



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM
SADU



**RAZVOJ SIMULACIONIH MODELA
DOSTAVE POŠILJAKA U SKLADU SA
KONCEPTOM IZMEŠTANJA POSLOVNIH
PROCESA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Mentori:
dr Milan Mirković
dr Dragana Šarac

Kandidat
Đorđije Dupljanin

Novi Sad, 2021.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Ђорђе Дупљанин
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)	Др Милан Мирковић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад Др Шарац Драгана, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад
Наслов рада:	Развој симулационих модела доставе пошиљака у складу са концептом измештања пословних процеса
Језик публикације (писмо):	Српски (латиница)
Физички опис рада:	Унети број: Страница 146 Поглавља 7 Референци 117 Табела 27 Слика 62 Графикона 0 Прилога 0
Научна област:	Саобраћајно инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Поштански саобраћај и комуникације
Кључне речи / предметна одредница:	Симулациони модели, достава, измештање пословних процеса
Резиме на језику рада:	Истраживање које је приказано у овој докторској дисертацији има за циљ да попуни празнину која постоји у пољу симулација које веродостојно приказују понашање система у којима су доставни процеси потпуно измештени (то јест када се ради о <i>crowdsourced</i> достави пошиљака), а који се ослањају на достављаче који користе хетерогене видове доставе (то јест аутомобил и бицикл). У том смислу, развијени су симулациони модели који омогућавају мерење перформанси система доставе под различитим условима и анализирани су фактори који имају највећи утицај на кретање вредности њихових кључних индикатора перформанси (исказаних кроз укупан обим реализованих достава и проценат достава реализованих у временски предвиђеном року). Посебан фокус је стављен на веродостојност симулационих модела, тако да се у истраживању уместо стандардне апроксимације битних параметара симулације као што је то случај у сличним студијама, користе подаци из реалних услова употребом популарних сервиса који омогућују планирање рута и навигацију.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	28.05.2020.god

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штапане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штапаном и електронском облику и не корице се са тезом.

Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	<p>Председник: др Предраг Атанасковић, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>Члан: др Дарко Стефановић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>Члан: др Момчило Добродолац, ванредни професор, Саобраћајни факултет, Београд</p> <p>Члан: др Бојан Јовановић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>Члан, ментор: др Милан Мирковић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p> <p>Члан, ментор: др Драгана Шарац, ванредни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад</p>
Напомена:	

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KEY WORD DOCUMENTATION²**

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Đorđije Dupljanin
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	PhD Milan Mirković, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad PhD Dragana Šarac, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Thesis title:	Development of item last mile delivery simulation models in accordance with business processes outsourcing
Language of text (script):	Serbian language (latin)
Physical description:	Number of: Pages 146 Chapters 7 References 117 Tables 27 Illustrations 62 Graphs 0 Appendices 0
Scientific field:	Traffic engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Postal traffic and communications
Subject, Key words:	Simulation models, last mile delivery, business processes outsourcing
Abstract in English language:	
Accepted on Scientific Board on:	May 28 th , 2020
Defended: (Filled by the faculty service)	The research presented in this doctoral dissertation is aimed at filling the gap present in the field of the simulations that credibly show the behavior of the systems in which delivery processes are completely dislocated (i.e. when crowdsourced item delivery is concerned), which rely on the couriers who use the heterogenous forms of delivery (namely a car and a bicycle). In that sense, the simulation models that enable the measurement of delivery system performances under different conditions have been developed and the factors exerting the biggest influence on the movement of their key performance indicators (expressed through the total volume of realized deliveries and the percentage of the deliveries realized within the envisaged time window) have been analyzed. A special focus has been put on the credibility of the simulation models, so that the data obtained from real conditions using the popular services that enable route planning and navigation are used in the research study instead of the standard approximation of the important simulation parameters, as is the case in similar studies.

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

<p>Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)</p>	<p>President: PhD Predrag Atanasković, Full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Darko Stefanović, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member: PhD Momčilo Dobrodolac, Associate professor, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade Member: PhD Bojan Jovanović, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member, mentor: PhD Milan Mirković, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad Member, mentor: PhD Dragana Šarac, Associate professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad</p>
<p>Note:</p>	

ZAHVALNICA

Pre svega, želim da izrazim iskrenu zahvalnost mentorima prof. dr Milanu Mirkoviću i prof. dr Dragani Šarac za njihovo strpljenje, motivaciju, savete i stručnost, razumevanje i izuzetnu saradnju tokom izrade doktorske disertacije.

Doktorsku disertaciju posvećujem roditeljima Dragiši i Borki, kojima, kao i mojim sestrama, dugujem neizmernu zahvalnost za podršku koju su mi pružali u toku doktorskih studija i tokom mog celokupnog obrazovnog puta.

Abstract

The quick and efficient realization of delivery for the companies that render delivery services is the essence of doing business and is crucially important for their competitiveness on the market. In contemporary urban areas, there are different factors which make the delivery of items to end users more difficult, for which reason companies frequently experiment with technical and organizational improvements in order to mitigate or completely eliminate the effects of these factors. Crowdsourcing delivery (i.e. the business model based on the concept of the outsourcing of business processes, which implies that individuals voluntarily accept to do a task set by another entity (company) for an appropriate compensation) appears as an especially interesting approach which potentially solves several problems in the domain of delivery in urban areas.

The assessment of the efficiency of crowdsourced delivery systems prior to their implementation in real conditions is not a simple task to do at all, for the reason of which fact we resort to simulations in order to rate their cost-effectiveness. Given the fact that the extant approaches are frequently based on the rough approximations of important parameters when modeling, the development of the improved and more precise simulation models of delivery is one of the basic contributions of this dissertation. In that sense, the simulation models relying on the real data about traffic conditions that should enable more quality insights into the expected efficiency of the crowdsourced systems of delivery under the observed limits are developed in this doctoral dissertation. Efficiency is quantified by means of the two key indicators of performances, namely the volume of the made deliveries and the percentage of the deliveries made within the envisaged time window, whose movement was analyzed for different delivery means used by couriers (bicycles, cars and a combination) and for different delivery time scenarios, i.e. the profiles of dynamic oscillations in demand for delivery services.

In order to ensure a possibility of the generalization of the results, simulation models were developed for the four major European cities that differ from one another both in their respective populations and their citizens' habits of using different types of transportation

means and with respect to the development of the bicycle infrastructure. Additionally, two planetarily popular services in that domain were used as the source of the data about traffic conditions used within the framework of the simulations. The simulation models were implemented by means of the leading computer simulation modeling solution, after which appropriate techniques were used for their verification and validation.

The results of the conducted research study indicate that there are differences in the efficiency of the observed types of delivery means in simulated conditions, and that their size varies between the cities, suggesting that it is necessary that additional research studies should be carried out to investigate the factors which, apart from delivery times and dynamic oscillations in demand for delivery services, contribute to the results the most.

Rezime

Brza i efikasna realizacija dostave za kompanije koje pružaju dostavne usluge predstavlja suštinu poslovanja i od ključne je važnosti za kompetitivnost na tržištu. U savremenim urbanim sredinama postoje različiti faktori koji otežavaju dostavu pošiljaka do krajnjih korisnika, pa kompanije često eksperimentišu sa tehničkim i organizacionim unapređenjima kako bi efekte ovih faktora ublažila ili potpuno eliminisala. Kao posebno interesantan pristup koji potencijalno rešava više problema u domenu dostave u urbanim sredinama se javlja *crowdsourcing* dostava – poslovni model zasnovan na konceptu izmeštanja poslovnih procesa, gde pojedinci dobrovoljno prihvataju izvršavanje nekog zadatka postavljenog od strane drugog entiteta (kompanije) za odgovarajuću naknadu.

Procena efikasnosti *crowdsourced* dostavnih sistema pre njihove implementacije u realnim uslovima nije nimalo jednostavan zadatak, pa se zbog toga često pribegava simulacijama kako bi se ocenila njihova isplativost. Budući da se postojeći pristupi često baziraju na grubim aproksimacijama bitnih parametara prilikom modelovanja, razvoj unapređenih i preciznijih simulacionih modela dostave predstavlja jedan od osnovnih doprinosa ove disertacije. U tom smislu, u doktorskoj disertaciji su razvijeni simulacioni modeli koji se oslanjaju na realne podatke o saobraćajnim uslovima, koji bi trebalo da omoguće kvalitetnije uvide u očekivanu efikasnost *crowdsourced* sistema dostave pod posmatranim ograničenjima. Efikasnost je kvantifikovana putem dva ključna indikatora performansi: obima realizovanih dostava i procenta dostava realizovanih u vremenski predviđenom roku, čije je kretanje analizirano za različita dostavna sredstva koja koriste dostavljači (bicikli, automobili i kombinacija) i različite scenarije dostavnih rokova odnosno profile dinamičkih oscilacija u potražnji za uslugama dostave.

Kako bi se osigurala mogućnost generalizacije rezultata, simulacioni modeli su razvijeni za četiri velika evropska grada koji se razlikuju kako po broju stanovnika i njihovim navikama u pogledu upotrebe različitih vrsta prevoznih sredstava, tako i u pogledu razvijenosti biciklističke infrastrukture. Dodatno, kao izvor podataka o saobraćajnim uslovima koji su korišćeni u okviru simulacija su upotrebljena dva planetarno popularna servisa u tom domenu. Simulacioni modeli su implementirani putem vodećeg rešenja za računarsko simulaciono modelovanje, nakon čega su verifikovani i validirani upotrebom odgovarajućih tehnika.

Rezultati sprovedenog istraživanja ukazuju na to da postoje razlike u efikasnosti posmatranih tipova dostavnih sredstava u simuliranim uslovima, ali da njihova veličina varira

između gradova – sugerišući da su neophodna dodatna istraživanja da se istraže faktori koji pored dostavnih rokova i dinamičkih oscilacija u potražnji za uslugama dostave najviše doprinose rezultatima.

Sadržaj

Spisak slika	7
Spisak tabela	11
1 Uvod	1
2 Pregled stanja u oblasti	9
3 Metodologija	29
3.1 Simulacioni modeli	40
3.2 Generalizacija rezultata	44
3.3 Korisnička mreža	48
3.4 Računarska implementacija	54
3.5 Validacija	65
3.6 Ograničenja	67
4 Prikaz i analiza rezultata istraživanja	73
4.1 <i>Google Directions</i>	74
4.1.1 Kopenhagen	83
4.1.2 Pariz	85
4.1.3 Minhen	87
4.2 <i>HERE Routing</i> - najbrža ruta	89
4.2.1 Kopenhagen	98
4.2.2 Pariz	101
4.2.3 Minhen	103
4.2.4 Beograd	105
4.3 <i>HERE Routing</i> - najkraća ruta	107
4.3.1 Kopenhagen	117
4.3.2 Pariz	119

4.3.3	Minhen	121
4.3.4	Beograd	123
5	Diskusija rezultata istraživanja	125
6	Zaključci i pravci budućih istraživanja	133
	Literatura	137

Spisak slika

2.1	Principi ekonomije deljenja [1]	10
2.2	Tipične aktivnosti u procesu <i>crowdsourced</i> dostave [1]	12
2.3	Investicije u start-up kompanije koje se bave dostavom, po geografskim regionima [2]	13
3.1	Ilustracija sistema [3]	30
3.2	Vrste sistema [3]	31
3.3	Bazični model <i>crowdsourced</i> dostave	38
3.4	Korisnička mreža u Kopenhagenu	52
3.5	Korisnička mreža u Parizu	52
3.6	Korisnička mreža u Minhenu	53
3.7	Korisnička mreža u Beogradu	53
3.8	Dijagram toka implementiranog simulacionog modela [4]	55
3.9	Kreiranje entiteta (pošiljka)	57
3.10	Kreiranje entiteta (dostavljač), preuzimanje pošiljke i usmeravanje prema korisničkoj lokaciji	61
3.11	Upravljanje dostavom i beleženje ključnih indikatora performansi	63
3.12	Novi dan u okviru simulacione iteracije - poništavanje vrednosti	64
4.1	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni	76
4.2	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni	76
4.3	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan	77
4.4	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni	77
4.5	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni	78
4.6	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan	78

4.7	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak	79
4.8	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni	79
4.9	<i>Google Directions</i> - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni	80
4.10	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak . . .	80
4.11	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni . .	81
4.12	<i>Google Directions</i> - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni	81
4.13	<i>Google Directions</i> - post hoc analiza, Kopenhagen	84
4.14	<i>Google Directions</i> - post hoc analiza, Pariz	86
4.15	<i>Google Directions</i> - post hoc analiza, Minhen	88
4.16	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni	91
4.17	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni	92
4.18	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan	92
4.19	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni	93
4.20	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni	93
4.21	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan	94
4.22	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak	94
4.23	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni	95
4.24	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni	95
4.25	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak	96
4.26	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni	96
4.27	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni	97

4.28	HERE Routing, najbrža ruta - post hoc analiza, Kopenhagen	100
4.29	HERE Routing, najbrža ruta - post hoc analiza, Pariz	102
4.30	HERE Routing, najbrža ruta - post hoc analiza, Minhén	104
4.31	HERE Routing, najbrža ruta - post hoc analiza, Beograd	106
4.32	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni	109
4.33	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni	110
4.34	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan	110
4.35	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni	111
4.36	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni	111
4.37	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan	112
4.38	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak	112
4.39	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni	113
4.40	HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni	113
4.41	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak	114
4.42	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni	115
4.43	HERE Routing, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni	115
4.44	HERE Routing, najkraća ruta - post hoc analiza, Kopenhagen	118
4.45	HERE Routing, najkraća ruta - post hoc analiza, Pariz	120
4.46	HERE Routing, najkraća ruta - post hoc analiza, Minhén	122
4.47	HERE Routing, najkraća ruta - post hoc analiza, Beograd	124

Spisak tabela

3.1	Parametri intenziteta procesa za profile dnevne potražnje i dostupnost <i>crowd-sourced</i> vozača	41
3.2	Pregled eksperimentalnih varijabli i njihovih nivoa	43
3.3	Prikaz vrednosti veličina faktora u Coxa [5] studiji za izabrane gradove	46
3.4	Moduli za osnovni proces	58
3.5	Moduli za napredni proces (eng. <i>Advanced Process</i>)	59
3.6	Moduli za napredni transfer (eng. <i>Advanced transfer</i>)	60
3.7	Elementi za podatke	61
4.1	Rezultati - Kopenhagen (<i>Google Directions</i>)	74
4.2	Rezultati - Pariz (<i>Google Directions</i>)	75
4.3	Rezultati - Minhen (<i>Google Directions</i>)	75
4.4	<i>Google Directions</i> - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku	82
4.5	Rezultati - Kopenhagen (<i>HERE Routing</i> - najbrža ruta)	89
4.6	Rezultati - Pariz (<i>HERE Routing</i> - najbrža ruta)	90
4.7	Rezultati - Minhen (<i>HERE Routing</i> - najbrža ruta)	90
4.8	Rezultati - Beograd (<i>HERE Routing</i> - najbrža ruta)	91
4.9	<i>HERE Routing</i> , najbrža ruta - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku	98
4.10	Rezultati - Kopenhagen (<i>HERE Routing</i> - najkraća ruta)	107
4.11	Rezultati - Pariz (<i>HERE Routing</i> - najkraća ruta)	108
4.12	Rezultati - Minhen (<i>HERE Routing</i> - najkraća ruta)	108
4.13	Rezultati - Beograd (<i>HERE Routing</i> - najkraća ruta)	109
4.14	<i>HERE Routing</i> , najkraća ruta - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku	116
5.1	Hipoteze - <i>Google Directions</i>	126

5.2	Hipoteze - HERE Routing (najbrža ruta)	127
5.3	Hipoteze - HERE Routing (najkraća ruta)	128
5.4	<i>Google Directions</i> - post hoc analiza, sumarni prikaz	130
5.5	<i>HERE Routing</i> (najbrža ruta) - post hoc analiza, sumarni prikaz	131
5.6	<i>HERE Routing</i> (najkraća ruta) - post hoc analiza, sumarni prikaz	132

1

Uvod

Tehničko-tehnološki razvoj i napredak informaciono-komunikacionih tehnologija, uparen sa željom i težnjom kupaca da na što lakši i komforniji način dođu do željenih proizvoda, je doveo do rapidne ekspanzije organizacija koje omogućavaju kupovinu proizvoda elektronskim putem, koji se potom dostavljaju kupcima na željenu adresu. Ovo je, posledično, dovelo do povećanog obima poslovanja kako za poštanske i kurirske kompanije tako i za interne službe dostave organizacija koje vrše prodaju. Zbog toga je planiranje resursa neophodnih za kvalitetnu i pravovremenu dostavu pošiljaka postalo veoma kompleksan zadatak.

Dostava pošiljke do krajnjeg korisnika je u savremenim sistemima dostave vremenski najviše zahtevan korak u procesu prenosa pošiljke, usled velikih rastojanja u ruralnim oblastima dostave koja dostavljači/kuriri moraju da pređu, odnosno zbog otežanog saobraćaja i male brzine kretanja u urbanom okruženju. Iz tih razloga ne čudi broj inovacija koje se odnose na optimizaciju ovog poslednjeg – najskupljeg, ali izuzetno bitnog koraka u procesu prenosa pošiljaka. Ove inovacije imaju često tehnički karakter – kao što je postavljanje zbirnih odnosno kućnih sandučića i samouslužnih automata iz kojih krajnji korisnici mogu da preuzmu svoje pakete na odgovarajućim mestima, dostava dronovima ili autonomnim dostavnim vozilima [6] – ali isto tako i organizacioni, koji se ogleda u softverskim aplikacijama za dostavu putem kojih je moguće kvalitetnije uskladiti vreme dostave sa željama i potrebama krajnjih korisnika [7]. U tom kontekstu, posebno je izražena potreba za rešenjima transportnih problema u gradskim područjima koja su u stanju da eliminišu (ili makar kontrolišu) faktore koji ometaju dostavu i dovode do finansijskih gubitaka organizacija, a istovremeno i umanjuju negativne efekte po prirodno okruženje koji su direktna posledica povećanog obima motornog saobraćaja. Ovi efekti, u svetlu globalnih napora da se smanji emisija štetnih gasova, nisu nimalo zanemarljivi i postoji mnoštvo inicijativa kako na na-

cionalnim tako i međunarodnom nivou da se oni ublaže ili u idealnom slučaju eliminišu.

Zahtevi korisnika za bržom realizacijom dostave, potpunom sledljivošću pošiljke od trenutka slanja do trenutka prijema i uvođenjem dodatnih usluga koje im mogu uštedeti vreme je dovelo do nastanka novih trendova u dostavi, koji se ogledaju u izgradnji gradskih skladišta i logističkih centara, primeni inteligentnih tehnologija i različitih senzora u ambalaži ili dostavnim vozilima, upotrebi "velike količine" podataka (eng. *big data*) za optimizaciju modela dostave i omogućavanju dostavljačima izvršavanje usluga koje tradicionalno nisu vezane za dostavu (npr. pokretni poštanski šalter ili prodaja dodatnih proizvoda).

Prednost urbanog skladišnog prostora se primarno ogleda u lakom pristupu proizvodima za brzu dostavu korisnicima (koja je sve bitnija zbog rastućeg broja zahteva za dostavom istog dana), što je posebno važno kada se govori o farmaceutskim proizvodima, hrani, piću ili dokumentima. Efikasnom organizacijom u okviru njih se skraćuje vreme pripreme dostave sa par sati na nekoliko minuta, što ujedno predstavlja i izuzetno veliki izazov u planiranju. Kompanija Amazon, kao jedan od lidera u domenu on-line prodaje i dostave proizvoda, je ovo prepoznala još pre pola decenije pa je samo u 2016. godini bilo 58 *Amazon Prime Now* distribucionih centara u Americi [8] za korisnike koji zahtevaju dostavu u toku istog dana – uz dodatnu ponudu za dostavu u roku od 1 ili 2 časa. Ovi centri su u tom trenutku bili u stanju da svakodnevno opsluže oko 80 miliona korisnika [8]. Naravno, slični distribicioni centri se otvaraju i u evropskim i ostalim zemljama u svetu, a podaci prikupljeni iz procesa koji se odvijaju u njima (kao i u povezanim eksternim procesima) se koriste kako za dodatno unapređenje njihove efikasnosti tako i za optimizaciju dostave.

Takođe, zahvaljujući velikim količinama podataka koji se prikupljaju tokom svake interakcije korisnika sa on-line sistemima prodaje, trgovci su u današnje vreme u stanju da relativno dobro predvide buduće zahteve kupaca, što može da im omogući poboljšanje prodaje. Ovo se često realizuje upotrebom mobilnog skladišnog prostora u dostavnim vozilima (u koji se mogu utovariti dodatni proizvodi), koji dopušta dostavljačima da povećaju prodaju za kompaniju u kojoj su angažovani tako što će prilikom dostave naručene pošiljke korisnicima ponuditi i proizvode koje su naručivali u prošlosti ili su identifikovani kao relevantni u svetlu prethodnih kupovina. Ovakav princip funkcioniše u dostavi hrane, kao i dostavi proizvoda za domaćinstava ili dostavi obuće i odeće.

U cilju obezbeđivanja maksimalnog kvaliteta usluge i osiguranja da dostavljeni proizvodi zadovoljavaju očekivanja korisnika, svaki aspekt procesa dostave je u današnje vreme moguće

pratiti upotrebom savremenih tehnologija. Tako se na primer, primenom Interneta stvari (eng. *IoT - Internet of Things*) prate ne samo pošiljke od mesta preuzimanja do mesta dostave (upotrebom sistema za globalno pozicioniranje - GPS), već i različiti parametri okruženja koji mogu imati uticaj na njih (kao što su temperatura, vlažnost vazduha i sl.) [9]. Ovo posledično dovodi do većeg poverenja korisnika u organizacije koje omogućavaju detaljne uvide u sve faktore koji mogu da utiču na proizvod tokom njegovog transporta, ali isto tako i otvara vrata za identifikaciju prostora za poboljšanje poslovnih procesa ili eliminaciju uočenih problema.

