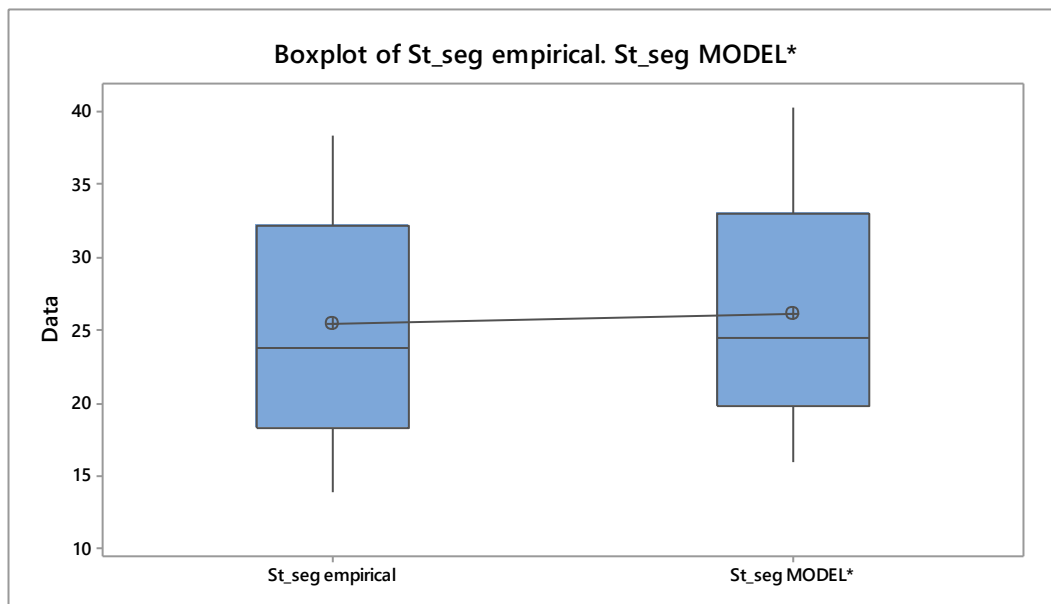
Two-Sample T-Test and CI: St_seg empirical. St_seg MODEL

Two-sample T for St_seg empirical vs St_seg MODEL*

	N	Mean	StDev	SE Mean
St_seg empirical	18	25,40	8,00	1,9
St_seg MODEL*	18	26,11	7,99	1,9

Difference = μ (St_seg empirical) - μ (St_seg MODEL*)
 Estimate for difference: -0,71
 95% CI for difference: (-6,13. 4,71)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,27 P-value = 0,791 DF = 33

St_seg MODEL* - brzina vozila sa konstantnim vrednostima vremenskih gubitaka D1_veh i D3_veh

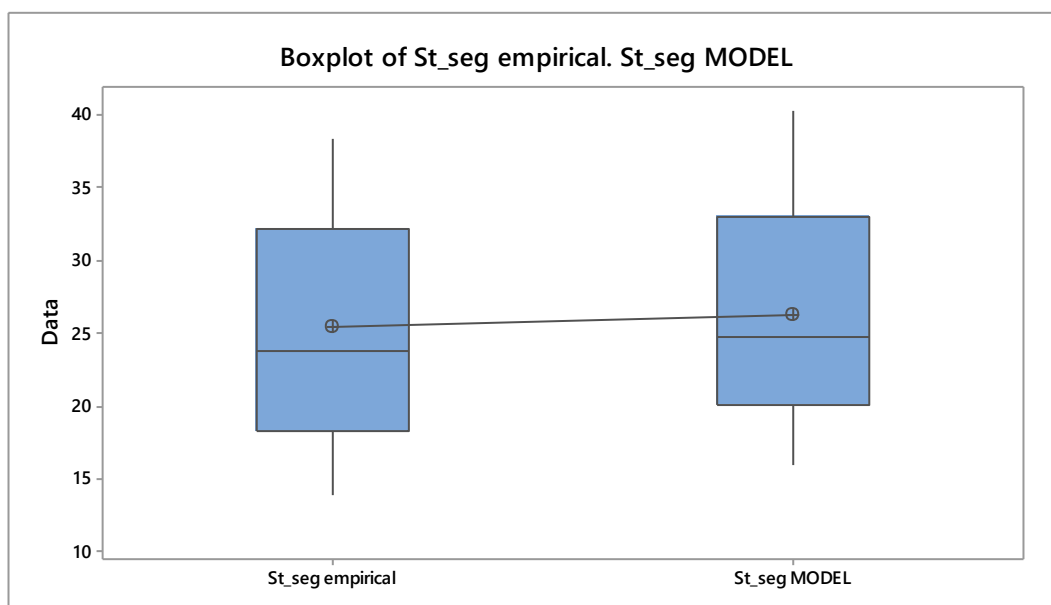


Two-sample T for St_seg empirical vs St_seg MODEL

	N	Mean	StDev	SE Mean
St_seg empirical	18	25,40	8,00	1,9
St_seg MODEL	18	26,23	7,91	1,9