Kako bi se razvila moderna rešenja dostave koja su efektivna, efikasna i koja rešavaju prethodno pomenute izazove, neophodni su interdisciplinarni naponi, pa na njima rade istraživači iz različitih domena kao što su računarske nauke, saobraćaj, operaciona istraživanja, menadžment, matematika, mašinsko učenje i veštačka inteligencija. Naravno, kada god je to moguće kopiraju se i prilagođavaju pozitivni primeri i modeli iz prakse koji su već dokazali svoju vrednost u realnim uslovima, a u tom kontekstu, uspeh primene alternativnih poslovnih modela u domenima srodnim dostavi (kao što je prevoz putnika) otvorio je i pitanje primenljivosti organizacionih inovacija kao što je *crowdsourcing* u oblasti dostave.

Crowdsourcing kao pojam predstavlja kovanicu nastalu od engleskih reči *crowd* (gomila) i *outsourcing* (izmeštanje procesa) i kao takav je zaživeo relativno skoro (2005. godine) [10], bez obzira na to što je pristup koji on opisuje – tip participativne aktivnosti u kojoj institucija ili kompanija predlaže grupi pojedinica, putem fleksibilnog otvorenog poziva, dobrovoljno obavljanje zadataka (često za određeni vid nagrade) – korišćen u prošlosti da se realizuju različiti projekti, kao što je sastavljanje rečnika [11], potraga za vanzemaljskom inteligencijom [12], predlaganje arhitektonskih rešenja [13] ili kreiranje jedne od najsveobuhvatnijih javnih enciklopedija do danas [14]. Zajedno sa savremenim tehnološkim napretkom i spremnošću krajnjih korisnika da postanu aktivni učesnici na provajderskoj strani u domenima koji su tradicionalno bili rezervisani za velike korporacije, ovaj pristup je u skorije vreme pokazao veliki potencijal da utiče na ustaljene i tradicionalne poslovne modele. Na primer, *Uber* i *Lyft* postali su uobičajene zamene za tradicionalni taksi [15], a *Amazon's Mechanical Turk* nudi tržište koje omogućava pojedincima i kompanijama da lakše izmeštaju svoje procese i poslove distribuiranoj radnoj snazi koja može da radi ove zadatke virtuelno [16].

Crowdsourced dostava, kao model dostave u kojem fizička lica za određenu naknadu vrše dostavu pošiljki u ime organizacije, je relativno nov poslovni model koji može značajno da doprinese smanjenju troškova organizacije koji su vezani za dostavu. Na primer, ukoliko dođe do iznenadnog povećanja obima posla tako da kompanija ne može da ga isprati pos-

tojećim dostavnim kapacitetima, *crowdsourced* dostava može da omogući da se korisnički zahtevi ispune na vreme angažovanjem povremenih dostavljača. Uz to, troškovi ulaganja i održavanja postojećeg voznog parka organizacije se smanjuju jer nema potrebe za njegovim uvećanjem (štaviše, može da se racionalizuje), a paralelno sa tim se smanjuje i potreba za skladištenjem jer se u *crowdsourced* sistemima dostave proizvodi procesuiraju relativno brzo. Budući da su u ovakvim sistemima dostavljači često ljudi koji svakako prelaze put od tačke preuzimanja do tačke dostave pošiljke u okviru neke druge dnevne aktivnosti (npr. putovanje na posao), *crowdsourced* dostava potencijalno značajno doprinosi zaštiti životne sredine smanjivanjem negativnih efekata po prirodno okruženje uzrokovanih sve intenzivnijim saobraćajem i povećanim emisijama izduvnih gasova. Uz to, interesantna je i prednost iz društvene perspektive koja se odnosi na dodatne prihode za ljude koji žele da ih ostvare učestvujući u *crowdsourced* sistemima dostave. U okviru poštanskog saobraćaja, sistemi dostave slični *crowdsourced* sistemima su se javljali i ranije u dostavi telegrama po posebnim nosiocima, koji predstavljaju fizička lica koja uz određenu nadoknadu vrše dostavu telegrama (ovakav pristup je još prisutan kod nekih poštanskih kompanija).

Kako su kompanije poslovni entiteti čiji je primarni cilj maksimizacija profita, jasna je njihova velika zainteresovanost za svaku vrstu poboljšanja koja će doprineti njegovom ispunjavanju, posebno ukoliko ta poboljšanja doprinose i realizaciji sekundarnih ciljeva poslovanja kao što je održivi razvoj i očuvanje životne sredine. *Crowdsourced* dostava je poslovni model koji je trenutno u ekspanziji i sa kojim eksperimentišu mnogobrojne kompanije, ali usled svoje inherentne kompleksnosti i participacije velikog broja "eksternih" učesnika, njegova krajnja isplativost i efikasnost može veoma da zavisi od mnogobrojnih faktora koji nisu direktno pod kontrolom organizacije. Nažalost, ispitivanje isplativosti novih procesa i pristupa u okviru poslovanja (ili čitavih poslovnih modela), posebno u današnje vreme kada korisnici konstantno očekuju maksimalan kvalitet usluge koju dobijaju za svoj novac, nije nimalo jednostavno ni brzo kada treba da se izvede u realnim uslovima, a često nosi velike rizike u pogledu narušavanja ugleda i reputacije usled postojanja mnoštva faktora koje je teško unapred predvideti. Iz tog razloga se pre praktične provere novih pristupa oni često simuliraju upotrebom modela računarske simulacije, kako bi se identifikovale njihove prednosti i potencijalne mane. Međutim, kako su simulacije po svojoj prirodi uprošćeni modeli realnih sistema, postoji velika potreba za njihovim konstantim usavršavanjem u smislu što realnijeg oponašanja ciljnih sistema i procesa, pošto svaki napredak u tom pogledu doprinosi boljem razumevanju posmatranih procesa i otvara vrata njihovim daljim unapređenjima.

Istraživanje koje je prikazano u ovoj doktorskoj disertaciji ima za cilj da popuni prazninu koja postoji u polju simulacija koje verodostojno prikazuju ponašanje sistema čiste *crowd-sourced* dostave (to jest sistema dostave koji ne pretpostavljaju postojanje interne dostavnog voznog parka organizacije) a koji se oslanjaju na dostavljače koji koriste heterogene vidove transporta (to jest automobil i bicikli). U tom smislu, razvijeni su simulacioni modeli koji omogućavaju merenje performansi *crowdsourced* sistema dostave pod različitim uslovima i analizirani su faktori koji imaju najveći uticaj na kretanje vrednosti njihovih ključnih indikatora performansi (iskazanih kroz ukupan obim realizovanih dostava i procenat dostava realizovanih u vremenski predviđenom roku). Poseban fokus je stavljen na verodostojnost simulacionih modela, tako da se u istraživanju umesto standardne aproksimacije bitnih parametara simulacije kao što je to slučaj u sličnim studijama, koriste podaci iz realnih uslova upotrebom popularnih servisa koji omogućuju planiranje ruta i navigaciju.

Kako bi se osigurala mogućnost generalizacije rezultata, istraživanje je sprovedeno nad četiri evropska grada koja imaju različite karakteristike u pogledu broja stanovnika, klime, razvijenosti biciklističke i saobraćajne infrastrukture i navika stanovništva kada je u pitanju korišćenje različitih modova transporta, a oni su: Kopenhagen, Pariz, Minhen i Beograd. Prva tri grada su izabrana na osnovu relevantne studije [5] u okviru koje je izvršeno rangiranje gradova u odnosu na opštu prilagođenost infrastrukture biciklističkom saobraćaju (gde se Kopenhagen rangira veoma visoko, a Pariz i Minhen zauzimaju niže pozicije) i na osnovu činjenice da se nalaze u visoko razvijenim zapadnim zemljama koje već izvesno vreme eksperimentišu sa novim poslovnim modelima kao što je *crowdsourced* dostava, dok Beograd nije bio obuhvaćen tom studijom ali je izabran kao najveći grad Srbije – zemlje u kojoj ovaj poslovni model tek počinje da živi.

Konkretna istraživačka pitanja na koja disertacija teži da pruži odgovor su formulisana kao:

- Da li postoje razlike u efikasnosti dostavnih sredstava koje zavise od rokova dostave?
- Da li postoje razlike u efikasnosti dostavnih sredstava koje zavise od dinamičkih oscilacija u potražnji za uslugom dostave?

Na osnovu ovih istraživačkih pitanja su definisane i testirane dve hipoteze, i to:

- **H1:** Postoji statistički značajna razlika u efikasnosti dostavnih sredstava između bicikala, automobila i kombinacije bicikala i automobila kao *crowdsourced* dostavnih sredstava, koja zavisi od rokova za dostavu.

- **H2:** Postoji statistički značajna razlika u efikasnosti dostavnih sredstava između bicikala, automobila i kombinacije bicikala i automobila kao *crowdsourced* dostavnih sredstava koja zavisi od dinamičkih oscilacija potražnje za uslugom dostave.

U skladu sa prethodno navedenim hipotezama definisane su i alternativne hipoteze H1a (da ne postoji statistički značajna razlika u efikasnosti dostavnih sredstava između bicikala, automobila i kombinacije bicikala i automobila kao *crowdsourced* dostavnih sredstava, koja zavisi od rokova za dostavu) i H2a (da ne postoji statistički značajna razlika u efikasnosti dostavnih sredstava između bicikala, automobila i kombinacije bicikala i automobila kao *crowdsourced* dostavnih sredstava koja zavisi od dinamičkih oscilacija potražnje za uslugom dostave).

Očekuje se da će rezultate ove doktorske disertacije biti moguće primeniti u dostavnim i kurirskim službama, kako bi se bolje organizovala dostava i optimizovali resursi organizacije. Takođe, rezultate će moći iskoristiti i druga transportna preduzeća bez obzira da li se radi o transportu u urbanom ili ruralnom području. Konačno, ovo istraživanje može poslužiti kao kvalitetna polazna osnova za istraživanja u oblasti zaštite životne sredine, konkretno u domenu smanjenja emisije štetnih izduvnih gasova.

Struktura disertacije

U prvom, uvodnom delu disertacije prikazani su osnovni principi, koncepti i trendovi u oblasti dostave. Drugi deo doktorske disertacije pruža prikaz stanja u oblasti i postavlja neophodne teorijske osnove sa glavnim fokusom na *crowdsourced* dostavne sisteme, njihove različite varijante koje su implementirane u realnim uslovima, kao i nedostatke simulacionih modela u pogledu merenja efikasnosti *crowdsourced* sistema. U sledećem delu disertacije je predstavljen istraživački deo, sa akcentom na razvoj i unapređenje simulacionih modela *crowdsourced* dostavnih sistema i opis upotrebljene metodologije. Nakon toga je dat prikaz statističke obrade rezultata dobijenih pokretanjem razvijenih simulacionih modela. U petom delu je prikazana diskusija rezultata istraživanja, sa posebnim osvrtom na teorijske i praktične implikacije. Šesti deo sadrži zaključna razmatranja kao i pravce budućih istraživanja. Na kraju disertacije je dat spisak svih relevantnih naučnih, stručnih istraživanja i izvora koji su se koristili kao literatura. Detaljniji opis svakog od poglavlja disertacije je prikazan u nastavku.

Poglavlje 1 – Uvod, prikazuje osvrt na proces dostave pošiljaka i naglašava trend upotrebe alternativnih poslovnih modela kao jedan od ključnih načina za prevazilaženje brojnih prob-

lema u urbanim srednima koji se javljaju prilikom dostave. Implementacija *crowdsourced* sistema je identifikovana od strane vodećih kompanija u oblasti maloprodaje i online kupovine kao potencijalno primamljiva opcija za rešavanje savremenih problema u domenu dostave i sve više dobija na značaju. Međutim, ocena efikasnosti ovakvih sistema pre njihove implementacije u realnim uslovima nije nimalo jednostavan zadatak, pa se zbog toga često pribegava simulacijama kako bi se procenila njihova isplativost. Budući da se postojeći pristupi često baziraju na grubim aproksimacijama ključnih parametara prilikom modelovanja, razvoj unapređenih i preciznijih simulacionih modela dostave predstavlja osnovni cilj ove disertacije. U okviru ovog poglavlja je opisan predmet istraživanja disertacije, formulisani su ciljevi istraživanja, predstavljena su istraživačka pitanja i hipoteze i objašnjen je naučni doprinos disertacije.

Poglavlje 2 – Pregled stanja u oblasti, je tako organizovano da su najpre objašnjeni osnovni koncepti i pojmovi u cilju boljeg razumevanja istraživanja realizovanog u disertaciji, koje je prikazano u narednim poglavljima. Prikazano je aktuelno stanje u oblasti putem sistematskog pregleda literature i prethodnih istraživanja koja su se bavila analizom *crowdsourced* sistema i objašnjeni su različiti modeli koji se koriste za merenje njihove efikasnosti.

Poglavlje 3 – Metodologija, na početku opisuje prednosti i generalni tok razvoja simulacionih modela, kao i tehnike koje se koriste za njihovu verifikaciju i validaciju. Nakon toga su predstavljeni kriterijumi izbora gradova u kojima su simulirani modeli *crowdsourced* dostave i opisane su sve eksperimentalne varijable i njihovi nivoi, te je prikazano na koji način će se doći do operativnih podataka neophodnih za izvršavanje simulacija. Nakon toga je prikazana računarska implementacija simulacionih modela i objašnjeno je na koji način je izvršena njihova verifikacija i validacija. Konačno, prikazana su i bitna ograničenja istraživanja.

Poglavlje 4 – Prikaz i analiza rezultata istraživanja, prikazuje rezultate dobijene kroz razvijene simulacione modele i pruža njihovu analizu putem odgovarajućih statističkih tehnika – a sve u cilju donošenja odgovarajućih zaključaka i odgovora na istraživačka pitanja i hipoteze koja su data u uvodnom delu.

Poglavlje 5 – Diskusija rezultata istraživanja, daje sistematski pregled dobijenih rezultata u svetlu postavljenih hipoteza, tako da se za svaku od njih – uzimajući u obzir različite izvore podataka o uslovima u saobraćaju u realnom svetu – razmatra da li je potvrđena ili ne i komentarišu se uočene razlike u performansama različitih dostavnih sredstava pod posmatranim uslovima. Na kraju poglavlja su prikazane teorijske i praktične implikacije koje

proističu iz prikazanih rezultata.

Poglavlje 6 – Zaključci i pravci budućih istraživanja, daje prikaz zaključaka koje je moguće doneti na osnovu rezultata dobijenih putem istraživanja prikazanog u disertaciji, kao i pogled na moguće pravce budućih istraživanja.

Poglavlje 7 – Literatura, sadrži listu naučnih i stručnih radova, istraživanja i drugih izvora koji su korišćeni tokom izrade ove doktorske disertacije.

2

Pregled stanja u oblasti

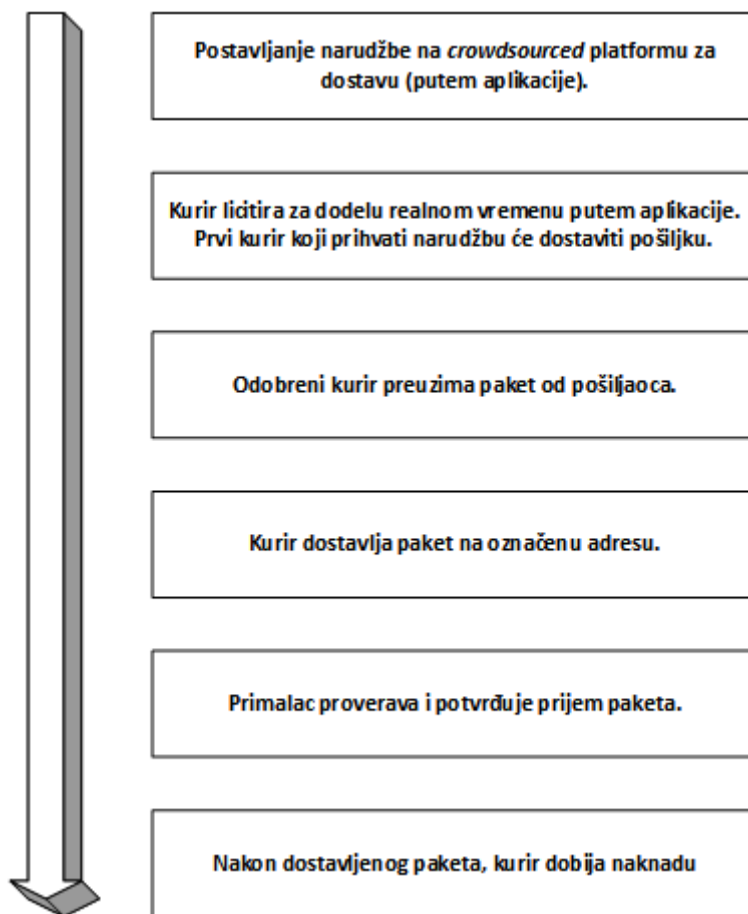
Analizirajući niz naučnoistraživačkih dostignuća koja se odnose na analizu i merenje performansi saobraćajnih sistema, pogotovo u oblasti dostave [17], skladištenja [18] i zadovoljstva korisnika [19], uočava se tendencija rasta interesovanja za ocenu performansi savremenih dostavnih sistema, a koji su proistekli iz novih poslovnih modela kao što je izmeštanje poslovnih procesa velikim grupama pojedinaca (odnosno *crowdsourced delivery*).

Puno istraživačkih napora, tipično u formi teoretskih predloga i analitičkih rešenja, sprovedeno je u cilju da se optimizuje rutiranje vozila [20], da se dizajniraju efikasnije transportne mreže [21] i dostava učini održivom [22] – a svi kao zajednički cilj imaju smanjenje troškova u procesu dostave. Kompanija PricewaterhouseCoopers je nedavno sprovedla istraživanje sa ciljem praćenja kupovnih navika krajnjih korisnika, koje je obuhvatilo 27 zemalja i više od 20,000 kupaca. Utvrđeno je da je 88 % korisnika voljno da plati dodatnu naknadu za uslugu dostave istog dana [23], što potpuno opravdava fokus većih kompanija kao što su Amazon, DHL i Fedex na unapređenje efikasnosti dostave [24]. Pored upotrebe novih tehnologija u fazi dostave pošiljaka kao što su dronovi ili autonomna vozila [25] i postavljanja odgovarajućih samouslužnih objekata u mrežu (koji služe kao mesta za prijem i dostavu pošiljaka) [26] kao jedno od rešenja za unapređenje efikasnosti dostave pojavio se i novi poslovni model – "*crowdsourcing*".

Da bi se potpuno razumeo i definisao koncept *crowdsourced* dostave neophodno je prvo objasniti pojam ekonomije deljenja (eng. *sharing economy*) i prikazati globalno popularne uspešne primere njegove upotrebe, kao što su deljenje vožnje (eng. *ride sharing*) i naručivanje vožnje (eng. *ride hailing*).

Jedan od najpoznatijih primera ekonomije deljenja u poslednje vreme je *ride-sharing*, koji se realizuje posredstvom kompanija kao što su Uber i Lyft. *Ride-sharing* je sinonim za grupni prevoz organizovan između fizičkih lica, to jest proces gde putnici dele vozilo sa drugim putnicima. Ne predstavlja lični prevoz, pošto se prostor deli i vozila se zaustavljaju da bi se preuzeli putnici. Za razliku od njega, *Ride-hailing* predstavlja servis gde putnik unajmljuje ličnog vozača da ga odveze tačno na zahtevanu destinaciju. Vozilo se ne deli sa drugim putnicima, niti vrši zaustavljanja duž rute. U oba slučaja, pojedinci dele višak kapaciteta ličnih vozila da bi prevozili putnike na već isplaniranom putovanju. Vozači u ovakvim sistemima obavljaju aktivnosti od sopstvenog interesa i spajaju se sa putnicima na prethodno definisanom putu, sa primarnim ciljem deljenja transportnih troškova (koji za direktnu posledicu ima smanjivanje negativnog uticanja na okruženje). Vozači ukazuju na svoju dostupnost prijavljivanjem na odgovarajuću aplikaciju i to čine u proizvoljnim periodima (koji su u saglasnosti sa njihovom životnom dinamikom i/ili slobodnim vremenom), tako da se prethodno planiranje raspoloživosti u ovom slučaju ne izvodi, što sa sobom nosi određene prednosti posebno na strani ponude (fleksibilnost, nepostojanje obaveze u pogledu radnog vremena) ali i potencijalne probleme u domenu planiranja (prvenstveno u vidu raspoloživosti dovoljnog broja vozača u periodima povećane potražnje).

Da bi se uspešno primenjivao *crowdsourced* model u praktično bilo kojoj sferi poslovanja, neophodno je postojanje efektivnih i efikasnih informacionih sistema, koji su u stanju da blagovremeno i na optimalan način povežu stranu ponude sa stranom potražnje (ili makar na takav način da se spreči veći disbalans između njih). Ovakvi sistemi su generalno prilično kompleksni i oslanjaju se na raznovrsne algoritme i prediktivne modele za rešavanje mnoštva operativnih problema koji su inherentni za *crowdsourced* poslovne modele, a postali su nezamenljiv alat naročito u kurirskim servisima, pošto u dinamičnom operacionom okruženju poštanskih i kurirskih usluga nove korisničke porudžbine mogu da utiču na ometanje optimalnog plana dostave koji je izvorno definisan [37]. Pored toga, oni su neizostavna komponenta putem koje komuniciraju učesnici u *crowdsourced* sistemima i često je moguće pristupiti im putem namenske aplikacije koja se instalira na mobilnom uređaju ili odgovarajuće web-stranice. U kontekstu *crowdsourced* sistema dostave, skup tipičnih aktivnosti koje su podržane informacionim platformama je prikazan na slici 2.2, a u okviru svake od njih se beleže različite veličine od interesa koje se kasnije koriste za merenje performansi sistema, njegovu analizu i identifikaciju oblasti za unapređenje.

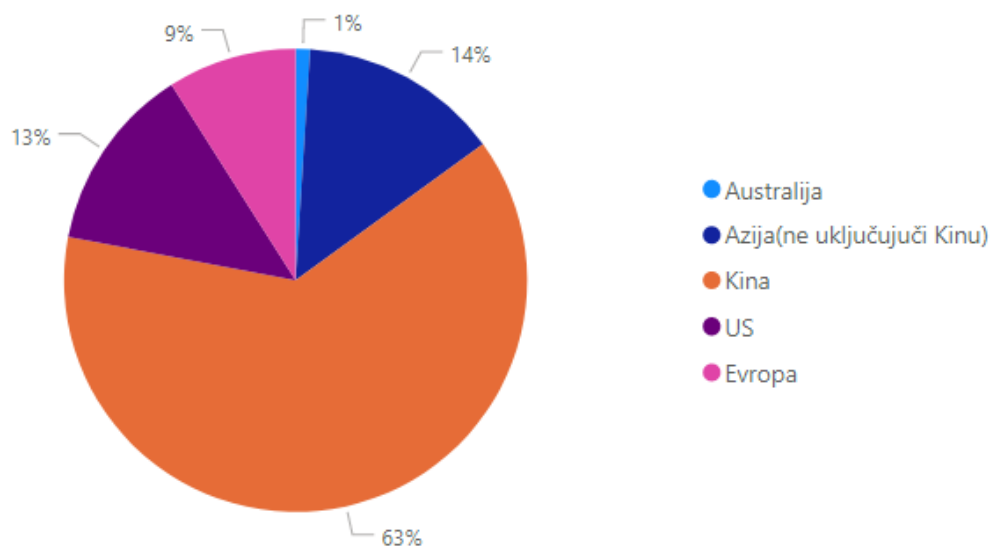


Slika 2.2 Tipične aktivnosti u procesu *crowdsourced* dostave [1]

Vrtoglavi rast elektronske trgovine u domenu maloprodaje tokom poslednjih 20 godina je kreirao potrebu za kreiranjem novih, efikasnijih načina dostave sve većeg broja paketa. Prema izveštaju organizacije *Zebra technologies* [38] 45% pošiljaka u ovom segmentu poslovanja put do krajnjih potrošača pronalazi putam poštanskih, kurirskih ili robnih kompanija dok se 42% pošiljaka šalje putem logističkih provajdera. Uzimajući u obzir da je ukupni prihod od online prodaje fizičke robe samo u Sjedinjenim Američkim Državama dostigao preko 343 milijardi američkih dolara u 2019. godini i da se očekuje da naraste na 476 milijardi američkih dolara u 2024. godini [39], ne treba da čudi globalni trend porasta investicija u start-up kompanije koje se bave dostavom. Ovaj trend je posebno uočljiv u Kini i zemljama Azije (ilustrovano na slici 2.3), gde *crowdsourced* dostava još nije došla do punog izražaja zbog problema kao što su bezbednost, neuređenost pravne regulative i odgovornosti učesnika u procesu. Međutim, budući da je najveći deo globalnih investicija u poslednjih 5 godina – odnosno više od 75% od ukupnih investicija u start-up kompanije koje se bave dostavom – bilo u Aziji, to predstavlja dobar znak da će ove prepreke u bliskoj budućnosti biti savladane.

U prilog tome govori i činjenica da su u istom periodu kineske start-up kompanije ostvarile zaradu od oko 4 milijarde američkih dolara, od čega je najveći deo ovog novca je otišao u 6 kompanija: Cainiao, Best Logistics, New Dada, Hive Box, Yimidida i Yunniao Logistics [2].

Gde su oblasti ulaganja investicija, po geografskim regionima



Slika 2.3 Investicije u start-up kompanije koje se bave dostavom, po geografskim regionima [2]

Lideri i veće kompanije u domenu maloprodaje takođe eksperimentišu sa novim modelima dostave. Dostava u toku istog dana se već uveliko testira od strane Amazon-a, eBay-a [40] i Google-a [41]. Walmart, koji je jedan od vodećih lanaca maloprodaje u SAD i ima ogroman broj kupaca, pruža im mogućnost da prilikom plaćanja robe na kasi kažu trgovcu gde žive i preuzmu paket za korisnika koji ga je naručio online, a koji živi na njihovom putu do kuće. U slučaju da prihvate, Walmart korisnicima u objektu nudi popust na račun za kupovinu da bi se pokrili troškovi goriva za dostavu preuzetog paketa. Takođe, ova kompanija vodi nekoliko projekata kao što je Walmart to Go (u partnerstvu sa Fedexom) za dostavu u toku istog dana [42] ili kao što je program sa organizacijom Waymo u mestu Chandler (SAD) gde autonomno vozilo preuzima korisnika koji je naručio namirnice online, dovozi ga u radnju da preuzme namirnice i nakon toga ga vraća na izvornu lokaciju [43]. Amazon radi na projektu koji se naziva *On my way* [44], a koji se odnosi na trgovce u urbanim prostorima koji plaćaju zainteresovanim fizičkim licima male nadoknade za dostavu. U okviru njega, korisnici mogu da preuzmu svoj paket i prilikom toga preuzmu pakete koje su naručili korisnici on-line

radi dostave (na sopstvenu odgovornost). U septembru 2013. DHL je lansirao *MyWays* platformu [45], koja olakšava dostavu pošiljki do krajnjih korisnika u Stokholmu putem *crowdsourcinga*. Platforma omogućuje pojedincima koji zahtevaju fleksibilnu dostavu da se povežu sa onima koji putuju i koji prihvataju da dostavljaju pakete čija je adresa za dostavu u okviru njihove uobičajene dnevne rute za minimalne nadoknade. Nakon registracije na *MyWays* platformu, korisniku je omogućeno da specificira vreme i mesto za dostavu pošiljke, kao i nadoknadu koju je spreman da plati za dostavu. Specifičnost ove platforme je to da se fokusira primarno na ljude koji regularno prolaze pored DHL servisnih tačaka u okviru drugih dnevnih aktivnosti (npr. odlazak na posao i povratak sa njega) i koji ne razmišljaju o višestrukim turama kao izvoru dodatnog prihoda.

Većina prethodno nabrojanih projekata je povezana sa problemom negativnog uticaja transporta na životnu sredinu, a u poštanskom sektoru štetan uticaj transporta i dostave postao je nezaobilazna tema. Poštanski sektor troši veoma velike količine prirodnih resursa i emituje značajne količine štetnih gasova koji direktno utiču na globalne klimatske promene. Iz tih razloga, poštanski sektor ulaže napore za rešavanje ovog problema kroz primenu i investiranje u razvoj novih tehnologija, u cilju smanjenja emisije CO_2 .

Problemima i različitim pitanjima održivog razvoja u poštanskim sistemima bavi se Svetski poštanski savez (eng. *Universal Postal Union (UPU)*), a već 1994. god je pokrenuo Program zaštite životne sredine osnivanjem Radne grupe za pitanja životne sredine sa ciljem da podržavanja poštanskih operatora u naporima da integrišu održiv razvoj u aktivnosti koje realizuju [46].

Strategija iz Dohe 2013. godine, u okviru realizacije cilja "jačanje održivog razvoja poštanskog sektora" daje osnovne pravce i inicijative [47] :

- Nadgledanje i podizanje svesti o uticaju poštanskih aktivnosti na životnu sredinu;
- Pružanje podrške inicijativama koje se odnose na društvenu dimenziju održivosti;
- Provera da li se proizvodi i usluge poštanskog sektora koriste na održiv način;
- Sprovođenje akcija i kampanja radi podizanja odgovornosti i svesti prema životnoj sredini, društvu i korporaciji;
- Kreiranje baza podataka o sopstvenim emisijama štetnih gasova.

Poštanski operatori širom sveta imaju u vidu činjenicu da moraju realizovati brze akcije po pitanju smanjenja emisije štetnih gasova, a u izveštajima [48] i [49] dat je prikaz rešenja pomenutog problema kod pojedinih poštanskih operatera:

- Itella (Finska) ima za cilj da smanji emisiju štetnih gasova u svim aktivnostima koje realizuje. Prešli su na električnu energiju koristeći obnovljive izvore energije u centrima za sortiranje. Od 2011. god. 100% električne energije koju koristi Itella u Finskoj je „zelena“ i Itella je redukovala emisiju ugljen-dioksida u Finskoj na 15%.
- Royal mail je uvođenjem preko 300 *double decker* prikolica u stanju da prevozi 50% više u jednom vozilu, a to je imalo za posledicu umanjanje godišnje kilometraže od 7,6 miliona milja i smanjivanje emisije CO_2 za 7,000 tona .
- Poste Italiane ima najveći vozni park na metanski pogon u Evropi, a u svom posedu ima preko 1.300 (metan / benzin) vozila i uočili su važnost održivog razvoja i smanjenja uticaja na životnu sredinu. Od 2009. godine realizuju projekat postavljanja solarnih panela na najveće objekte, a 2012. godine Italijanska pošta je imala 3 solarna panela u tri različita mesta, a što je dovelo do redukcije 181 tone karbonske emisije.
- Vozni park Belgijske pošte je u ukupnoj emisiji 2015. godine imao udela CO_2 oko 77%. Imajući u vidu ozbiljnost problema, uveli su određeni broj električnih bicikala za dostavu. Pored ovoga realizuju i različite programe obuke vozača u cilju smanjenja uticaja na životnu sredinu.
- Slične projekte realizuje i Portugalska pošta koja je u cilju smanjenja emisije štetnih gasova, sprovodi obuke vozača o ekološkoj vožnji, a efekti ove obuke su pokazali da je moguće redukovati CO_2 emisiju za oko 1,700 tona godišnje.
- Kao i prethodno pomenute poštanske uprave i Švajcarska pošta ima preko 5,000 električnih skutera i 100 kombi vozila koja koriste biogas i "ecofriendly" dizel za pogon. Ovim pristupom su ostvarili uštedu u emisiji CO_2 za više od 1,100 tona u 2015. godini.

Primera radi u radu [50] prikazana je ukupna godišnju emisija CO_2 za 231 vozilo koja se koriste u poštanskom saobraćaju Javnog poštanskog operatora na teritoriji AP Vojvodine, uzimajući u obzir 7 gradova (Novi Sad, Subotica, Zrenjanin, Kikinda, Sombor, Sremska Mitrovica i Pančevo). Vozila kao pogonsko gorivo koriste dizel (93,94%) i benzin (6,06%). Za proračun emisije CO_2 je korišćen *My Climate Carbon Footprint Calculator* koji je deo *My*

Climate projekta. My Climate projekat je započeo 2002. godine u Švajcarskoj. Cilj projekta je da poveća efikasnost zaštite životne sredine na lokalnom i globalnom nivou. Ovaj projekat je prezentovan u 9 zemalja: Nemačka, Austija, Švedska, Norveška, Luksemburg, Grčka, Ujedinjeni Arapski Emirati, Japan [51]. U oblasti saobraćaja ovaj kalkulator daje mogućnost za proračun emisije CO_2 kod vazdušnog, drumskog i vodnog saobraćaja i determiniše CO_2 emisiju koja nastaje tokom kretanja prevoznog sredstva. Kao ulazne parametre za laka teretna vozila drumskog saobraćaja koristi: pređenu kilometražu (km), vrstu goriva (benzin, dizel, prirodni gas, biogas) i prosečnu potrošnju goriva (l/100 km) [52].

Studija je pokazala da se najveća količina CO_2 u toku godine emituje na teritoriji grada Novog Sada (724,453 t). Na teritorijama gradova Pančeva i Sremske Mitrovice u upotrebi se nalazilo 32 vozila i emitovanjem po 350 t CO_2 godišnje. Vozila poštanskog saobraćaja koja se koriste na teritoriji Kikinde (12 vozila) generisala su 65,6 t CO_2 godišnje [50].

Pored prethodno navedenih projekata u oblasti zaštite životne sredine, koncept *crowd-sourced* dostave se nameće kao jedno od potencijalnih rešenja. *Crowdsourced* dostavne kompanije brzo se razvijaju, a uključuju prepoznatljive kompanije kao što su DoorDash [53], Postmates [54], Kanga [55], Hitch [56], UberEats [57], Roadie [58], Nimber [59], UberFreight [60], BuddyTruk [61] i Truxx [62]. Većina njih, osim kompanija koje vrše prevoz pošiljki kamionom, usluge pružaju na lokalnom nivou (obično nivo grada ili prigradskog naselja). Neke od njih, kao što su Deliv [63], Postmates, Roadie i Kanga obavljaju dostavu svih pošiljaka sa izuzetkom kratke liste zabranjenih pošiljaka. Druge kompanije kao što su UberEats i DoorDash se fokusiraju uglavnom na dostavu hrane. UberEats je, na primer, sklopio partnerstva sa lokalnim restoranima i obezbeđuje dostavu njihovih obroka, dok DoorDash obezbeđuje dostavu iz bilo kog restorana kao i dostavu namirnica. Shipt [64] i Instacart [65] obezbeđuju dostavu namirnica i zahtevaju nezavisne ugovarače koji ne rade samo dostavu do korisnika već i obavljaju kupovinu za njih u okolnoj radnji sa namirnicama. Kanga i Hitch se, za razliku od UberEats i DoorDash kompanija, primarno fokusiraju na dostavu od i do pojedinaca više nego na dostavu dobara koja obezbeđuju druga preduzeća, tj. povezuju ljude koji žele da pošalju i prime paket ili pošiljku sa vozačem koji je voljan da obavi dostavu. Sve platforme, sa izuzetkom Hitch i Roadie, pretpostavljaju da vozači obavljaju namenska putovanja samo da realizuju dostavu i ne moraju nužno da idu u tom pravcu u sklopu drugih dnevnih aktivnosti. Hitch i Roadie, sa druge strane, spajaju dostavni zahtev sa unapred planiranim putovanjem kurira.

Što se tiče kompenzacije koju dostavljači dobijaju za izvršen rad, ona se utvrđuje prema različitim modelima koji imaju odgovarajuće prednosti i mane a u praksi se često susreću tri velike grupe:

- **Kompenzacija na sat** – gde je osnovna prednost predvidivost u kompenzacionim šemama koja je privlačna vozačima koji preferiraju siguran priliv sredstava za vreme planiranih časova. Glavni izazov sa kojim se suočavaju dostavni sistemi koji se oslanjaju na ovaj model je predviđanje potrebe za dostavom i brojem vozača koji su potrebni za ove dostave, koji se ponekad prevazilazi uvođenjem posebnih vremenskih blokova dostava na zahtev (u realnom vremenu) u slučaju da planirani vozači nisu dovoljni da izađu u susret trenutnim potrebama. Međutim ovi vremenski blokovi na zahtev dolaze sa većim nivoom rizika kako dostupnost vozača nije garantovana. Ovo može smanjiti nivo usluge povećanjem procenta zahteva koji nisu ispunjeni obećanim vremenom dostave.
- **Kompenzacija po dostavi** – koja predstavlja najčešće korišćen vid kompenzacije u *crowdsourced* dostavnim sistemima, gde se naknada računa putem prethodno definisanih formula. Ove formule zavise uglavnom od faktora kao što su pređena kilometraža, vreme čekanja, veličina paketa, termin dostave i potreba za parkiranjem. Većina sistema u okviru ove šeme za plaćanje nema garantovano plaćanje za vozača, tj. ukoliko je vozač dostupan ali nije spojen sa dostavnim zadatkom onda ne prima nikakvu nadoknadu. Za ovakve kompenzacione šeme dostupnost vozača i održavanje njihove lojalnosti predstavljaju glavni izazov. Ukoliko se u praksi desi da su zarade mnogo manje od oglašenog potencijala za zaradu, vozači mogu da izaberu da ne učestvuju u ovakvom dostavnom sistemu što može da vodi nedostatku vozača i posledičnim stvaranjem nepoverenja u efikasnost sistema od strane naručilaca.
- **Dostavljač i kupac determinišu kompenzaciju** – gde se dostavljač i kupac direktno dogovaraju o dostavnim cenama a platforma za njihovo spajanje uzima posredničku proviziju. Ova šema plaćanja se nudi od strane nekih sistema sa "spajanjem putem oglasne table" gde su pojedinci odnosno fizička lica primarno ciljno tržište. Takvi sistemi mogu da dostavljati mnogo različitih pošiljaka, bilo da je u pitanju kratka ili duga linija a njihov glavni izazov je nepostojanje garancije da će doći do spajanja ponude i potražnje, što može dovesti do utiska da je sistem nepouzdan.

Amazon Flex je primer sistema iz prve grupe, koji plaća vozača po satu od momenta kada se on ili ona pojavi u distribucionom centru i garantuje vozačima finansijsku nadoknadu po času provedenom u sistemu, bez obzira na broj dostavih zahteva, dok Kanga na primer, pruža mogućnost kupcu proizvoda koji treba da se dostavi i vozaču da se direktno dogovore o ceni dostave dok sama platforma naplaćuje samo uslugu za njihovo povezivanje (odnosno spada u treću grupu). DoorDash, koji je specijalizovan za polje restoranske dostave, spada u drugu grupu kompenzacionih šema ali nudi dostavljačima i povremeno promocijono garantovano minimalno plaćanje za vreme časova u kojima se očekuje visoka potražnja, kao što su vreme ručka i večere. Deliv je izuzetak i primer kompanije koja posluje po modelu iz druge grupe ali garantuje minimalno plaćanje za vozače koji nisu spojeni ni sa jednim dostavnim zahtevom.

U pogledu zahteva koje zainteresovana fizička lica moraju da ispune kako bi mogla da se uključe u *crowdsourced* sisteme dostave, oni donekle variraju ali imaju zajednički imenilac da je za angažovanje neophodno posedovati validnu vozačku dozvolu bez kaznenih poena (saobraćajnih prekršaja) i pouzdano vozilo: bicikli, automobil, kamion ili kombi. Kod Truxx-a se svaki vozač dodatno proverava u pogledu kriminalnog dosijea.

Takođe je moguće napraviti i klasifikaciju *crowdsourced* sistema u odnosu na način planiranja koji koriste i mehanizma za spajanje ponude i potražnje, te ih podeliti u četiri grupe [66]:

1. **Čisto samo-planiranje, samo-zakazivanje** – gde dostavni servisi koriste fleksibilnost radnih časova kao stavku koja privlači *crowdsourced* dostavljače, a različiti servisi koriste različite nivoe takve fleksibilnosti. Sistem koji omogućava čisto samo-zakazivanje je temelj platformi koje ne zahtevaju od vozača da navedu časove kada su dostupni. Kada je dostavljač dostupan i voljan da bude spojen sa dostavnim zahtevom, prijavljuje se na mobilnu aplikaciju i drži aplikaciju u stanju pripravnosti. Kada se pojavi pošiljka čije je preuzimanje u okviru specificiranog radijusa gde se nalazi dostavljač, on se obaveštava putem aplikacije o prispelom zahtevu i može da da prihvati ili odbije ponudu. Primeri platformi za *crowdsourced* dostavu koje prate ovaj mehanizam planiranja i spajanja su: Postmates, DoorDash i UberEats kada je u pitanju dostava automobilima ili biciklima, odnosno Truxx i BuddyTruk za dostavu kamionom.
2. **Hibridno i centralizovano planiranje** – centralizovani pristupi planiranju zahtevaju od vozača da unapred definišu svoju dostupnost putem mobilne aplikacije (odaberom predefinisanih termina smena koje najviše odgovaraju njihovom ritmu života), nakon

čega dobijaju dostavne ponude u tim terminima. Smene odnosno raspored pretpostavljene dostupnosti vozača se objavljuju unapred do 7 dana, a dodatne smene na zahtev mogu se objavljivati putem aplikacije tokom dana. Amazon Flex, Deliv, Instacart i Shipt prate ovaj tip planiranja i spajanja. Ovaj sistem planiranja i spajanja je najbliži tradicionalnim dostavnim servisima koje koriste kompanije sa sopstvenim dostavnim sredstvima, pošto su dostupnost i kapacitet više predvidivi.

3. **Spajanje na putu** – za ovaj tip spajanja, dostavljači se spajaju sa dostavnim zahtevom koji se nalazi na njihovoj ruti unapred isplaniranog putovanja. Dostavljač na mobilnu aplikaciju unosi datum, vreme, mesto polaska i destinaciju predstojećeg putovanja, nakon čega sistem spaja dostavljača sa dostavnim zahtevom na već isplaniranom putu, uzimajući pri tome u obzir ograničenja koja je on definisao u obliku maksimalnog odstupanja u pogledu distance ili utrošenog vremena od originalno planirane rute. Takav mehanizam spajanja približno odgovara *ride-sharing* problemu, koji ima za cilj da spoji vozače sa onim koji putuju na njihovom putu, sa malim mogućim odstupanjima.