Difference = μ (St_seg empirical) - μ (St_seg MODEL)
 Estimate for difference: -0,83
 95% CI for difference: (-6,22. 4,57)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -0,31 P-value = 0,757 DF = 33

St_seg MODEL - brzina vozila sa vrednostima vremenskih gubitaka D1_veh i D3_veh u zavisnosti od srednje brzine toka



PRILOG 3

Izvod iz statističke analize karakteristika brzina vozila na deonicama gradskih saobraćajnica

Descriptive Statistics: V1, V2, V3, V4

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
V1-aver	no_ped		84	7	32,17	0,88	8,07	10,59	27,77	33,73	37,89	45,43
	ped		59	1	30,935	0,96	7,41	16,02	24,41	31,82	37,92	45,77

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
V2-aver	no_ped		91	0	33,15	0,85	8,09	12,86	26,41	34,87	39,28	47,79
	ped		60	0	16,00	0,58	4,52	3,57	13,84	16,16	18,28	27,19

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
V3-aver	no_ped		85	6	34,71	0,87	7,99	14,87	28,14	37,22	40,62	48,70
	ped		56	4	21,95	0,59	4,43	13,79	18,90	22,26	24,62	36,67

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
V4-aver	no_ped		88	3	26,27	1,37	12,81	2,53	17,45	27,07	36,56	53,14
	ped		55	5	20,59	1,38	10,27	2,27	10,98	20,89	26,17	44,31

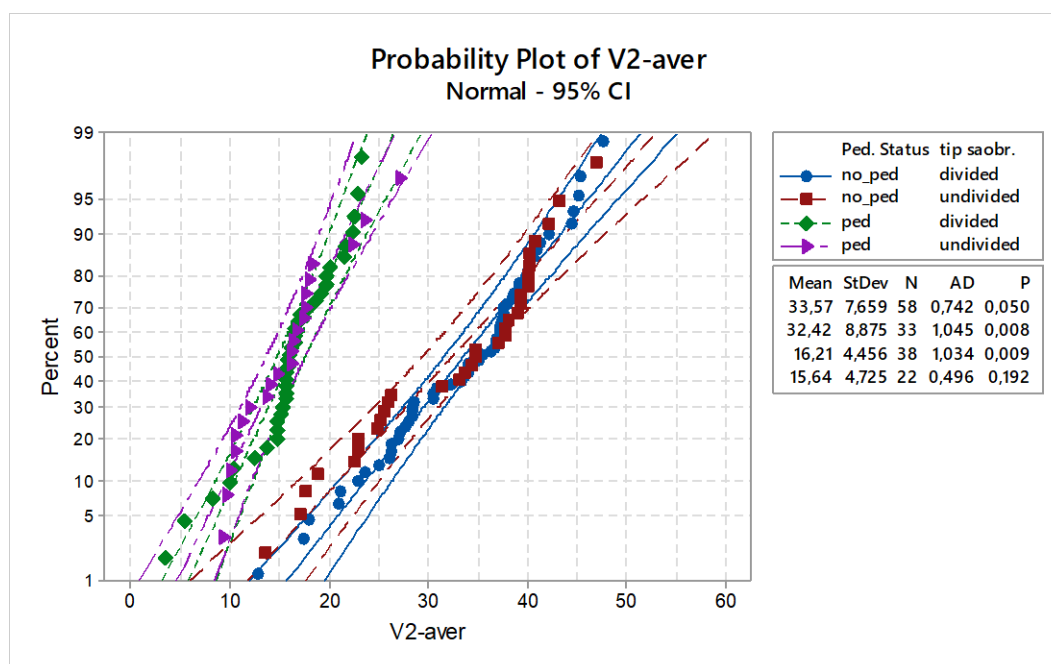
Descriptive Statistics: t1, t2

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
t2 (s)	no_ped		91	0	6,30	0,22	2,07	4,10	4,90	5,60	7,20	15,30
	ped		60	0	13,92	0,93	7,21	7,10	10,90	12,20	14,30	56,00