4. **Spajanje putem oglasne table** – u koje se ubrajaju sistemi koji jednostavno objavljuju putem odgovarajuće platforme dostavne zahteve a dostavljači ih preuzimaju prema sopstvenom nahođenju. U takvim sistemima, ne koriste se algoritmi za automatsko spajanje dostavljača i dostavnog zahteva, a spajanje se uglavnom vrši putem proste razmene informacija. Walmart Spark Delivery prati takav sistem, gde se narudžbe sa njihovom pripadajućom destinacijom i rokovima prenosa postavljaju na aplikaciju i dostavljači preuzimaju narudžbu koju mogu da realizuju. DHL MyWays i Kanga takođe primenjuju ovaj pristup, gde se zahtevi postavljaju i dostavljači sami spajaju. PiggyBee [67] i Nimber [59] su implementirali hibridni sistem koji se oslanja na ovaj model, ali se prilikom spajanja dostavnih zahteva i potencijalnih dostavljača takođe uzima u obzir dostavljačeva prethodno planirana ruta. U PiggyBee putnik/prevoznik postavlja svoj plan putovanja a korisnik koji želi da pošalje ili primi nešto duž raspoložive rute kontaktira dostavljača koji njome putuje sa informacijama o dostavnom zahtevu i oni se dogovaraju o ceni. Nimber sa druge strane problemu pristupa na obrnuti način, tako da se lista zahteva konstantno održava a vozač odnosno dostavljač može da pogleda zahtev koji odgovara njegovim planovima putovanja. Ukoliko ni jedan nije dostupan, vozač može da unese svoje buduće planove putovanja i bude obavešten kada dostavni zahtev postane dostupan duž predefinisane rute. UberFreight koji omogućava teretni prevoz takođe koristi ovaj tip spajanja gde se dostavni zahtevi postavljaju na aplikaciju

a vlasnik kamiona ili sličnog teretnog vozila bira teret i zahtev koji je u stanju da preveze.

Crowdsourced dostava se uglavnom fokusira na dostavu paketa u toku istog dana, a u naučnoistraživačkoj literaturi problem dostave u toku istog dana je istraživani od strane različitih autora, kao što su Boyer i drugi [68] i Campbell i Savelsbergh [69] dok su na primer Gendreau i drugi [70] i Van Hentenryck i Bent [71] svoje istraživačke napore usmerili ka kurirskim servisima koji mogu da se iskoriste i za pružanje usluga dostave. Ova i slična istraživanja dostave u toku istog dana su pokazala da rokovi prenosa i promena zahteva na strani potražnje mogu značajno da utiču na performanse posmatranih sistema, što je dovelo do dodatnih istraživanja u domenu optimizacije voznog parka [72] i determinisanja održivosti *crowdsourced* dostave. Posedovanje i angažovanje transportnih sredstava po potrebi privlači i pažnju istraživača iz domena operacionih istraživanja. Andersson [73] i drugi pored operativne troškove koji nastaju u slučajevima posedovanja sopstvenog voznog parka sa onima koji su rezultat upotrebe iznajmljenih transportnih sredstava i predlažu mere za njihovu minimizaciju. Hoff i drugi [74] su u svojoj studiji proučili problem kombinovanja voznog parka (eng. "*fleet mix problem*") i predložili kompromis između posedovanja i unajmljivanja prevoznih sredstava.

Archetti i drugi [75] razmatraju situaciju u kojoj kompanija koja vrši on-line prodaju i dostavu proizvoda pored svog voznog parka može da angažuje povremene vozače koji su voljni da obave jednu dostavu koristeći svoje vozilo u zamenu za minimalne kompenzacije, ukoliko lokacija za dostavu nije previše daleko od njihove destinacije. Oni su bili prvi koji su modelovali problem *crowdsourced* vozača u logističkim mrežama, modelovanjem problema rutiranja vozila sa povremenim vozačima. Razmotrili su proširenje klasičnog problema rutiranja vozila uvođenjem opcije izmeštanja dela obavljanja dostave povremenim vozačima. *Ad hoc* vozači i online narudžbe u njihovom modelu dolaze prema uniformnoj raspodeli, pa je dostupnost vozača izvesna, a vozači su kupci koji se nalaze u marketu, a koji su voljni da izvrše dostavu na putu ka svojoj kući. U studiji takođe razmatraju i slučaj kada su vozači voljni da naprave nekoliko "stopova", odnosno stajanja na putu do kuće i kada na taj način mogu da kompletiraju više od jednog dostavnog zadatka (polazište ne mora da bude nužno market gde vozač inicijalno kupuje). Razmatrali su 3 različita slučaja dostavne mreže: jedna ka više, nekoliko ka više, više ka više. Jedna ka više podrazumeva da su sva preuzimanja pošiljaka u jednoj lokaciji: prodavnica u kojoj vozač kupuje. Nekoliko ka više podrazumeva da je vozač preuzeo pakete sa malog broja lokacija (preuzimanje ne mora da bude u radnje gde on kupuje namirnice), dok više ka više mreža podrazumeva da svaki dostavni zadatak ima jedinstvenu lokaciju preuzimanja i dostavnu lokaciju. Iz tih razloga su

neke pretpostavke pojednostavljene u ovom problemu. Autori predlažu multi-start heuristiku kojom se naručiocima "pohlepno" (eng. *greedily*) dodeljuju povremenim vozačima i to rešavanjem manjeg skupa problema celobrojnog programiranja (eng. *integer programming*), koji određuju podskup korisnika koji se služe povremenim vozačima. Predloženi model mešanog celobrojnog linearnog programiranja (eng. *mixed integer programming model*) je statičan i pretpostavlja da su i zahtevi i povremeni vozači tj. njihova dostupnost poznati pre nego što planirani period za dostavu krene. *Multi start* heuristika proizvodi rešenja sa manjim greškama u odnosu na optimalna rešenja koja se dobijaju *integer programming* formulacijom. Drugo pojednostavljenje modela podrazumeva da se povremeni vozači mogu spojiti sa najviše jednim dostavnim zadatkom, da bi se izbegla potreba za razmatranjem rutiranja. Ova studija je pokazala potencijal korišćenja povremenih vozača u cilju redukcije dostavnih troškova, a fokusirana je primarno na broj i prilagodljivost povremenih vozača i primenjene kompenzacione šeme. Glavni cilj rada je bio da se uoče potencijalne prednosti koje se ostvaruju zapošljavanjem povremenih vozača i daljim proučavanjem *crowdsourcinga* u sistemima za dostavu kao i da se dobiju inicijalna razumevanja potencijalnih prednosti i implementacionih izazova u ovakvim sistemima. Autori su zaključili da postoji potencijal za značajne uštede kada postoji veliki broj ljudi koji vrše dostave sa velikom količinom fleksibilnosti, koji u dobroj meri zavisi od kompenzacije koja se nudi. Eksperimentisali su sa 2 kompenzacione šeme od kojih je jedna bazirana na udaljenosti dostavne destinacije a druga na devijaciji od vozačeve originalne rute, a potonja šema se pokazala kao prihvatljivija.

Problemom dizajniranja efikasnog algoritma za spajanje bavili su se Setzke i drugi [76], a dizajnirali su algoritam koji spaja vozače i dostavni zahtev koji je baziran na već isplaniranoj ruti ili dnevnim putovanjima. Problem se modeluje kao problem "maksimalni-protok minimalni-troškovi" (eng. *max-flow min-cost*) na bipartitnom grafu, gde grana postoji ukoliko je zahtev vremenski izvodljiv u odnosu na putovanje vozača. Troškovi svakog čvora predstavljaju dodatna vremena koja vozač mora da utroši prilikom sprovođenja dostavnog zahteva. Cilj je da se uspostavi algoritam koji daje vozaču dobra spajanja mogućih dostavnih zahteva, gde vozač može da preuzme pošiljku sa bilo koje lokacije (ne mora biti u marketu ili distribucionom centru).

Arslan i drugi u svojim povezanim studijama [77] i [78] razmatraju *peer-to-peer* platformu putem koje se vrši automatsko povezivanje paketa koje treba dostaviti i *ad-hoc* vozača. U cilju da se istraže potencijali *crowdsourced* dostave, autori uvode varijantu dinamičkog *pickup and delivery* problema koja ima za cilj da iskoristi postojeći kapacitet saobraćajanih tokova u urbanim prostorima. Oni podrazumevaju da je vozni park namenskih vozila uvek

dostupan, da bi se garantovala izvodljivost dostave, a *ad hoc* vozači označavaju svoju zainteresovanost za zaustavljanjem vozila na putu do kuće putem predložene platforme. Egzaktni algoritmi se koriste u cilju određivanja svih mogućih spajanja vozača sa poslovima dostave, gde se posao sastoji od jednog dostavnog zadatka do četiri dostavna zadatka koja je moguće grupisati zajedno imajući u vidu vremenska ograničenja. U studiji, autori predlažu okvir i precizne pristupe za rešavanje različitih problema. Za poslove koji se sastoje više od jednog dostavnog zadatka, sve izvodljive rute su nabrojane i odgovarajuće tehnike redukcije bazirane na teoretskim opažanjima su korišćene u cilju određivanja mogućih ruta. Heuristika je takođe predložena zbog eliminisanja neobećavajućih poslova i ruta, a na taj način se smanjuje ukupan broj koji se uzima u obzir. Nakon pokretanja niza računarskih simulacija koje su za cilj imale bolje razumevanje potencijalnih prednosti *crowdsourced* dostave a koje su se bazirale na različitim pretpostavkama o okruženju i ponašanju *ad-hoc* vozača, autori su došli do rezultata koji ukazuju na to da upotreba *ad-hoc* vozača ima potencijal da dostavu učini troškovno prihvatljivijom i da redukuje ukupnu kilometražu neophodnu da se savlada prilikom dostave paketa. Vremenska fleksibilnost i spremnost za zaustavljanjem *ad-hoc* vozača su pokazali značajan uticaj na performanse sistema. Nakon poređenja performansi *crowdsourced* dostavnog sistema sa dostavnim sistemom gde svi se dostavni zadaci sprovedu od strane namenskih vozača, rezultati su pokazali prednosti korišćenja *ad-hoc* vozača u odnosu na vozni park sastavljen isključivo od namenskih vozila.

Dayarian i Savelsbergh [79] modeluju *crowdsourced* dostavni problem kao dinamički problem. Ono što je bitno istaći je da je u ovoj studiji bilo dozvoljeno spajanje najmanje jednog dostavnog zadatka privremenom vozaču za koga se takođe pretpostavlja da je korisnik radnje. Dva dinamička modela su razmatrana, mioptički (eng. *myopic*) koji ne uzima u obzir informaciju o budućim dolascima zahteva za dostavom i dolascima vozača i drugi koji podrazumeva planiranje jednostavnog scenarija, kada se procenat dolazaka vozača i online narudžbi u prošlosti koriste za predviđanje budućeg stanja sistema u cilju optimizacije planiranja. Maksimalni težinski problem spajanja (eng. *maximum weighted matching problem*) se u studiji rešava da se odredi optimalno spajanje narudžbi sa vozačima, gde se veća težina daje hitnim narudžbama i narudžbama koje su daleko od radnje. Narudžbe koje nisu spojene sa povremenim vozačima se realizuju od strane namenskih vozila koje poseduje prodavnica. Poseban problem rutiranja vozila sa višestrukim putovanjima (*multi-trip vehicle routing problem with release and due times*) se takođe rešava da bi se odredila optimalna ruta namenskih vozila. Zbog dimaničke prirode problema, tabu pretraga (eng. *Tabu search*) se koristi da se brzo generišu prihvatljive rute vozila u skoro realnom vremenu. Jedno od bitnih ograničenja studije je pretpostavka da su direktni troškovi dostave putem privremenih vozača

jednaki nuli i da su oni zadovoljeni kompenzacijom kroz svojevrsan "kredit" u prodavnici.

Nasuprot prethodnim studijama Kafle i drugi [80] proučavaju *crowdsourced* problem tako što posmatraju bicikliste i pešake kao dostavljače. Pretpostavlja se da su oni blizu korisniku i da su zainteresovani da dostavljaju pakete koje preuzimaju od vozača kamiona koji predstavlja svojevrsno mobilno centralizovano skladište. Predviđeno je da oni obavljaju poslove dostave i preuzimanja pošiljke. Proučili su hibridnu mrežu, gde pešaci ili biciklisti kompletiraju poslednji korak dostavnog zadatka (ili prvi korak preuzimanja) dok se kamioni angažuju na ostatku dostave i prenosa. Autori predlažu mešoviti celobrojni nelinearni (*mixed integer nonlinear*) program kojim selektuju *crowdsourced* pojedince iz seta ponuda i određuju relejne tačke i rute kamiona. Za kamionski problem predložen je algoritam Tabu pretrage koji iterativno rešava problem određivanja pobednika (*Winner Determination Problem (WDP)*) i problem istovremenog preuzimanja i dostave sa kratkim rokovima (*Simultaneous Pickup and Delivery Problem with Soft Time Windows (SPDPSTW)*). Numerički proračuni su pokazali da ovaj pristup dostavi može da smanji broj kilometara koje kamion prelazi i ukupnu visinu troškova u odnosu na dostavu koja se realizuje samo kamionom. Prednosti ovog sistema u odnosu na dostavu isključivo namenskim kamionom su smanjena osetljivost na faktore poput kazni ukoliko se ne izvrši usluga dostave u rokovima i niži ukupni operacioni troškovi.

Za razliku od dinamičkih varijanti koje su navedene u studijama [79], [77], Gdowska i drugi [81] modeluju *crowdsourced* dostavni problem kao stohastički problem na dva nivoa (eng. *bi-level*), gde se na prvom nivou modeluju korisničke narudžbine koje se prosleđuju privremenim dostavljačima, a na drugom se rešava problem trgovačkog putnika koji uzima u obzir kapacitet (eng. *capacitated traveling salesman problem*). U ovoj studiji se razmatra slučaj kupaca u radnji koji su voljni da obavljaju dostavu on-line porudžbina na svom putu kući u svojstvu povremenih dostavljača. Autori su kao novinu uveli verovatnoću koja predstavlja volju svakog dostavljača da prihvati dostavu do on-line kupaca i analizirali uticaj njihovih potencijalnih odluka na ukupne troškove dostave odnosno na ukupne dostavne troškove koji su asocirani sa nadoknadama povremenim vozačima i dostavnim troškovima profesionalnih vozača koji se koriste za dostavu preostalih pošiljaka (koje ne dostave privremeni dostavljači). Pošto podaci iz realnog sveta nisu bili na raspolaganju autorima studije u vreme njenog izvođenja, koristili su računarske simulacione modele za ilustraciju mogućnosti pristupa i određivanje uskih grla sistema. Rezultati istraživanja sugerišu osnovne cenovne šeme za kompenzaciju vozačima koje su bazirane na dostavnoj lokaciji i veličini paketa, nezavisno od vozačeve finalne destinacije, a autori takođe naglašavaju neophodnost kreiranja

različitih profila nadoknada za privremene vozače.

Istraživači su se fokusirali i na ekonomsko glediše *crowdsourced* dostave. Qi i drugi [82] proučavaju problem *crowdsourced* dostave sa ekonomskog aspekta i porede ga sa tradicionalnom dostavom. Ova studija je prvi pokušaj da se dizajnira i analizira potencijalni logistički sistem deljenja koji je baziran na analitičkim modelima i empirijskom procenom parametara. Autori proučavaju mrežu koja sadrži više dostavnih terminala, koji se ponašaju kao pretovarni čvorovi. Dolazne pošiljke se otpremaju uz pomoć kamiona provajdera usluga, dok se odlazne pošiljke kompletno procesiraju uz pomoć vozača sa deljenom mobilnošću (eng. *shared-mobility drivers*). Autori pretpostavljaju da su vozači uvek dostupni i slažu se da je jedna od glavnih karakteristika deljene mobilnosti priroda jednog smera, tj. automobil počinje "izlaz" dolazeći na prvu zahtevanu destinaciju i servis se završava kada dostavi poslednji paket. Autori razvijaju kontinualni model za procenu (eng. *continuous approximation model*) radi proučavanja problema rutiranja vozila sa kojim se suočavaju vozači. Autori takođe predlažu model kompenzacije koji podrazumeva da je vozač voljan da učestvuje u dostavnom servisu samo ako je plaćen. Razmatraju takođe i više primenljiv slučaj kada se unajmljuju za jedinstvenu svrhu realizacije dostave, ali sa fleksibilnim časovima.

Devari i drugi u svom radu [83] razmatraju prednosti eksploatacije društvenih mreža u dostavi. Proučili su rezultate ankete koju su sprovedili sa ciljem da ispituju volju ljudi da realizuju dostavu prijatelju (odnosno konekciji na društvenim mrežama) na svom putu kući iz maloprodajnog objekta u kojem su obavljali redovnu kupovinu. Nakon toga su upotreбили logističku regresiju da upotrebom relevantnih atributa modeluju verovatnoću da će se osoba složiti da realizuje dostavu članu svoje društvene mreže, i zaključili su da ovakve dostavne šeme imaju dosta potencijala i da ispravno implementirane mogu značajno smanjiti upotrebu motornih vozila u urbanim sredinama (i posledično redukovati emisiju štetnih gasova u okruženje) kao i redukovati ukupne dostavne troškove.

Imajući u vidu sličnosti *crowdsourced* sistema sa *ride-sharing* sistemima, jako je bitno razmotriti i rešenja vezana za ovaj sistem. Agatz i drugi [84] predlažu pristup baziran na optimizaciji, odnosno da se problem *ride-sharing* modeluje dinamički i daju predloge za unapređenje ukupnih sistemskih performansi. Konstatuju da su mobilne tehnologije glavni katalizator u modernim dinamičkim *ride-sharing* sistemima, koje su interfejs ka platformama koje grupišu putnike sa sličnim itinererima i vremenskim terminima kako bi im omogućile da podele vožnju spajajući ih u veoma kratkom roku. Ovaj rad proučava problem spajanja vozača i onih koji putuju u ovim dinamičnim uslovima. Kreirana je optimizacija koja ima

za cilj da minimizuje ukupne pređene kilometre korisnika sistema i njihovih individualnih troškova putovanja. Predstavljena je simulaciona studija koja je bazirana na podacima potražnje putovanja za grad Atalantu iz 2008. godine. Simulacija je pokazala da unapređene optimizacione metode vode unapređenju performansi ovakvih sistema u odnosu na tradicionalno pohlepno ("greedy") spajanje. Upotreba naprednih optimizacionih metoda vodi većoj verovatnoći kvalitetnog spajanja vozača sa putnicima koj žele vožnju i na taj način doprinosi ukupnoj uštedi u troškovima i vremenu putovanja.

Furuhata i drugi u [85] predstavljaju sistem klasifikacije postojećih sistema za deljenje vožnje i predstavljaju izazove za širu upotrebu ovih sistema. Prema rezultatima studije, tri glavna izazova za organizacije koje žele da razviju platformu za deljenje vožnje su: dizajn efektivnog mehanizma za spajanje ponude i potražnje (brzo ažuriranje trenutne ponuda i cena, kreiranje podsticaja za učesnike u sistemu i tačnost podataka), ugovori i uspostavljanje i unapređenje poverenja između putnika u online sistemu. Takođe ističu još brojne izazove kao što su razmena informacija o putnicima, privatnost i bezbednosna i legalna pitanja, ali i trend platformi da se fokusiraju na dinamički *ride-sharing* u poslednjoj deceniji koji podrazumeva dinamičko spajanje vozača i putnika, što za posledicu ima smanjenje ukupne pređene kilometraže motornim vozilima i pozitivne efekte po životnu sredinu.

Stiglic i drugi [86] su istražili potencijalne benefite uvođenja tački sastajanja u sistemima za deljenje vožnje. Na taj način se povećava broj mogućih spajanja vozača i putnika i omogućava vozaču spajanje sa više putnika smanjivanjem broja neplaniranih zaustavljanja. Dizajnirali su algoritam koji optimalno spaja vozače i putnike u sistemima velikih razmera. Sproveli su obimnu simulacionu studiju u cilju istraživanja prednosti ovakvih tačaka sastajanja, a rezultati su pokazali da predloženi pristup povećava broj spojenih učesnika u sistemu kao i uštedu u ukupno pređenim kilometrima. Cena koja se "plaća" da bi se postigle ove performanse je jako mala: putnici obično moraju da prošetaju kratku distancu da malo kvalitetnije planiraju svoje vreme da bi osigurali svoju prisutnost na tačkama sastajanja u dogovorenom terminu.

Masoud i Jayakrishnan [87] predlažu potpuno fleksibilan *ride sharing* sistem koji ima za cilj da maksimizuje broj uslužbenih putnika dopuštajući vozačima takozvane *multi-hop* (više stajanja) itinerere. U studiji se diskutuje o fleksibilnom sistemu za deljenje vožnje i predlaže se algoritam za optimalno rešavanje spajanja sa putnicima u realnom vremenu. Da bi ispitali efikasnost algoritma, autori su generisali slučajane instance problema i primenili analizu osetljivosti nad bitnim parametrima sistema za deljenja vožnje pod pretpostavkom da

se putnici uslužuju po principu "prvi došao prvi uslužen". Autori se slažu da ovakav pristup vodi povećanju broja ljudi koji su usluženi i unapređenju sistema u odnosu na one koji ne dopuštaju itinerere sa više stajanja.

Li i drugi [88] su istražili mrežu u kojoj se ljudi i paketi transportuju preko postojeće taksi mreže. Oni posmatraju taj scenario sa aspekta problema deljenja vožnje (eng. *share a ride (SARP)*) i sa aspekta ubacivanja tereta (eng. *freigh insertion problem*), a modeluju ga kao mešoviti celobrojni linearni program (eng. *mixed integer linear program*). Zbog kompleksnih (i relativno dugotrajnih) proračuna neophodnih da se na ovaj način reši SARP, autori su predložili metode pojednostavljenja uz pomoć odgovarajućih tehnika uzorkovanja. Statički i dinamički slučaj oba scenarija je proučen i analiziran a rezultati ukazuju na potencijal ovakvog pristupa i pozitivne efekte koje on može da pruži koji se prvenstveno ogledaju u smanjenju ukupne distance koju je neophodno preći u okviru izvršavanja zadataka transporta ljudi i dostave.