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
t3 (s)	no_ped		85	6	5,365	0,19	1,75	2,50	4,30	4,70	5,95	11,90
	ped		56	4	8,027	0,27	2,05	3,30	7,12	7,85	8,97	13,00

Variable	Ped.		N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
	Status											
t2+t3	no_ped		85	6	11,56	0,38	3,47	7,70	9,20	10,10	12,95	25,70
	ped		56	4	22,01	1,03	7,74	12,40	18,55	20,60	23,77	63,70

Probability Plot of V2-aver



Mann-Whitney Test and CI: V2

	N	Median
V2-aver; ped	60	16,159
V2-aver; no_ped	91	34,868

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -18,230
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-20,542;-15,784)
 W = 2055,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

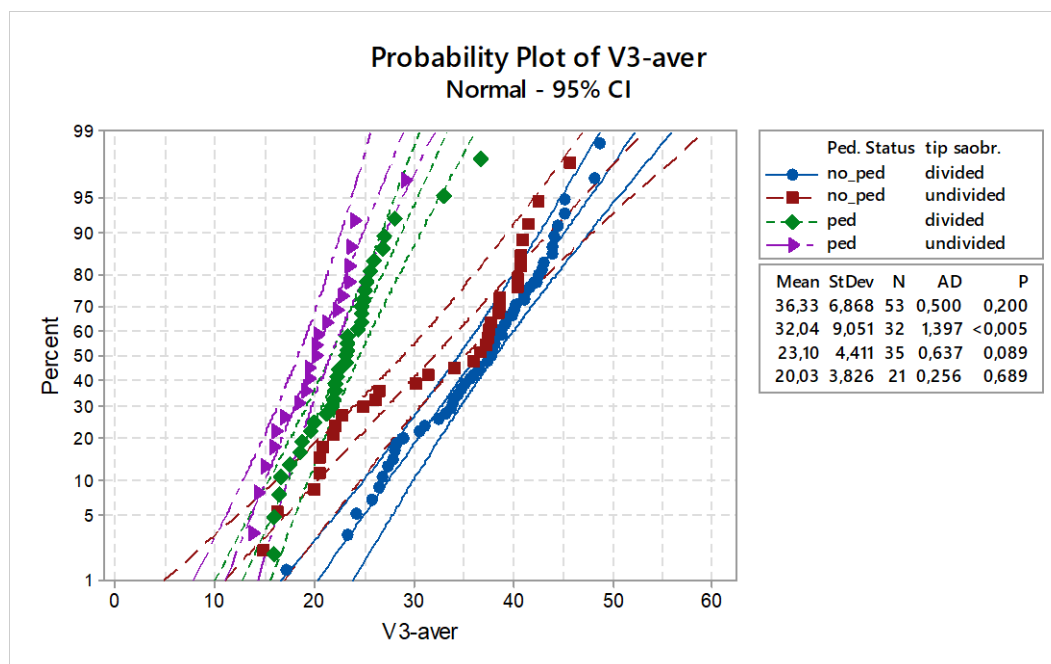
	N	Median
V2-aver; divided; ped	38	15,976
V2-aver; divided; no_ped	58	35,406

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -18,144
 95,1 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-20,893;-15,057)
 W = 810,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

	N	Median
V2-aver; undivided; ped	22	16,275
V2-aver; undivided; no_ped	33	34,815

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -17,820
 95,1 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-22,666;-12,948)
 W = 295,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

Probability Plot of V3-aver



Mann-Whitney Test and CI: V3

	N	Median
V3-aver; ped	56	22,258
V3-aver; no_ped	85	37,229

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -14,202
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-16,225;-11,856)
 W = 2088,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