Thomas Chabot i drugi [89] ističu da kolaborativni pristup između kompanija potencijalno nudi značajne prednosti i omogućuje sinergetske efekte za sve učesnike. Oni predlažu razvijanje partnerstava između kompanija koje dele zajedničke lokacije klijenata kako bi se sinhronizovale njihove narudžbe i predlažu da se koristi samo jedno centralizovano skladište od jednog dostavljača. Ovaj pristup, prema autorima studije, unapređuje finansijske performanse u domenu dostave i njihove aktivnosti koje doprinose njenoj održivosti.

Pan i drugi su u [90] predložili rešenje koje nastoji da iskoristi kapacitet dodatnog tovarnog prostora i konstantne mobilnosti taksista u metropolama da bi se realizovali povratni tokovi robe od korisnika do trgovca. Rešenje koje je predloženo je više održivo od postojećih, jer može da redukuje ekonomske uticaje (troškove preuzimanja i transportne troškove), uticaje okruženja (emisiju štetnih gasova, konzumaciju energije, gužve u saobraćaju u gradu) i društvene uticaje koji su posledica procesa vezanih za povratne tokove.

Fatnassi i drugi [91] istražuju potencijalne prednosti integrisanja robnog i putničkog transporta u okviru brzog tranzita u urbanim područjima rešavanjem problema periodično praznih transportnih vozila. Rezultati su pokazali da implementacija jednog ovakvog sistema vodi uštedi u vremenu i energiji. Razvijeni pristup je testiran na setu zapisa dobijenih iz realnog sistema brzog tranzita koji operiše u transportnoj mreži grada Corby u Velikoj Britaniji. Sličan problem razmatraju Masson i drugi [92], a rezultati do kojih dolaze su uporedivi sa prethodno pomenutom studijom. Mourad i drugi u [93] daju pregled literature mobilnosti

putnika kao i sistema deljene mobilnosti koji kombinuju ljude i robu.

Dosta istraživačkih napora se ulaže i oblast analize uticaja cena usluga u *crowdsourced* sistemima na njihove performanse i ponašanja na strani tražnje i ponude. Banerjee i drugi [94], na primer, modeluju cene u *ride hailing* sistemu kao mrežu čekanja i pretpostavljaju da vozači više brinu o svojim dugoročnim nego kratkoročnim zaradama. Autori u studiji pokazuju da je statička politika optimalna ako su parametri sistema deterministički, ali da je dinamička cenovna politika robusnija u odnosu na promene parametara sistema. Castillo i drugi su u [95] ukazali na to da skok cena prevoza može da eliminiše neefikasnost u tradicionalnim transportnim sistemima u kojima je zarada vozača mala zbog dugog vremena preuzimanja putnika ili robe. Uočeno je da u domenu transporta putnika u područjima sa velikom potražnjom i malom ponudom, visoke cene zaista mogu dugoročno povećati platu vozača, što potencijalno predstavlja mehanizam za balansiranje ponude i potražnje koji privlači vozače u visoko plaćene regione a forsira korisnike koji nisu voljni da plate veće cene da napuste sistem. Slično je i sa sistemima koji ekskluzivno nude restoransku dostavu kao što je UBER eats gde je privremeni skok cena takođe uobičajen. Kupcu koji naruči hranu iz restorana u vrlo prometno vreme naplaćuje se dodatna varijabilna naknada u nastojanju da se uravnoteži ponuda i potražnja. Ovo osigurava pouzdanost, to jest obezbeđuje da korisnik dobija naručeno u pravo vreme. Nasuprot tome, u drugim *crowdsourced* sistemima formiranje dinamičkih cena može biti izazovnije za praktičnu implementaciju pošto sve dostave bez izuzetka moraju biti realizovane. U takvim sistemima, ni jedna narudžbina ne sme ostati neuručena čak i u periodima visoke potražnje, a dostavni troškovi treba da ostanu relativno stabilni uz održavanje visokog nivoa kvaliteta korisničkog servisa. Pored ovog rada Castillo i drugi [96] razvili su simulacioni model, sa pretpostavkom da dostavljači koriste isključivo automobile za realizovanje dostave, a njihova brzina kretanja kroz korisničku mrežu je konstantna a udaljenost između svake lokacije i centralizovanog skladišta je aproksimirana Menhetn distancom. Ovaj rad predstavlja jedan od prvih pokušaja za ocenu efikasnosti *crowdsourced* sistema dostave, gde su vršena poređenja sa tradicionalnim sistemom dostave, kao i svojevrsan doprinos razumevanju fenomena ovakvog sistema dostave.

Većina radova koji su prikazani u pregledu literature razmatra rutiranje vozila proširenjem klasičnog problema rutiranja vozila i analizom potencijala uvođenja opcije izmeštanja dela obavljanja dostave povremenim vozačima. Glavna pretpostavka u ovim radovima je da su vozači kupci koji se nalaze u marketu-prodavnici, a voljni su da izvrše dostavu na putu ka svojoj kući. Razmatrene su opcije dodeljivanja narudžbi povremenim vozačima primenom različitih metoda heuristike i metoda lineranog programiranja. Ovakva istraži-

vanja su sprovedena u cilju dokazivanja opravdanosti potencijala korišćenja povremenih vozača u cilju redukcije dostavnih troškova, a fokusirana je primarno na broj i prilagodljivost povremenih vozača i primenjene kompenzacione šeme.

Fokus istraživača je takođe bio na efikasnom dizajniranju odgovarajuće platforme putem koje se vrši automatsko povezivanje paketa koje treba dostaviti sa *ad-hoc* vozačima i problemu dizajniranja algoritma za spajanje vozača i dostavnog zadatka na već isplaniranim rutama ili dnevnim putovanjima. Potencijali *crowdsourced* dostave istraženi su i uvođenjem varijanti dinamičkog *pickup and delivery* problema koja ima za cilj da iskoristi postojeći kapacitet saobraćajanih tokova u urbanim prostorima. Razmotrene su i varijante dodeljivanja jednog ili više dostavnih zadataka kao i varijanta angažovanja biciklista i pešaka na poslovima dostave i preuzimanja pošiljke. Sprovedeno je i par simulacionih studija koje su bazirane na setu klasičnih instanci za ovaj problem. Pored orijentacije na ovakva istraživačka pitanja istraživači su proučili i ekonomski aspekt *crowdsourced* dostave i vršili poređenja sa tradicionalnom dostavom, kao i analizu spremnosti korisnika društvenih mreža obave dostavu svojim prijateljima na putu od marketa gde obavljaju redovnu kupovinu.

Pored radova koji se odnose na *crowdsourced* dostavu proučeni su i radovi koji se odnose na aspekt deljenja vožnje i integrisanja dostave paketa putem taksi mreže zbog konstantne mobilnosti taksista u većim gradovima u cilju realizacije povratnih tokova robe, pošto imaju sličnosti sa *crowdsourced* dostavom. Ovi radovi su uglavnom takođe usmereni na proučavanje ekonomskih efekta i razmatranja poverenja u vozače u ovakvim sistemima, mogućnost kolaboracija između kompanija i dizajniranje efikasnih algoritama.

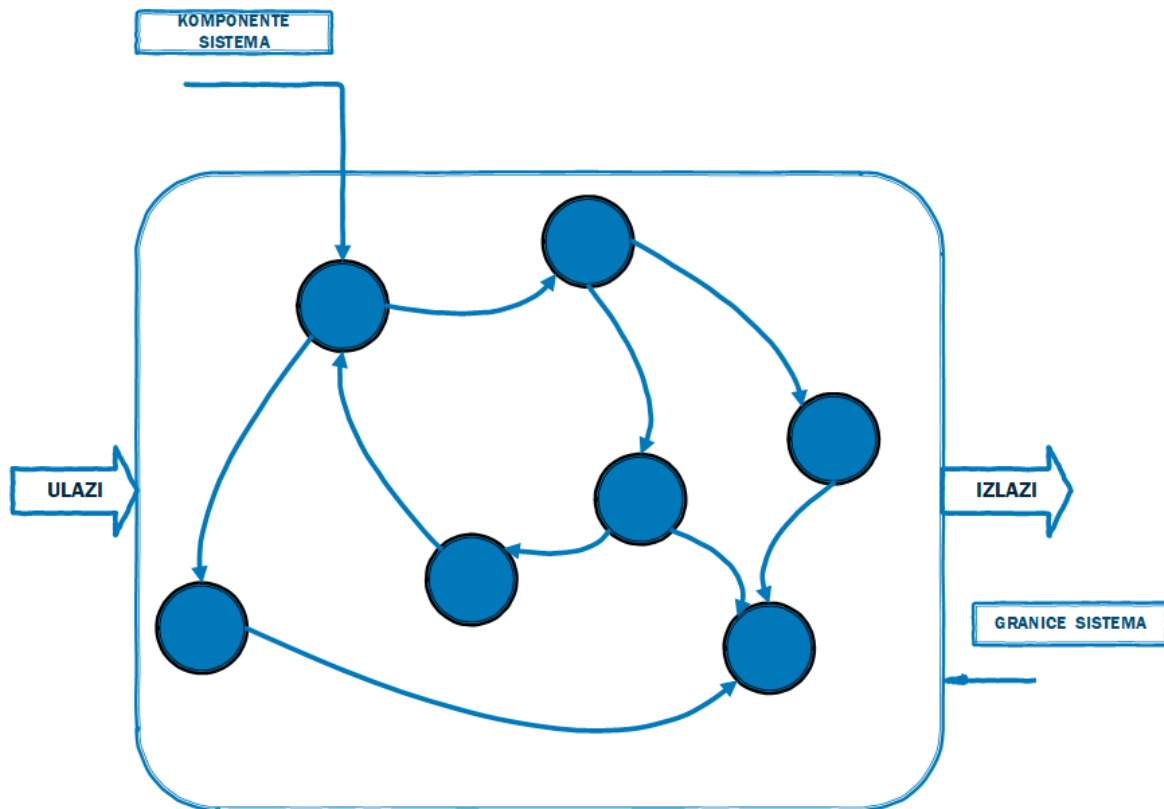
Međutim, analizom radova uočen je prostor za razvoj unapređenih simulacionih modela *crowdsourced* dostave koje uzimaju variabilnu brzinu kurira prilikom kretanja kroz mrežu, kao i ocenu efikasnosti različitih dostavnih sredstava u okruženju velikih metropola. Pošto su ovakvi sistemi veoma rasprostranjeni u današnje vreme u gotovo svim gradovima i lako je pronaći primere njihove prisutnosti u različitim domenima, od dostave hrane, preko lokalnih dostavnih centara pa sve do on-line kupovine (gde se naručeni proizvodi šalju iz centralnog magacina kompanije koja ih prodaje). Uporedo sa tim uočen je prostor za detaljnijom analizom faktora (rokova dostave i potražnje za uslugama dostave) koji utiču na ovakve sisteme. U disertaciji se modeluje *same-day crowdsourced* dostavni sistem u kojem postoji centralizovana dostavna jedinica iz kojeg se pošiljke dostavljaju korisnicima, a koji pruža usluge dostave u urbanoj sredini.

3

Metodologija

Sistem, prema definiciji koju su ponudili Blanchard i Fabrycky [97], predstavlja skup povezanih komponenti koje deluju zajedno sa svrhom postizanja nekog cilja. Komponente sistema funkcionišu u okviru granica sistema, koji kao celina funkcionišu u okviru okruženja u kojem se nalazi, što je ilustrovano na slici 3.1. Sistemi prilikom svog funkcionisanja često transformišu različite ulaze u odgovarajuće izlaze (za šta kao primer može da posluži proizvodni sistem koji transformiše sirovine u gotove proizvode), ili jednostavno reaguju na stimulanse iz okruženja (kao na primer organizacija koja cene svojih proizvoda prilagođava u odnosu na trenutnu potražnju na tržištu).

Postoje brojne podele sistema [3], koje variraju u zavisnosti od mogućih vrednosti njihove primarne karakteristike koja se posmatra; na primer sistemi mogu da se podele prema tome da li ih je kreirao čovek (na primer tehnički, društveni ili proizvodni sistem) ili su nastali prirodnim putem (kao što su atmosferski, biološki i solarni sistem). Sistemi mogu da budu i fizički (na primer glavni poštanski ili logistički centar) ili konceptualni (kao što je sistem matematičkih jednačina). Ukoliko se slučajnost procesa koji se odvijaju u sistemu posmatra kao važna osobina sistema, onda se za sisteme čiji delovi sadrže određenu dozu nasumičnosti (to jest slučajnosti) kaže da su stohastički, dok se u suprotnom (ako su svi elementi sistema potpuno određeni) oni nazivaju deterministički. Još jedan od načina da se okarakterišu sistem, odnosno ponašanje njegovih komponenti je da se posmatra njegovo ponašanje kroz vreme. Ukoliko se sistem ne menja u odnosu na vreme (ili se ne menja značajno u pogledu posmatranih veličina), tada se on naziva statički, a ako promene postoje onda se govori o dinamičkom sistemu. Ukoliko je sistem dinamički onda može da se posmatra njegov razvoj u odnosu na vreme, tako da se on naziva diskretan ukoliko se stanja posmatranih veličina menjaju samo u diskretnim trenucima u vremenu, odnosno kontinualan ako su promene ovih

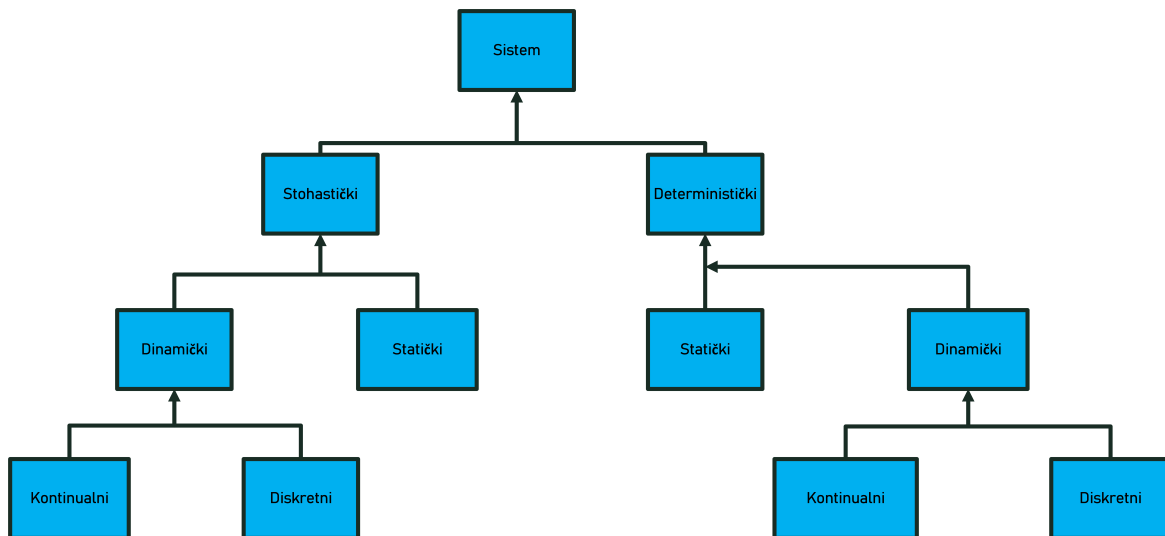


Slika 3.1 Ilustracija sistema [3]

veličina stalne (kontinualne).

Ove podele su u suštini funkcija nivoa apstrakcije i perspektive onoga ko posmatra sistem, kao i svrhe njegovog opisivanja i eventualno kasnijeg modelovanja. Ako konceptualizacija sistema kao diskretnog služi svrsi, onda sistem može da se nazove diskretan. Na slici 3.2 je ilustrovana podela sistema u odnosu na konceptualizacije koje se često koriste.

Modelovanje sistema predstavlja proces razvoja apstraktnih modela sistema, gde svaki od njih predstavlja drugačiji pogled ili drugačiju perspektivu na posmatrani sistem. Kako će biti modelovan neki pojedinačni sistem zavisi ponajviše od namene modela i toga kako se sistem doživljava – tako se često sistemi modeluju iz perspektive interakcija (kako međusobnih između komponenti sistema tako i između sistema kao celine i okruženja), ponašanja (gde se modeluje dinamičko ponašanje sistema i njegova reakcija na različite događaje kroz vreme), strukturne perspektive (gde se modeluje organizacija pojedinačnih komponenti sistema) ili eksterne perspektive (gde se modeluje kontekst ili okruženje sistema). Razvijeni modeli se koriste kako za sticanje boljeg razumevanja strukture i interakcija komponenti u sistemu



Slika 3.2 Vrste sistema [3]

tako i za analizu njegovog ponašanja. U kontekstu ovog poslednjeg, razvojem informaciono-komunikacionih tehnologija a posebno računarske tehnike, simulaciono modelovanje se izdvojilo kao veoma privlačan i relativno jeftin način da se testira (očekivano) ponašanje sistema u kontekstu identifikovane strukture, interakcije između komponenti i transformacije ulaznih u izlazne veličine uz poštovanje zadatih ograničenja bez potrebe da se svi njegovi delovi potpuno implementiraju u realnom svetu.

Simulaciono modelovanje sistema ima brojne prednosti u odnosu na njihovu praktičnu realizaciju (implementaciju u stvarnim uslovima) i naknadno posmatranje kako bi se utvrdilo kretanje veličina od interesa i opšte ponašanje sistema, od kojih su bitnije – kada se govori o računarskim simulacijama:

- Manje neophodnih resursa (kako u smislu finansija tako i u smislu vremena) za kreiranje, mogućnost simulacije retkih i/ili ekstremnih događaja, bezbednost po učesnike i etičnost – primer za sve prethodno navedene elemente može da bude kreiranje simulacionog modela širenja zarazne bolesti na globalnom nivou ili nekih prirodnih nepogoda (kao što su uragani ili zemljotresi); ovakvi događaji su poprilično retki i nepredvidivi, teško ih je ili nemoguće reprodukovati u stvarnim uslovima sa odgovarajućim nivoom realnosti, a čak i njihova pojednostavljena simulacija u realnim uslovima može biti neetična i apsolutno nebezbedna za uključene učesnike
- Varijabilna brzina izvršavanja, to jest mogućnost ubrzavanja ili usporavanja vremena u simulaciji u odnosu na realno vreme – simulirani događaji u sistemu se mogu ubrzati

u odnosu na realno vreme kako bi se simulacija brže završila i rezultati bili pre na raspolaganju (pošto su moderni računarski sistemi u zavisnosti od kompleksnosti simulacije često u mogućnosti da izvrše mnoštvo simulacionih koraka u jako kratkom vremenskom periodu) ili usporiti kako bi se detaljnije analizirali određeni aspekti sistema

- Lako testiranje različitih scenarija – kako variranjem parametara ulaznih veličina, tako i onih koji se odnose na komponente sistema ili njegova ograničenja, a koje ne zahteva dodatne napore ili troškove
- Ponovljivost i mogućnost integracije sa drugim simulacijama – jednom kada su kreirane, računarske simulacije je moguće ponoviti više puta a ukoliko se modeluju kompleksni sistemi ili interakcije između njih, moguće je ponašanje svakog sistema modelovati posebnom simulacijom i kasnije ih integrisati tako da se na primer izlazi jedne koriste kao ulazi druge

Glavna svrha simulacionog modela je, kao što može da se zaključi iz prethodno navedenog, da omogući prikupljanje zapažanja o određenom sistemu i njegovim komponentama. Sa aspekta promena koje nastaju u sistemu postoji podela na dva tipa simulacionih modela koji se razlikuju po tome da li je posmatrani sistem konceptualizovan kao diskretan ili kontinualni. Kako se diskretan sistem menja u diskretnim trenucima u vremenu, u simulacijama diskretnih događaja zapažanja se prikupljaju u izabranim trenucima u vremenu i to kada se određene promene dešavaju u sistemu. Sa druge strane, kontinualna simulacija zahteva da se zapažanja – to jest opservacije – prikupljaju kontinualno u svakom trenutku vremena (odnosno u dovoljno kratkim vremenskim intervalima). Da bi se ilustrovala razlika između ova dva tipa simulacionih modela, kao ilustracija će poslužiti veličine od interesa koje bi mogle da se beleže u okviru procesa usluga na šalteru i postrojenja za točenje nafte u tankere hipotetičkih sistema. U šalterskom sistemu, promena posmatranih veličina od interesa (koje bi mogle da budu dužina reda čekanja i broj realizovanih zahteva za uslugom) se dešava kada korisnik dođe da zatraži neku uslugu, ili kada mu neka usluga bude pružena. U svim drugim trenucima vremena, posmatrane mere ostaju nepromenjene. Iz ovih razloga i ukoliko se posmatraju samo ove veličine, ovakav sistem nema potrebe posmatrati na kontinualnoj bazi odnosno beležiti vrednosti posmatranih veličina u kratkim vremenskim intervalima u kojima se događaj od interesa nije dogodio. U slučaju naftnog postrojenja za punjenje cisterne, jedna od mera performansi koja bi mogla biti od interesa je brzina punjenja (izračunata putem izmerene količine tečnosti u cisterni u različitim vremenskim periodima). U ovom slučaju model mora biti u mogućnosti da beleži veličinu od interesa (količinu tečnosti u cisterni) u kratkim vremenskim intervalima kako bi bio u mogućnosti da simulira kretanje vrednosti

krajnjeg pokazatelja performansi (brzine punjenja). Često su i diskretna i kontinualna gledišta istovremeno relevantna prilikom modelovanja sistema i kombinuju se kako bi kvalitetnije opisali njegovo ponašanje.

Budući da je većina realnih sistema čije ponašanje treba da se analizira i modeluje putem simulacija izuzetno kompleksna i da je gotovo nemoguće identifikovati i obuhvatiti sve promenljive koje se pojavljuju u realnim uslovima, jasno je da simulacije po prirodi predstavljaju uprošćen model ponašanja sistema od interesa, koji treba što vernije da odrazi njegovo ponašanje u stvarnom svetu. Kako bi se ova verodostojnost obezbedila, to jest kako bi izlazi simulacije zaista bili upotrebljivi, ona se proverava sa četiri osnovna aspekta [98]:

- **Validacija konceptualnog modela**, koja treba da obezbedi da su teorije i pretpostavke na kojima se temelji konceptualni model tačne, odnosno da su modelska predstava entiteta koji se analizira i struktura modela, logika i u uzročne veze odgovarajuće za namenjenu svrhu modela. Teorija i pretpostavke na kojima je postavljen model treba da budu testirane koristeći matematičke analize i statističke metode nad podacima relevantnim za problem. Primeri teorija i pretpostavki su linearnost, nezavisnost podataka ili da se dolazak entiteta od interesa ponaša po Poasonovoj raspodeli. Primeri primene statističkih metoda su fitovanje distribucija na podacima, estimacija vrednosti parametra podataka ili plotovanje podataka da se determiniše da li su podaci stacionarni (na primer prilikom razvijanja modela vremenskih serija). Sve teorije moraju da budu pregledane da bi se obezbedilo da su primenjene korektno. Na primer, ukoliko se koriste Markovljevi lanci, treba utvrditi da li sistem zaista ima Markovljeve karakteristike. Takođe, tehnike validacije konceptualnog modela podrazumevaju i praćenje entiteta kroz razvijene podmodele i ceo model da se utvrdi da li je logika korektna i da li on obezbeđuje neophodnu tačnost ili zahtevane nivoe detalja. Ukoliko se pronađu neke greške u konceptualnom modelu, mora se izvršiti njegova revizija i nakon toga ponovna validacija, budući da on predstavlja temelj za sve naredne korake [98].
- **Validacija podataka**. Podaci su u simulacijama neophodni za tri svrhe: za kreiranje konceptualnog modela, za validaciju modela i sprovođenje eksperimenata to jest pokretanje same simulacije. Da bi se napravio konceptualni model, neophodno je postojanje dovoljne količine podatka o posmatranom problemu i svim relevantnim entitetima kako bi se prvenstveno razvile teorije koje će se koristiti da se on izgradi. Potom, podaci i razumevanje procesa koji su ih generisali se koriste da bi se razvile matematičke i logičke veze za upotrebu podataka u modelu putem kojih će posmatrani problem biti adekvatno predstavljen i koji će omogućiti testiranje pretpostavki koje važe za model

odnosno obezbeđivanje njegove validacije. U tom smislu, veoma je dobro ukoliko postoje podaci koji oslikavaju neuobičajene situacije ili ekstremne vrednosti, pošto mogu biti upotrebljeni da se osigura očekivano ponašanje modela. Konačno, podaci se koriste i za sprovođenje same simulacije, odnosno kao njeni ulazi i/ili parametri. Sama validnost podataka retko kada može potpuno da se zagaruje usled postojanja mnogobrojnih faktora koji mogu da je (ponekad i neopaženo) naruše, ali razvoj kvalitetnih procedura za prikupljanje i skladištenje podataka, njihovo testiranje i skrining može mnogo da pomogne u naporima da podaci budu validni. Ovo podrazumeva upotrebu tehnika kao što su interne provere konzistentnosti podataka, osiguravanje da su oni u očekivanim opsezima i da su odgovarajućeg tipa, identifikacija ekstremnih vrednosti i primenu metoda za njihovo tretiranje.

- **Verifikacija računarskog modela** koja treba da osigura da su računarski program koji je razvijen za potrebe izvođenja simulacije, odnosno računarska implementacija konceptualnog modela ispravni i da ne sadrže greške. Jedan od osnovnih faktora koji utiče na količinu grešaka koje se pojavljuju prilikom kreiranja računarskih modela simulacije je jezik koji se koristi za njihovu implementaciju, a to može biti namenski simulacioni jezik ili programski jezik opšte namene. Upotreba namenskih simulacionih jezika ima nekoliko prednosti prilikom kreiranja simulacija, od kojih su neke: redukcija vremena potrebnog za kodiranje simulacije, veća fleksibilnost u pogledu manipulacije objekata i faktora simulacije koji se koriste i visok stepen zagarantovanosti ispravnosti implementacije raspoloživih funkcija i struktura podataka (usled rigoroznog procesa testiranja koje namenski jezik za simulaciju mora da prođe pre nego što bude pušten na tržište). Osnovni nedostatak namenskih jezika za simulaciju je njegova rigidnost u pogledu proširivanja funkcionalnosti koja je možda neophodna za specifične slučajeve upotrebe i/ili neophodnost poznavanja opštih programskih jezika kako bi se ona obezbedila. Ukoliko se koristi programski jezik opšte namene da se kreira simulacija, on se obično podvrgava statičkom testiranju (program se analizira da se odredi da li je korektan koristeći tehnike kao što su strukturirana upustva (eng. *structured walkthroughs*), dokazi korektnosti (eng. *correctness proofs*), i ispitivanje strukturnih karakteristika programa) i dinamičkom testiranju (program se izlaže različitim uslovima i scenarijima upotrebe, te se dobijene izlazne vrednosti porede sa očekivanima kako bi se ustanovilo da li je implementacija ispravna). Takođe, prilikom provere ispravnosti računarskog modela simulacije i njegove implementacije potrebno je biti svestan da određene greške mogu nastati i zbog podataka te i to treba uzeti u obzir.

-
- **Operativna validacija**, kojom treba da se utvrdi da li se simulacioni model ponaša u skladu sa očekivanjima i postavljenim ograničenjima, odnosno da li obezbeđuje tačnost potrebnu za ostvarivanje njegove svrhe u odnosu na domen predviđene primene. Budući da se prethodno implementirani računarski simulacioni model koristi u operativnoj validaciji, svi pronađeni nedostaci mogu biti uzrokovani faktorima koji se javljaju u bilo kojoj od faza realizovanih prilikom njegovog razvoja. Kako bi se sprovela operativna validacija simulacionih modela, koriste se različite subjektivne i objektivne metode evaluacije i testova, od kojih su bitnije i relevantne za materiju prikazanu u disertaciji sledeće:
 - *Degenerativni testovi* (eng. *Degenerate Tests*) : degeneracija, to jest neželjeno ponašanje modela se testira upotrebom odgovarajućih vrednosti ulaznih podataka i internih parametara simulacije. Na primer, ukoliko se simulira rad nekog glavnog poštanskog centra, moglo bi da se testira da li prosečan broj pošiljaka u njemu nastavlja da raste tokom vremena kada je stopa dolaska novih pošiljaka manja nego procenat uručenih.
 - *Validnost događaja* (eng. *Event Validity*): pojave događaja u simulacionom modelu se porede sa onim iz realnih sistema da bi se utvrdilo da li su slični. Na primer, poredi se broj pristiglih pošiljaka u simulaciji rada glavnog poštanskog centra sa stvarnim brojem pošiljaka koji je zabeležen u uporedivom realnom sistemu.
 - *Testovi ekstremnih uslova* (eng. *Extreme Condition Tests*): ponašanje komponenti modela i izlazi koje on obezbeđuje treba da budu verodostojni za bilo koji ekstremnu i/ili nepoželjnu kombinaciju nivoa faktora u sistemu. Na primer, ukoliko nema ni pristiglih pošiljaka ni uručenja u radu simuliranog glavnog poštanskog centra, kretanje u internoj transportnoj mreži takođe ne bi trebalo da postoji.
 - *Validacija upotrebom istorijskih podataka* (eng. *Historical Data Validation*): ukoliko postoje istorijski podaci o ponašanju sistema koji se simulira (na primer podaci koji su prikupljeni o posmatranom sistemu specijalno za pravljenje i testiranje simulacionog modela), jedan deo podataka može da se iskoristi kako bi se kreirao model, a ostatak podataka može da se upotrebi da se proveriti koliko su izlazi kreiranog simulacionog modela u saglasnosti sa njima.
 - *Interna validacija* (eng. *Internal Validity*): koja se koristi kada su u pitanju stohastički modeli kako bi se se utvrdilo da li postoje velike varijacije između

različitih replikacija simulacije. Velika količina varijabilnosti (nedostatak konzistentnosti) može da dovede rezultate modela pod znak pitanja, odnosno prikladnost njegove konceptualizacije i dizajna.

- *Analiza osetljivosti na varijabilnost parametara* (eng. *Parameter Variability - Sensitivity Analysis*): ova tehnika se sastoji u promeni vrednosti ulaznih i internih parametara modela kako bi se odredio njihov efekat na ponašanje modela ili njegove izlaze. Ukoliko je model ispravno definisan, trebalo bi da između različitih vrednosti parametara postoji ista veza kao u realnom sistemu. Ova tehnika može da se koristi kvalitativno (kada se posmatraju samo opšti smerovi izlaza u odnosu na varirane veličine) i kvantitativno (kada se posmatraju i smerovi i precizna promena u veličinama izlaza u odnosu na varijacije).
- *Validnost izgleda* (eng. *Face Validity*): domen-eksperti, odnosno stručnjaci koji imaju iskustvo u radu sa realnim sistemima čija se simulacija pravi, analiziraju model i donose zaključak da li je njegovo ponašanje razumno i očekivano u odnosu na ustanovljene parametre i ograničenja (to jest da li je logika konceptualnog modela korektna, da li su ulazi i interni parametri modela razumno definisani i da li izlazi modela odgovaraju očekivanjima u skladu sa prethodno navedenim).
- *Animacija* (eng. *Animation*): operaciono ponašanje modela se prikazuje grafički kako se model kreće kroz vreme i vizualnom inspekcijom animacije se utvrđuju nekonzistentnosti ili potencijalni problemi u postavci modela.
- *Poređenje sa drugim modelima*: izlazi i druge veličine od interesa simulacionog modela koje treba da se validiraju porede se sa rezultatima drugih (podrazumevano validnih) modela. Na primer, najjednostavniji slučaj simulacionog modela se poredi sa poznatim rezultatima analitičkog modela, ili se simulacioni model poredi sa drugim simulacionom modelom koji je već prošao proces validacije i prihvaćen je kao takav.
- *Operacioni grafici* (eng. *Operational Graphics*): vrednosti različitih indikatora performansi ili posmatranih veličina od interesa se prikazuju grafički kako se simulacija razvija kroz vreme, kako bi se ustanovila odstupanja od očekivanih vrednosti.
- *Varijacija Tjuringovih testova* (eng. *Turing Tests*): domen-eksperti koji poznaju sistem koji se modeluje se testiraju tako što im se paralelno prikažu neobeleženi rezultati simulacije i realnih sistema, te se od njih zahteva da utvrde koji su koji.

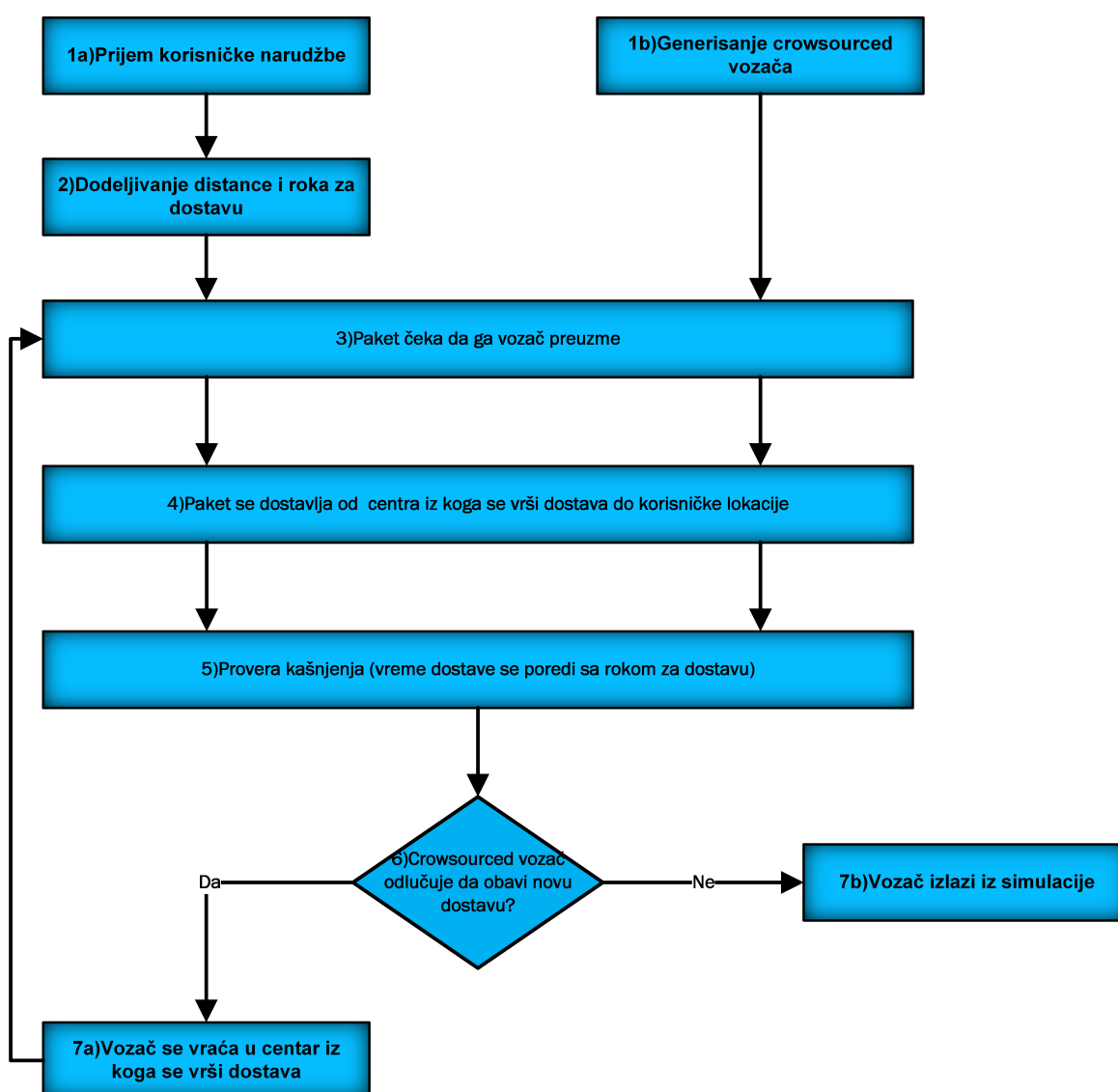
Ukoliko nisu u stanju da razlikuju izlaze modela od izlaza realnih sistema, smatra se da je model validan.

Crowdsourcing sistemi po svojoj prirodi sadrže veliku količinu neizvesnosti, pošto su učesnici u njima slobodni da se uključe u aktivnosti sistema prema sopstvenom nahođenju i da učestvuju u njima proizvoljni period vremena. Ovo čini simulaciju veoma dobrim pristupom za modelovanje i ocenu performansi takvih sistema pod različitim uslovima, pošto razvijeni modeli omogućavaju da se problem izučava na različitim nivoima apstrakcije. Rad na višim nivoima apstrakcije omogućava uočavanje, analizu i bolje razumevanje opštih obrazaca i interakcija između komponenti sistema, dok rad na nižim nivoima apstrakcije omogućava proučavanje detalja ponašanja posmatranih entiteta – ali obično zahteva razvijanje znatno kompleksnijeg simulacionog modela. Apstrakcije na visokim nivoima su prilično uobičajene kada se simuliraju *crowdsourced* sistemi dostave (imajući u vidu potrebu da se redukuje kompleksnost simulacije) ali njihov osnovni nedostatak je potencijalno preterano pojednostavljivanje bitnih elemenata ili nehوتيčno izostavljanje varijabli koje mogu značajno da utiču na postojanje razlika između simuliranih i realnih sistema. U tom smislu, pregledom stanja u oblasti i relevantnih izvora je ustanovljeno da postoji značajan prostor za poboljšanje postojećih modela simulacija dostave upotrebom pristupa koji se umesto na grubu aproksimaciju parametara (kao što je konstantna brzina kretanja dostavljača kroz mrežu ili upotreba Menhetn udaljenosti kao razdaljine između dve tačke), oslanja na podatke iz realnih uslova u kojima funkcionišu ovakvi sistemi, te samim tim omogućava verodostojniji uvid u očekivane izlaze simuliranog procesa. Uporedo sa tim, identifikovana je i potreba za boljim razumevanjem faktora koji utiču na ključne indikatore performansi sistema dostave baziranih na *crowdsourced* pristupu, kako bi se ocenila isplativost njihove implementacije u realnom svetu u različitim okruženjima.

Jedan od bazičnih modela simulacije dostavnog servisa koji obezbeđuje dostavu u toku istog dana, tj. *same-day* dostavu iz centralizovane dostavne pošte u ubranoj korisničkoj mreži je predložen od strane autora u [96] i prikazan je na slici 3.3. U ovom modelu, proces dostave teče na sledeći način:

- Sa strane potražnje, generišu se zahtevi pošiljaoca i primaoca za dostavom paketa (odnosno primaju se zahtevi za dostavom paketa), koje pored lokacije dostave sadrže i zahtevano vreme u okviru kojeg ona treba da bude realizovana.
- Paralelno, sa strane ponude se evidentira raspoloživost vozača za obavljanje dostave.
- Narudžbe (odnosno paketi koji treba da se dostave) se skladište na centralizovanoj lokaciji, gde čekaju preuzimanje od strane vozača.

- Vozači preuzimaju pakete i prenose ih od centralizovane lokacije do individualnih korisnika kojima se uručuje pošiljka.
- Prilikom uspešne dostave paketa se proverava da li je on dostavljen u okviru traženog vremenskog perioda koji je korisnik specificirao prilikom pravljenja narudžbe.
- Nakon dostave, vozač odlučuje da li želi da napravi novu (u kom slučaju se vraća do centralizovane lokacije da preuzme novi paket) ili ne (u kom slučaju izlazi iz sistema/simulacije).



Slika 3.3 Bazični model *crowdsourced* dostave

U simulaciji koja je razvijena na osnovu prikazanog modela u istom radu [96], dostavljači koriste isključivo automobile za realizovanje dostave, njihova brzina kretanja kroz korisničku mrežu je konstantna, a udaljenost između svake lokacije i centralizovanog skladišta je aproksimirana Menhetn distancom (to jest sumom apsolutnih vrednosti razlika u koordinatama tačaka u ravni koje predstavljaju aproksimaciju polazne i odredišne destinacije). Kako bi se ispitale hipoteze doktorske disertacije – a imajući u vidu prethodno opisane potrebe i prostor za unapređenje postojećih modela – razvijeni su simulacioni modeli na bazi prethodno opisanog, koji su značajno unapređeni tako da u obzir uzimaju varijabilnu brzinu kretanja vozača kroz korisničku mrežu (upotrebom realnih podataka o saobraćajnim uslovima) i mogućnost upotrebe bicikla kao prevoznog sredstva (uz automobile). U nastavku disertacije su detaljno opisani razvijeni modeli kao i sve varijable i njihovi nivoi koji su korišćeni u njima, a prikazana su i njihova važnija ograničenja.

3.1 Simulacioni modeli

U disertaciji se modeluju *same-day crowdsourced* dostavni sistemi u kojima postoji centralizovana dostavna jedinica iz kojeg se pošiljke dostavljaju korisnicima, a koji pružaju usluge dostave u urbanoj sredini. Ovakvi sistemi su veoma rasprostranjeni u današnje vreme u gotovo svim gradovima i lako je pronaći primere njihovog otelotvorenja u različitim domenima, od dostave hrane (posebno kada su u pitanju popularni lanci brze hrane), preko lokalnih dostavnih centara pa sve do on-line kupovine (gde se naručeni proizvodi šalju iz centralnog magacina kompanije koja ih prodaje).

Korisnici sistema mogu da kreiraju pošiljke u toku radnog vremena (koje je modelovano kao dvanaestčasovno [4]), a lokacije za preuzimanje i dostavu pošiljke su nepoznate *a priori* i dolaze dinamički i stohastički tokom dana, tako da reprezentuju realne uslove za *same-day* dostavne servise. Slično tome, budući da se radi o čisto *crowdsourced* dostavnim sistemima (to jest ne pretpostavlja se postojanje namenskog voznog parka za dostavu), raspoloživost vozača koji treba da dostave pošiljke takođe varira u toku dana. Ove oscilacije dnevne potražnje za uslugom dostave i dostupnosti vozača su modelovane kao Poasonov proces sa odgovarajućim parametrima intenziteta, čija je raspodela prikazana jednačinom 3.1:

$$P(k; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (3.1)$$

gde je $P(k; \lambda)$ verovatnoća posmatranja k događaja koji se dešavaju u posmatranom intervalu a λ je parametar intenziteta procesa za taj interval.

U pogledu dinamike potražnje (to jest pristizanja narudžbina), prvo su definisana dva reprezentativna nivoa čiji je cilj da reflektuju stvarne zahteve koji se mogu očekivati u urbanim sredinama, a koji treba da opišu varijabilnosti koje mogu da nastanu kao posledica posmatranog vremenskog perioda i tipičnih navika potrošača u njima, odnosno postojanje "jačih" i "slabijih" dana u smislu broja primljenih zahteva za dostavom. Ova dva nivoa su razvijena nakon pregleda relevantne literature ([96], [4]), nakon čega su verifikovana u saradnji sa stručnjacima koji imaju bogato iskustvo u radu u kompanijama koje pružaju dostavne usluge (konkretno onih koje se bave dostavom malih pošiljki poput dokumenata, korisničke elektronike ili hrane, te su relevantne za studiju). Nakon toga, definisan je i treći nivo čiji je cilj konstantno modelovanje potražnje kako bi se ispitalo ponašanje simuliranih sistema u hipotetičkom slučaju da ona ne varira tokom dana. Razvijeni nivoi se nazivaju profili potražnje i oni su:

- Profil „nizak“, koji predstavlja dolazak naloga za dostavu kada se dan smatra „sporim“ ili "slabijim" (tj. postoji mala potražnja za uslugama dostave),
- Profil "stvarni", koji predstavlja dolazak zahteva za dostavom u tipičnom danu i
- Profil "uniformni" koji predstavlja pokušaj da se modeluje potražnja kao jednolična tokom čitavog dana, podešavanjem parametara potražnje na vrednost koja se smatra razumnom s obzirom na iskustvo stručnjaka.