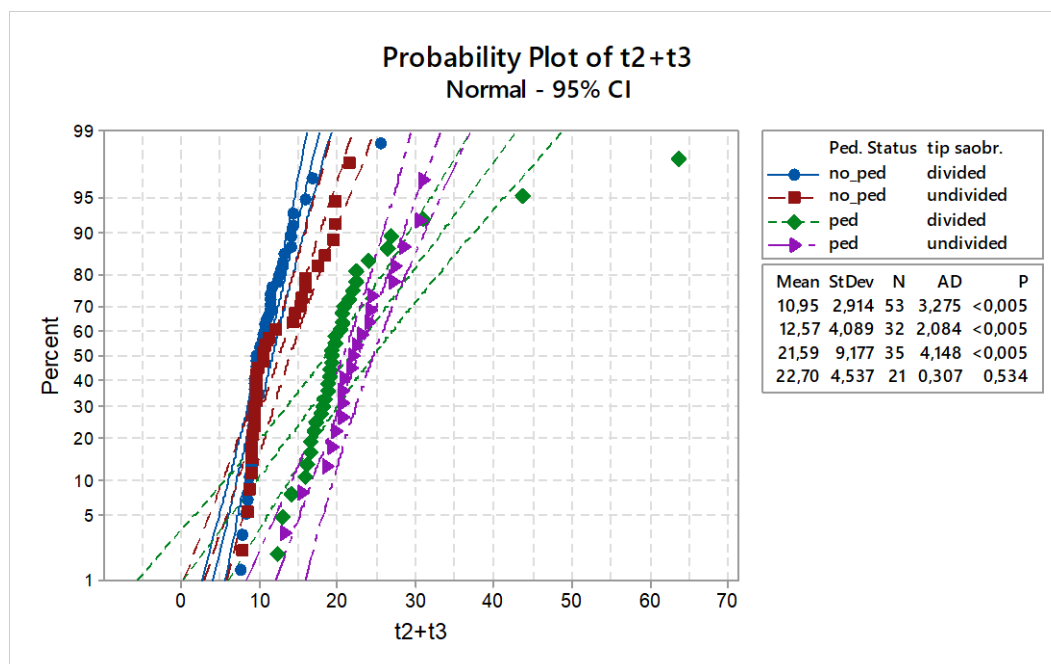
	N	Median
V3-aver; divided; ped	35	23,246
V3-aver; divided; no_ped	53	37,743

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -14,119
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-16,462;-11,362)
 W = 738,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

	N	Median
V3-aver; undivided; ped	21	20,275
V3-aver; undivided; no_ped	32	36,426

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is -14,154
 95,2 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (-17,900;-6,924)
 W = 324,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

Probability Plot of t2+t1



Mann-Whitney Test and CI: t1+t2

	N	Median
t2+t3; ped	56	20,600
t2+t3; no_ped	85	10,100

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is 9,700
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (8,501;10,800)
 W = 6117,5
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

	N	Median
t2+t3; divided; ped	35	19,300
t2+t3; divided; no_ped	53	9,800

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is 9,200
 95,0 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (7,800;10,200)
 W = 2428,5
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

	N	Median
t2+t3; undivided; ped	21	22,100
t2+t3; undivided; no_ped	32	10,500

Point estimate for $\eta_1 - \eta_2$ is 10,800
 95,2 Percent CI for $\eta_1 - \eta_2$ is (8,201;12,601)
 W = 869,0
 Test of $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 \neq \eta_2$ is significant at 0,0000

PRILOG 4

Potvrda o kalibraciji RLPBMIC uređaja

CERTIFICATE OF CALIBRATION



Customer	Uros Medeot	Equipment	10Hz GPS Datalogger
Location	Slovenia	Model	PBMIC01
Customer ID number		Serial Number	009954
In tolerance as received (Y/N)	N/A - New Unit	Calibration date	22-04-09
Certificate number	005422	Calibration due	21-04-10
Temperature	20.7 °C	Engineer	Kate Foskett
Humidity	46 %		

Calibration Procedure

The unit under test was subjected to the standard production test procedure. This procedure covers measured velocity by the VBOX over a simulated test course. Simulation data is provided via a calibrated 12-channel GPS simulator.

Equipment Used

	Equipment	Serial Number	CAL Cert No.	CAL Due
Simulation of GPS	STR4500	1234	4500-1234/070109	06/01/2010

Results

Simulation of constant speed by SPIRENT STR4500

Applied simulated value	VBOX indicated speed		
	Criteria	As received	As returned
30 Km/h	±0.1 Km/h	-	30.03 Km/h
60 Km/h	±0.1 Km/h	-	60.03 Km/h
100 Km/h	±0.1 Km/h	-	100.02 Km/h
400 Km/h	±0.1 Km/h	-	400.03 Km/h

Simulation of constant heading by SPIRENT STR4500

Applied simulated value	VBOX indicated heading		
	Criteria	As received	As returned
0°	±0.2°	-	0.08°
90°	±0.2°	-	89.98°
180°	±0.2°	-	180.12°
270°	±0.2°	-	270.02°

Summary

The unit PBMIC01 (serial number 009954) passed all standard production tests and was found to be fully compliant with the product specification.

Calibration Engineer _____