Vrednosti parametra λ za svaki od ovih profila i za svaki čas u okviru radnog vremena su prikazane u Tabeli 3.1, a za profile "nizak" i "stvarni" se može primetiti porast potražnje nakon prvih nekoliko sati dana (koji odražavaju tipično ponašanje ljudi koji započinju radni dan) nakon čega sledi pad tokom sati ručka i ponovni porast potražnje na nekoliko sati pre nego što se konačno spusti tokom kraja dana. U istoj tabeli su prikazane i vrednosti za parametar λ kada je u pitanju raspoloživost *crowdsourced* vozača koji treba da obave dostavu, koje takođe variraju u toku dana. Inicijalne vrednosti su preuzete iz literature ([96], [4], [99]), nakon čega su verifikovane od strane eksperata kako bi realnije oslikavale očekivane brojeve raspoloživih vozača (ponovo, uzevši u obzir njihovo iskustvo u radu u dostavnim organizacijama sličnih karakteristika kao simulirani sistem). Da bi u obzir bila uzeta činjenica da *crowdsourced* vozači mogu izabrati na kraju svake dostave da li će da realizuju još jednu ili ne, veravotnoća prihvatnja nove dostave je postavljena na 75%, što je u skladu sa prethodnim studijama [96].

Tabela. 3.1 Parametri intenziteta procesa za profile dnevne potražnje i dostupnost *crowd-sourced* vozača

Čas simulacije												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Časovi realnog sistema												
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19
Profili dnevne potražnje (λ)												
Nizak	0,55	0,55	0,55	0,7	0,7	0,7	0,1	0,1	0,4	0,4	0,1	0,1
Stvarni	0,75	0,75	0,75	1,1	1,1	1,1	0,25	0,25	0,4	0,4	0,1	0,1
Uniformni	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Dostupnost <i>crowdsourced</i> vozača (λ)												
Vozači	0,15	0,18	0,18	0,19	0,2	0,2	0,22	0,2	0,18	0,16	0,16	0,13

Pored dinamike u pogledu pristizanja zahteva za dostavom i raspoloživosti *crowdsourced* vozača, u razvoju modela su u obzir uzeta i tri različita scenarija koji se obično javljaju u pogledu rokova u kojem kuriri moraju izvršiti dostavu, a bazirani su na vrstama usluga koje nude kako manji lokalni tako i svetski poznati servisi za dostavu i identifikovani su u

relevantnim studijama te takođe korigovani u saradnji sa domenskim ekspertima. Oni su modelovani diskretnim empirijskim distribucijama koje opisuju verovatnoću da će dolazni zahtev biti smešten u 1-časovni, 2-časovni, 4-časovni ili 8-časovni rok dostave i dati su sledećim raspodelama (u zagradama su date verovatnoće da će zahtev biti za dostavu u okviru jednog, dva, četiri ili osam časova):

- Fleksibilni (10 %, 30 %, 40 %, 20 %),
- Isti dan (0 %, 0 %, 0 %, 100 %) i
- Standardni (30 %, 40 %, 20 %, 10 %)

"Standardni" i "fleksibilni" scenariji modeluju slučajeve upotrebe u kojima usluga dostave omogućava korisnicima da izaberu bilo koji od četiri roka dostave koji se razmatraju, dok scenario "isti dan" predstavlja slučaj kada je dostava zagarantovana samo za isti dan ali ne i u kraćem vremenskom periodu. Pri tome, "fleksibilni" scenario predstavlja ujedno i situaciju u kojoj korisnici tipično nisu radi da plate dodatnu (takozvanu "premijum") cenu usluga dostave u najkraćem roku (što je karakteristično za privatne korisnike), dok "standardni" predstavlja scenario u kojem je sistem dostave više opterećen zbog tipično kratkog vremena dostave koje korisnici zahtevaju bez obzira na cenu (što je čest slučaj kada se radi o poslovnim korisnicima, ali određenoj grupi privatnih).

Konačno, kako bi mogao biti ispitan uticaj različitih modova transporta kroz korisničku mrežu koje vozači mogu da koriste prilikom dostave paketa, a uzimajući u obzir činjenicu da se simulira *crowdsourced* sistem koji se nalazi u urbanoj sredini, definisana su tri tipa dostavnih sredstava i to:

- Automobili - kada vozači koriste isključivo automobile kao dostavna vozila, odnosno *crowdsourced* dostavljački vozni park se sastoji 100% od automobila,
- Bicikli - kada vozači koriste isključivo bicikle kao dostavna vozila, to jest *crowdsourced* dostavljački vozni park se sastoji 100% od bicikala i
- Kombinacija - kada dostavljački vozni park predstavlja ravnomeran miks između automobila i bicikala, to jest svaki od vidova transporta učestvuje sa 50% u ukupnom broju slučajeva.

Imajući u vidu ključne indikatore performansi dostavnih sistema koji su opisani u prethodnoj sekciji (ukupan broj dostavljenih pošiljki i procenat dostava realizovanih na vreme), cilj

simulacionih modela je da omoguće posmatranje njihovog kretanja za različite kombinacije nivoa nezavisnih i moderirajućih varijabli koje su prethodno opisane kao i utvrđivanje postojanja (ili odsustva) razlika u njihovim prosečnim vrednostima. U Tabeli 3.2 su sumirane eksperimentalne varijable i njihovi nivoi.

Tabela. 3.2 Pregled eksperimentalnih varijabli i njihovih nivoa

Naziv	Tip	Opis	Nivoi
Tip dostavnih vozila	Nezavisna	Vozila koje vozači koriste za kretanje kroz korisničku mrežu (automobili i bicikli)	- Bicikli - Automobili - Kombinacija
Scenariji dostave	Moderator	Kombinacije 1-časovnih, 2-časovnih, 4-časovnih i 8-časovnih dostavnih rokova u pogledu zahteva za dostavom	- Standardni - Fleksibilni - Isti dan
Dinamika potražnje	Moderator	Dinamika pristizanja zahteva za dostavom u toku dana	- Nizak - Stvarni - Uniformni
Ukupno realizovanih dostava	Zavisna	Ukupan broj realizovanih dostava	/
Procenat dostava realizovanih u roku	Zavisna	Procenat dostava koje su realizovani na vreme (tj. u okviru zadatog dostavnog roka)	/

3.2 Generalizacija rezultata

Kako bi se obezbedila mogućnost generalizacije rezultata istraživanja, kao izvor operativnih podataka korišćenih prilikom sprovođenja simulacija su inicijalno izabrana 3 grada koja imaju različite karakteristike u pogledu površine, ukupnog broja stanovnika i razvijenosti saobraćajne i biciklističke infrastrukture. Gradovi su birani tako da uključe one koji su poznati kao područja gde je upotreba bicikala među populacijom intenzivna odnosno koji se smatraju veoma pogodnim za biciklizam, kao i one sa kojima to nije slučaj. Za identifikaciju prvih su korišćene relevantne prethodne studije [100–102], a posebno je uzeto u obzir istraživanje organizacije Coxa, koja propagira upotrebu bicikla kao zdrav i održiv mod transporta te periodično sprovodi detaljnu analizu gradova širom sveta sa fokusom na kvalitet infrastrukture za bicikliste i računa ukupni indeks njihove prilagođenosti za upotrebu ovog moda transporta [5]. U okviru skorašnje studije, ova organizacija je rangirala 90 gradova u odnosu na sledećih 6 glavnih kategorija koje sadrže faktore koji čine grad povoljnim za biciklizam:

- Vremenski uslovi,
- Procenat populacije koji svakodnevno koristi bicikli,
- Kriminal i bezbednost (gde su posmatrani faktori: broj žrtava na 100,000 biciklista, broj saobraćajnih nezgoda na 100,000 biciklista i skor krađe bicikala),
- Infrastruktura (gde su posmatrani faktori: broj radnji za prodaju bicikala na 100,000 biciklista, dužina puteva pogodnih za biciklizam, skor za investicije i kvalitet infrastrukture),
- Deljenje bicikala (u okviru koje su posmatrani faktori: broj stanica za iznajmljivanje bicikala na 100,000 stanovnika i broj deljenih bicikla na 100,000 stanovnika)
- Događaji (u okviru koje su posmatrani faktori postojanja dana bez automobila i skor za kritičnu masu – to jest skor koji se odnosi na očekivani broj učesnika na predstojećim događajima izračunat na osnovu podataka prikupljenih sa društvenih mreža i zvaničnih statističkih podataka)

U pogledu faktora koji su izraženi kao skorovi, veličine neophodne za njihovo računanje se prvo normalizuju upotrebom jednačine 3.2, gde je x posmatrana veličina to jest faktor:

$$x_{norm} = 10 * \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3.2)$$

nakon čega se koristi ponderisani prosek za kreiranje finalnog skora, izračunat upotrebom jednačine 3.3:

$$skor = \sum_{i=1}^n w_i * x_i \quad (3.3)$$

gde je x_i normalizovana vrednost faktora i , w_i težinski koeficijent faktora i a n je ukupan broj faktora.

Gradovi koji su izabrani za potrebe izvođenja simulacije su Kopenhagen, koji je rangiran kao četvrti grad na listi u Coxa studiji, Pariz koji je rangiran kao 32., Minhen koji je rangiran kao 34. grad na listi i Beograd koji nije obuhvaćen prethodnom studijom ali je interesantan sa aspekta analize rezultata simulacije budući da je u pitanju glavni grad Srbije, zemlje u kojoj *crowdsourced* dostava još uvek nije zaživela u obimu u kojem postoji u razvijenim zapadnim zemljama. Vrednosti faktora analiziranih u studiji za prva tri grada su prikazane u Tabeli 3.3, a njihov opis je prikazan u nastavku ove sekcije.

Značenje pojedinačnih faktora prikazanih u Tabeli 3.3, kao i prikazanih vrednosti (osim skorova koji predstavljaju vrednosti normalizovane kao što je prethodno opisano) su sledeće:

- Veličina grada: S označava grad sa manje od 500 000 stanovnika, M označava grad koji ima između 500 000 i 999 999 stanovnika dok L označava grad sa preko milion stanovnika.
- Skor za vremenske uslove - oslanja na ukupan godišnji broj sunčanih časova, izmerenu količinu padavina i broj ekstremnih vremenskih dana (onih u kojima je temperatura pala ispod 0 °C ili prešla 30 °C) na nivou svakog analiziranog grada, koji se potom normalizuju kako bi bili iskazani u opsegu od 1 do 100 nakon čega se računa ponderisani prosek, to jest skor za posmatrani grad.
- Upotreba bicikla (% populacije) - procenat ljudi koji koriste bicikla u svakodnevnom životu u svakom od gradova (na osnovu zvaničnih statističkih podataka).
- Žrtve na 100 000 biciklista – u nezgodama u kojima su učestvovali biciklisti, na 100 000 biciklista u gradovima.
- Nezgode na 100 000 biciklista – broj nezgoda koje su povezane sa biciklistima koje su rezultovale u bar lakšim telesnim povredama na 100 000 biciklista.
- Skor za krađu bicikla – broj ukradenih bicikla na 100 000 biciklista.

Tabela. 3.3 Prikaz vrednosti veličina faktora u Coya [5] studiji za izabrane gradove

Grad	Kopenhagen	Pariz	Minhen
<i>Veličina grada</i>	M	L	L
<i>Rang na listi u studiji</i>	4	32	34
<i>Skor – vremenske prilike</i>	61,19	66,31	50,52
<i>Upotreba bicikla (% populacije)</i>	29	3	10
<i>Žrtve na 100 000 biciklista</i>	1,04	0,75	0,6
<i>Nezgode na 100 000 biciklista</i>	218,44	318,14	371,62
<i>Skor – krađa bicikala</i>	66,62	69,64	92,95
<i>Skor – bezbednost</i>	83,01	84,28	92,12
<i>Broj radnji za prodaju bicikala na 100 000 biciklista</i>	62,47	29,51	17,96
<i>Skor – kvalitet puta i biciklističke staze</i>	61,6	58,51	53,95
<i>Skor – kvalitet infrastrukture i investicije</i>	86,54	91,61	95,1
<i>Skor – infrastruktura</i>	55,23	63,15	53,75
<i>Broj stanica za deljenje i iznajmljivanje bicikala na 100 000 stanovnika</i>	12,17	69,24	24,13
<i>Broj deljenih bicikala na 100 000 stanovnika</i>	17,33	93,33	29,13
<i>Skor – deljenje</i>	15	81	27
<i>Dan bez automobila</i>	1	1	0
<i>Skor – kritična masa</i>	y	y	n
<i>Skor – događaja</i>	218,44	318,14	371,62
<i>Ukupni skor</i>	60,46	37,53	36,94

- Broj radnji za prodaju bicikala na 100 000 biciklista – broj prodavnica bicikala u okviru grada na 100 000 stanovnika.
- Specijalizovani putevi i kvalitet puta – dužina biciklističkih staza, km puteva ili autoputeva koji su označeni za upotrebu bicikala u odnosu na veličinu gradske populacije.
- Investicije i kvalitet infrastrukture – skor koji uzima u obzir ulaganja u infrastrukturu i kvalitet infrastrukture.
- Broj deljenih bicikala na 100 000 stanovnika – procena broja deljenih bicikala na 100 000 ljudi.

- Dan bez automobila – indikator postojanja dana bez automobila (vozači se ohrabruju da na taj dan ne koriste automobil već bicikla za prevoz po gradu), tako da 1 označava postojanje dana bez automobila a 0 označava da takav dan ne postoji.
- Skor za kritičnu masu – odnosi se na očekivani broj učesnika na predstojećim događajima (gde se okupljaju biciklisti) izračunat na osnovu podataka prikupljenih sa društvenih mreža i zvaničnih statističkih podataka.

3.3 Korisnička mreža

Da bi se simulirala korisnička mreža iz koje dolaze zahtevi za dostavom, kao i da bi u obzir bili uzeti dinamički uslovi saobraćaja u gradovima koji mogu značajno da variraju u toku dana, upotrebljen je sledeći pristup za svaki od izabranih gradova:

- Prvo je definisano mesto dostavne poštanske jedinice iz kojeg se dostavljaju paketi, tako što je kao lokacija upotrebljena stvarna adresa logističkog/distributivnog centra ili veće pošte koji se nalazi u blizini centra posmatranog grada, kojem je dodeljena odgovarajuća šifra (na primer "CPH-Centar" za Kopenhagen). Motivacija za izbor lokacije blizu centra grada je usaglašenost sa prethodnim studijama ovog tipa [96], [4] kao i činjenica da je tu obično najveća gustina saobraćaja u određenim periodima dana što znači i veći potencijalni broj raspoloživih *crowdsourced* vozača.
- Nakon toga su upotrebljeni javni direktorijumi dostupni za posmatrane gradove (kao što su žute strane, Google Maps ili telefonoteka) da se dođe do adresa 500 nasumično izabranih pravnih lica (kao što su različite vrste preduzeća, ugostiteljski objekti, zanatske radnje i slično), koje su služile kao odredišne tačke za pakete koje su upućeni iz centralizovanog dostavnog centra. Ovaj broj je u saglasnosti sa prethodnim studijama ([96], [4]) i smatra se da predstavlja dovoljnu veličinu uzorka za razvijanje simulacionih modela koji verodostojno reprezentuju realne sisteme.
- Za svaku adresu iz prethodnog koraka korišćeni su podaci o udaljenosti od centralizovanog dostavnog centra kao i o vremenu neophodnom da se ona pređe uzimajući u obzir dinamičke uslove saobraćaja i mod transporta koji se koristi (automobil ili bicikli). Ovo je urađeno kako bi simulacioni model realizovan u okviru disertacije prevazišao dva ograničenja prethodnih studija koja mogu da utiču na njihovu verodostojnost: aproksimacija udaljenosti između dostavnih tačaka i konstantna brzina kretanja dostavljača kroz korisničku mrežu. Za razliku od ranijih studija gde je razdaljina između adrese A i adrese B uvek ista i dostavljači je prelaze u konstantnom vremenu, u modelima prikazanim u disertaciji ona može da varira (u zavisnosti od izabrane rute u posmatranom trenutku), a isto tako može da se razlikuje i brzina kretanja (budući da realni uslovi u saobraćaju nisu isti tokom različitih perioda u toku dana). Kao izvor ovih podataka su upotrebljene dve popularne platforme, Google Maps [103] i HERE [104]. Ove dve platforme su izabrane zbog svoje popularnosti među korisnicima (stanovništvom) posmatranih gradova, kao i usled činjenice da pružaju nešto različite (ali uporedive) tipove podataka za gradove obuhvaćene simulacionim modelima.

U okviru Google Maps platforme, korišćen je servis *Directions API* aplikativni programski interfejs (eng. *Application Programming Interface*), putem kojeg je moguće dobiti mnoštvo podataka relevantnih za posmatrane geografske lokacije u realnom svetu upotrebom HTTP (eng. *HyperText Transfer Protocol*) zahteva, od kojih su za disertaciju relevantne udaljenosti u okviru ruta za različite modove transporta (bicikli i automobil) i procenjeno vreme putovanja uzimajući u obzir datum i vreme za koji se ono traži. Podaci se vraćaju kao odgovor na upit koji se konstruiše u obliku URL (eng. *Uniform Resource Locator*) stringa, koji treba da sadrži odgovarajuće parametare kao što su:

- Polazište – u obliku tekstualne vrednosti adrese (npr. "Bulevar Mihajla Pupina 2, Beograd, Srbija") ili geografske širine i dužine u obliku para koordinata (npr. "44.8156, 20.4375"),
- Destinacija – u istom obliku kao i polazište,
- Mod transporta, koji može biti:
 - Vožnja – gde se koriste javni putevi za putnički saobraćaj prilikom računanja rute i udaljenosti,
 - Bicikli – gde se u obzir uzimaju biciklističke staze (za dostupne lokacije) ili ulice u kojima je dozvoljen biciklistički saobraćaj,
 - Pešačenje – gde se za proračun koriste staze za pešake i trotoari (za dostupne lokacije) i
 - Javni prevoz – gde se koriste javne tranzitne mreže i rute odgovarajućih vidova transporta (kao što je autobus, metro, voz, trajekt i slično)
- Saobraćajni model – putem kojeg se specificira scenario koji *Directions API* servis treba da razmotri pri računanju vremena neophodnog da se stigne na destinaciju sa polazišta, a može da bude "optimistički" (najkraće vreme provedeno u saobraćaju, uslovi lakog saobraćaja), "pesimistički" (najduže vreme provedeno u saobraćaju, uslovi teškog saobraćaja) i "realna pretpostavka" (tipično vreme provedeno u saobraćaju za zadatu rutu, koje je i korišćeno u okviru istraživanja),
- Vreme polaska – u obliku datuma, časa i minuta, a predstavlja planirano vreme polaska sa polazišne tačke, za koje će biti procenjeno ukupno trajanje putovanja i biće izračunata optimalna ruta (minimizacijom vremena trajanja putovanja, ukoliko nije drugačije specificirano u zahtevu),

- Ključ – token koji se koristi za identifikaciju korisnika/aplikacije i upravljanje kvotama (broju postavljenih upita)

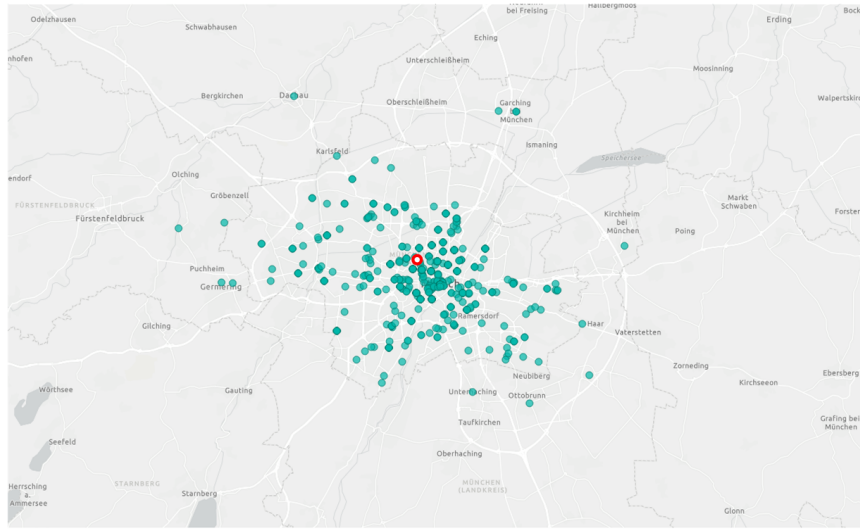
U okviru *HERE* platforme je korišćen *HERE Routing API* koji je u stanju da vrati istu vrstu podataka kao i *Directions API*, a prilikom postavljanja upita zahteva gotovo identične parametre uz dve razlike: prvo, kao polazište i destinacija se koriste geografske koordinate a ne tekstualne vrednosti adrese, i drugo, percipirani uslovi u saobraćaju se računaju automatski od strane servisa bez mogućnosti da se definiše željeni scenario (kao što je to slučaj kod *Directions API*). Sa druge strane, *HERE* platforma omogućava izbor putanje koja se vraća na postavljeni upit, a koja zavisi od toga da li je potrebno dobiti putanju koja je najkraća (u smislu razdaljine između dve tačke) ili najbrža (najmanje procenjeno vreme da se stigne od jedne do druge tačke). Kako bi se dobile geografske koordinate za adrese u korisničkoj mreži upotrebljen je *HERE Geocoder API*, servis za geokodovanje unapred koji prevodi adrese iz tekstualnog oblika u par koordinata [geografska širina, geografska dužina].

Oba upotrebljena servisa trenutne i očekivane saobraćajne uslove procenjuju na osnovu aktivnih i istorijskih podataka svojih korisnika koji su se fizički nalazili na posmatranim lokacijama i kretali relevantnim rutama u određenim vremenskim periodima – najčešće koristeći neki sistem navigacije koji se oslanja na *Google Maps* ili *HERE* aplikacije, ili čak i samo noseći sa sobom pametne telefone podešene na podrazumevane vrednosti za deljenje trenutne geografske lokacije sa ovim platformama. Budući da broj korisnika obe platforme konstantno raste (što za posledicu ima veću količinu generisanih podataka) i da se saobraćajna infrastruktura kao i navike samih korisnika stalno menjaju, za očekivati je da će vraćene rute i procenjena vremena za njihovo prelaženje varirati u zavisnosti od tačnog vremena polaska koje se specificira. S obzirom na veličinu korisničke mreže koja se simulira i nivo nezavisne promenljive koja se odnosi na tip dostavnih vozila, kako bi se minimizirao broj upita postavljenih svakom od opisanih servisa a istovremeno zadržao dovoljan nivo detaljnosti simulacija u pogledu realnih saobraćajnih uslova, primenjena je sledeća strategija:

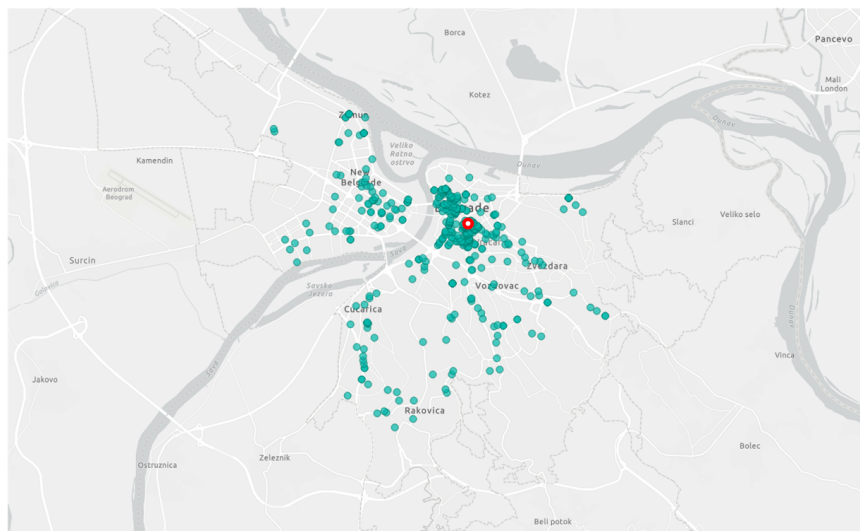
- Definisana su tri saobraćajna profila koja imaju za cilj da opišu uslove u drumskom saobraćaju motornih vozila i to u periodima kada je on veoma intenzivan (takozvani "špicevi"), normalnog intenziteta i slabijeg intenziteta,
- Za svaku rutu (par adresa distributivni centar - tačka korisničke mreže) su korišćeni distanca i procenjeno vreme putovanja automobilom za polaske svakim radnim danom (od ponedeljka do petka) u 08:00h, 12:00h i 19:00h, u periodu od marta do maja u toku 2018. i 2019. godine.

- Ove veličine su korišćene kao reprezentativne za računanje prosečne brzine kretanja vozača kroz distributivnu mrežu koja se koristi u simulaciji i to:
 - Brzina izračunata na osnovu podataka dobijenih za uslove saobraćaja u 08:00h je mapirana u simulacione periode između 07:00h – 10:00h i 15:00h - 17:00h, kako bi se simuliralo kretanje automobila kroz mrežu za vreme najveće saobraćajne gužve (jutro i popodne)
 - Brzina izračunata na osnovu podataka dobijenih za uslove saobraćaja u 12:00h je mapirana u simulacione periode između 10:00h – 15:00h kako bi se simuliralo kretanje kroz mrežu kada su saobraćajni uslovi regularni
 - Brzina izračunata na osnovu podataka dobijenih za uslove saobraćaja u 19:00h je mapirana u simulacione periode nakon 17:00h kako bi se simuliralo kretanje kroz korisničku mrežu kada je saobraćaj slabiji
- Za svaku rutu (par centralizovana dostavna jedinica - tačka korisničke mreže) su korišćeni distanca i procenjeno vreme putovanja biciklom za proizvoljni dan i vreme u nedelji (pošto korišćene platforme posmatraju vreme i distancu kada se koristi bicikli kao prevozno sredstvo konstantnim, bez obzira na vreme polaska)

Broj izabranih adresa za svaki posmatrani grad je u saglasnosti sa sličnim studijama koje su realizovane u prošlosti [96], [4] i omogućuje realno simuliranje potencijalne korisničke mreže u urbanim sredinama, a na slikama 3.4, 3.5, 3.6 i 3.7 su prikazane geografske distribucije korišćenih adresa destinacija dostave (svaki tirkizni krug predstavlja jednu adresu) i lokacije centralizovanih dostavnih centara (označenih belim krugom sa crvenom kružnicom) za svaki od posmatranih gradova (to jest Kopenhagen, Pariz, Minhen i Beograd).



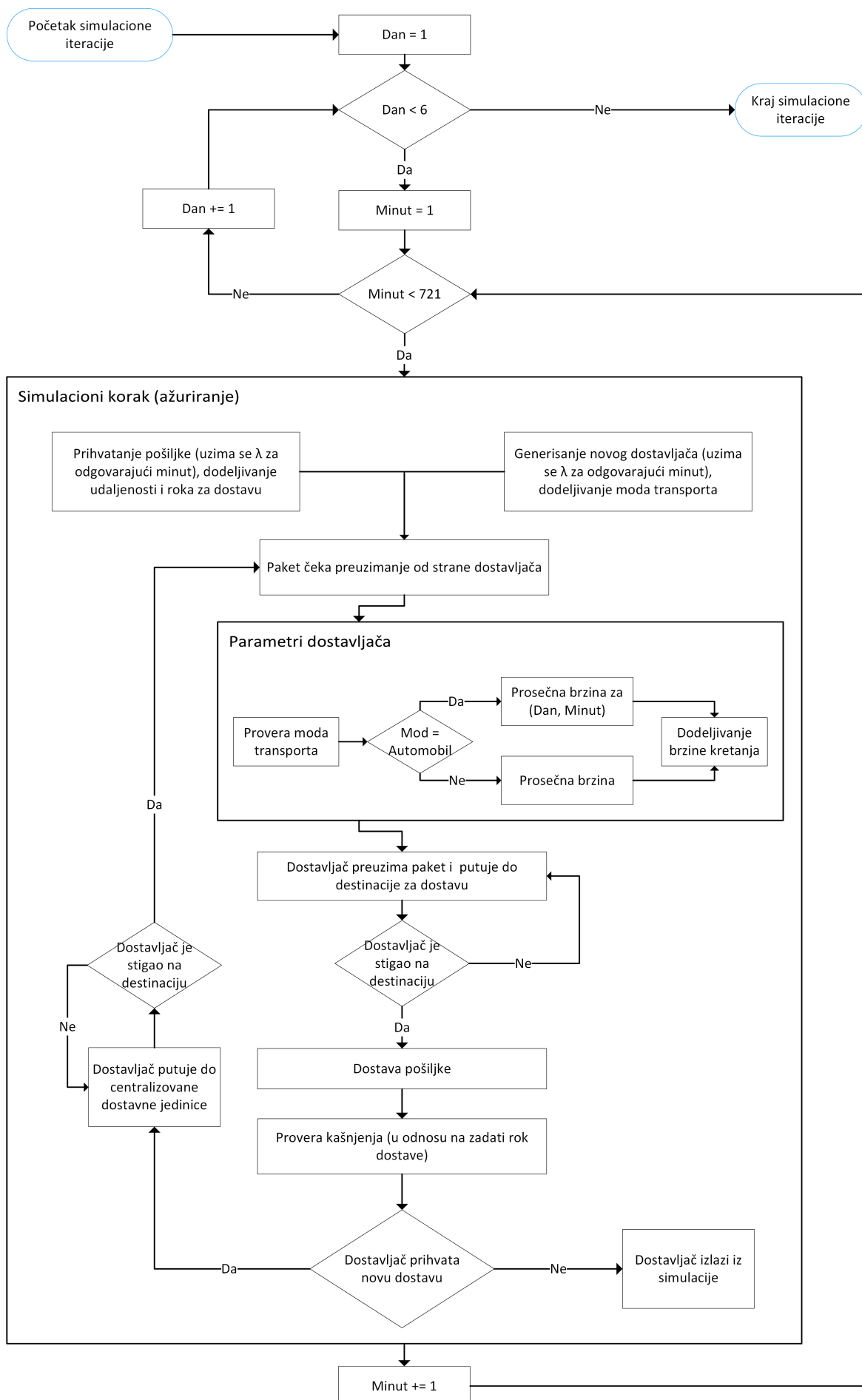
Slika 3.6 Korisnička mreža u Minhenu



Slika 3.7 Korisnička mreža u Beogradu

3.4 Računarska implementacija

Za implementaciju simulacionih modela opisanih u prethodnoj sekciji je izabran softver "Arena", koji predstavlja jedno od vodećih softverskih rešenja u domenu simulacije diskretnih događaja. Dijagram toka implementiranih simulacionih modela za jednu simulacionu iteraciju je ilustrovan na slici 3.8. Simulacioni korak je podešen na jedan minut, što omogućava korektno modelovanje kretanja vozača kroz korisničku mrežu, reflektovanje dinamičkih saobraćajnih uslova uzimajući u obzir podatke iz realnih uslova kao i tipičnu preciznost beleženja vremena pristizanja pošiljaka u sistemima dostave. Svaka iteracija podrazumeva simulaciju dvanaestočasovnog intervala (od 07:00h do 19:00h) u okviru pet radnih dana u nedelji. Vremenski interval od 12 časova za svaki dan je izabran kako bi se reflektovalo tipično vreme u okviru kojih se vrše dostave pošiljki, ali i očekivana tipična raspoloživost većeg broja *crowdsourced* vozača. Iz istog razloga je odlučeno da simulacije pokriju samo radne dane u nedelji (od ponedeljka do petka), budući da su uslovi saobraćaja u tim danima uporedivi, kao i distribucije pristiglih zahteva za dostavom i tipična raspoloživost *crowdsourced* vozača.





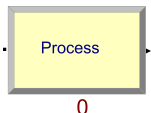

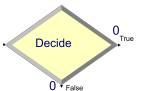
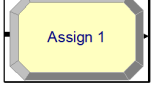
Slika 3.8 Dijagram toka implementiranog simulacionog modela [4]

Simulaciona iteracija počinje danom čija je numerička vrednost jednaka jedan i vremenskim trenutkom koji ima vrednost jedan. Dane i diskretne vremenske trenutke simulacije je neophodno predstaviti celim brojevima usled ograničenja u simulacionom softveru, tako da su dani reprezentovani celobrojnim vrednostima od jedan do pet (gde 1 predstavlja ponedeljak, 2 - utorak, 3 - sredu, 4 - četvrtak a 5 - petak) a dvanestočasovni period je reprezentovanim vrednostima od 1 do 720 tako da svaki ceo broj predstavlja jedan minut. U svakom simuliranom diskretnom vremenskom trenutku postoji mogućnost da se pojavi jedna ili više pošiljaka kao i da se pojavi jedan ili više dostavljača, što je modelovano Poasonovim raspodelama sa parametrima intenziteta prikazanim u tabeli 3.1. Prilikom njihovog generisanja se uzimaju u obzir specifičnosti konkretnog simulacionog modela u pogledu vrednosti nezavisnih i moderatorskih promenljivih, tako da se pošiljkama (koje prispevaju, preuzimaju se i pripremaju za uručenje, tj. deponuju u centralizovanoj dostavnoj jedinici) dodeljuje rok dostave i udaljenost do krajnje destinacije a za dostavljače se dodeljuje dostavno sredstvo koje koriste (mod transporta). Nakon toga se pošiljka preuzima od strane dostavljača i on putuje od centralizovane dostavne jedinice do korisničke lokacije (uzimajući u obzir prosečnu brzinu kretanja kroz saobraćajnu mrežu s obzirom na trenutno doba dana, koje kao što je ranije opisano zavisi od simulacionog minuta). U svakom simuliranom minutu se proverava da li je dostavljač stigao na destinaciju, te ukoliko nije on nastavlja i dalje svoje putovanje, a ako jeste pošiljka se dostavlja i proverava se da li je uručena u okviru zahtevanog vremenskog perioda za dostavu ili postoji kašnjenje. Dostavljač zatim odlučuje da li želi da obavi narednu dostavu, a verovatnoća prihvatanja nove dostave je podešena na 75% što je u saglasnosti sa prethodnim studijama. Ako prihvati novu dostavu, putuje od korisničke lokacije do centralizovane dostavne jedinice gde preuzima novu pošiljku (ukoliko postoji pošiljka za preuzimanje), odnosno čeka pojavljivanje novog zahteva za dostavu (ukoliko nema trenutno raspoloživih pošiljki za dostavu) nakon čega se ponavlja prethodno opisani proces dostave. Ukoliko dostavljač ne prihvati novu dostavu, izlazi iz simulacije. Nakon svakog simulacionog koraka se povećava vrednost vremenskog trenutka "minut" sve dok ne dođe do vrednosti od 721, kada nastupa novi dan (vrednost promenljive dan se inkrementira za jedan) i onda se ponavljaju svi prethodno navedeni koraci do momenta kada se prođe kroz svih pet radnih dana što ujedno predstavlja i trenutak kraja simulacione iteracije.

U nastavku disertacije predstavljeni su i opisani sa funkcionalnog aspekta moduli koji su korišćeni prilikom implementacije simulacionih modela [3], kao i način njihovog povezivanja kako bi se dobili pod-procesi i tokovi ilustrovani na slici 3.8.

U tabeli 3.4 su prikazani opisi modula koji se koriste za osnovnu postavku simuliranih procesa u namenskom softverskom rešenju za simulacije koje je korišćeno u disertaciji: modul za kreiranje (eng. *Create*), modul za izlazak entiteta odnosno izbacivanje entita iz sistema (eng. *Dispose*), modul za proces (eng. *Process*), modul za snimanje (eng. *Record*), modul za odluke (eng. *Decide*) i modul za dodeljivanje (eng. *Assign*).

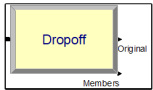


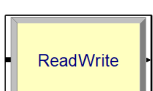

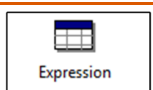


Tabela. 3.4 Moduli za osnovni proces

Osnovni moduli za proces (eng. <i>basic process</i>)	
	<p>Create modul je namenjen kao početna tačka za entitete u simulacionom modelu. Entiteti se kreiraju koristeći odgovarajući raspored dolazaka ili je njihovo kreiranje bazirano na vremenu između dolazaka. Entiteti potom napuštaju Create modul i na taj način otpočinje simulacija kretanja kroz sistem. Tip entiteta se specificira u ovom modulu.</p>
	<p>Dispose modul je namenjen kao krajnja tačka za entitet u simulacionom modelu. Statistika koja je vezana za entitet može da se zabeleži putem Record modula pre nego što entitet izađe iz simulacije.</p>
	<p>Process modul predstavlja glavni metod za procesiranje u simulaciji. U okviru njega postoje opcije za dodeljivanje i oslobađanje resursa. Dodatno, postoji i opcija da se koristi "podmodel", tj. specificira hijerarhijska logika koju je korisnik definisao. Vremenska dimenzija koja je dodeljena entitetu može da se procesuiru kao dodata vrednost, transfer, čekanje, ili nešto drugo u okviru ovog modula.</p>
	<p>Record modul se koristi za beleženje različitih pokazatelja i veličina od interesa u simulacionom modelu, uključujući vremena ulaska i izlaska entiteta iz ovog modula odnosno vremena koje je proteklo od početka simulacije, troškova asociiranih sa entitetom (ukoliko postoje) kao i prebrojavanje instanci entiteta koje su registrovane (<i>Counter</i>).</p>
	<p>Decide modul omogućava donošenje različitih odluke u pogledu simuliranog procesa, koje mogu biti bazirane na jednom ili više kriterijuma vezanih za vrednosti atributa i varijabli, tip entiteta ili mogu predstavljati kompleksniju logiku koja se definiše odgovarajućim izrazima.</p>
	<p>Assign modul se koristi za dodeljivanje vrednosti varijablama i atributima povezanih sa entitetima a pored uobičajenih tipova podataka (celi i decimalni brojevi, datumi, tekst i sl.) podržava i dodeljivanje ilustracija (slika) koje se pridružuju entitetima.</p>

U tabeli 3.5 su prikazani i opisani elementi koji se koriste za napredno modelovanje sistema (posebno redova čekanja), a koji su relevantni za kreiranje simulacionih modela u okviru doktorske disertacije: modul za dostavu entiteta (eng. *Drop off*), modul za preuzimanje

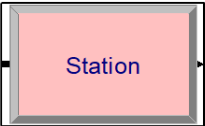
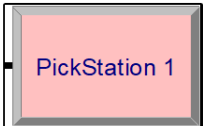
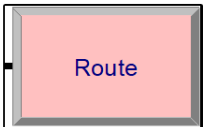
entiteta (eng. *Pick up*), modul za uklanjanje entiteta (eng. *Remove*), modul za čitanje/pisanje (eng. *ReadWrite*), modul za pretragu (eng. *Search*), modul za izraze (eng. *Expression*), modul za datoteke (eng. *File*) i modul za čekanje (eng. *Hold*).

Tabela. 3.5 Moduli za napredni proces (eng. *Advanced Process*)

Moduli za napredni proces	
	Dropoff modul dostavlja specificirani broj entiteta iz reda čekanja i šalje ih u drugi modul.
	Pickup modul preuzima određen broj uzastopnih entiteta iz reda čekanja počevši od određenog elementa u redu. Entiteti koji su preuzeti dodaju se na kraj grupe dolaznih entiteta.
	Remove modul uklanja pojedinačni entitet sa navedene pozicije u redu čekanja i šalje ga ka naznačenom modulu.
	ReadWrite modul se koristi za čitanje podataka iz definisanog ulaznog fajla ili sa tastature i dodeljivanje pročitanih vrednosti u listu varijabli ili atributa. Ovaj modul se koristi takođe da ispiše podatke na ekran ili u fajl.
	Search modul pretražuje red čekanja, grupu ili izraz u cilju da pronađe pozicije entiteta (za entitete u grupi ili redu čekanja) koji zadovoljavaju naznačeni uslov za pretragu.
	Expression modul se koristi za beleženje vrednosti specificiranog izraza koji se koristi za obradu podataka.
	File modul za datoteke služi za upisivanje vrednosti u datoteku ili čitanje vrednosti iz datoteke.
	Hold modul ima funkciju da osigura zadržavanje entiteta u redu čekanja dok se ne dobije odgovarajući signal (npr. dok se ne zadovolji uslov da je vrednost specificiranog izraza tačna) ili na neodređeno vreme (odnosno do njegovog uklanjanja putem drugih modula kao što je Remove).





U tabeli 3.6 su prikazani moduli koji se koriste za takozvani napredni transfer entiteta kroz simulaciju: modul za definisanje stanice (eng. *Station*), modul za selekciju stanica (eng. *PickStation*) i modul za rutiranje (eng. *Route*).

Tabela. 3.6 Moduli za napredni transfer (eng. *Advanced transfer*)

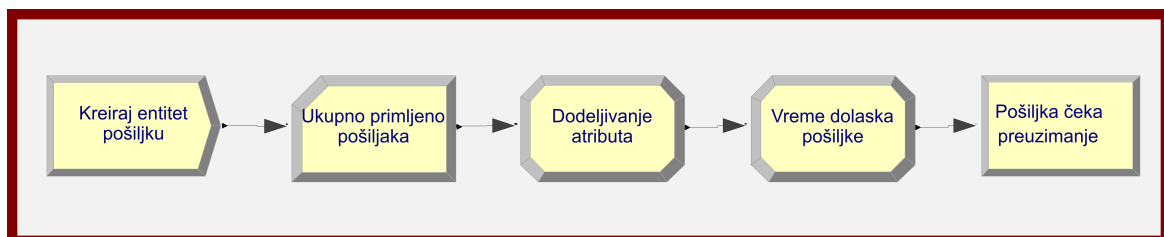
Moduli za napredni transfer	
	<p>Station modul definiše stanicu (ili skup stanica) u skladu sa fizičkim i logičkim lokacijama gde se proces odvija.</p>
	<p>PickStation modul dozvoljava izbor pojedinačne stanice (mesta kretanja ili zaustavljanja entiteta) iz skupa većeg broja stanica, na osnovu logike koja je definisana u samom modulu. Entitet se potom može rutirati, transportovati, ili povezati se sa stanicom koja je specificirana.</p>
	<p>Route modul rutira, tj. usmerava entitet ka izabranoj stanici ili prvoj sledećoj stanici (ako je tako određeno u sekvenci za entitet). Takođe može da se koristi za definisanje vremena zadržke pre transfera ka sledećoj stanici.</p>

U tabeli 3.7 su prikazani elementi koji se koriste za upravljanje podacima: element za atribute (eng. *Attribute*), element za varijable (eng. *Variable*), element za entitete (eng. *Entity*) i elementi za redove čekanja (eng. *Queue*).

Tabela. 3.7 Elementi za podatke

Elementi za podatke	
 Entity	Entity element je sve što se može procesirati.
 Attribute	Attribute elementi su parametri koji prate entitet dok se kreće kroz model.
 Variable	Variable elementi predstavljaju promenljive koje se deklarišu nezavisno od pojedinačnih entiteta i može im pristupiti entitet u bilo kom delu modela.
 Queue	U Queue elementu se definišu karakteristike redova čekanja.

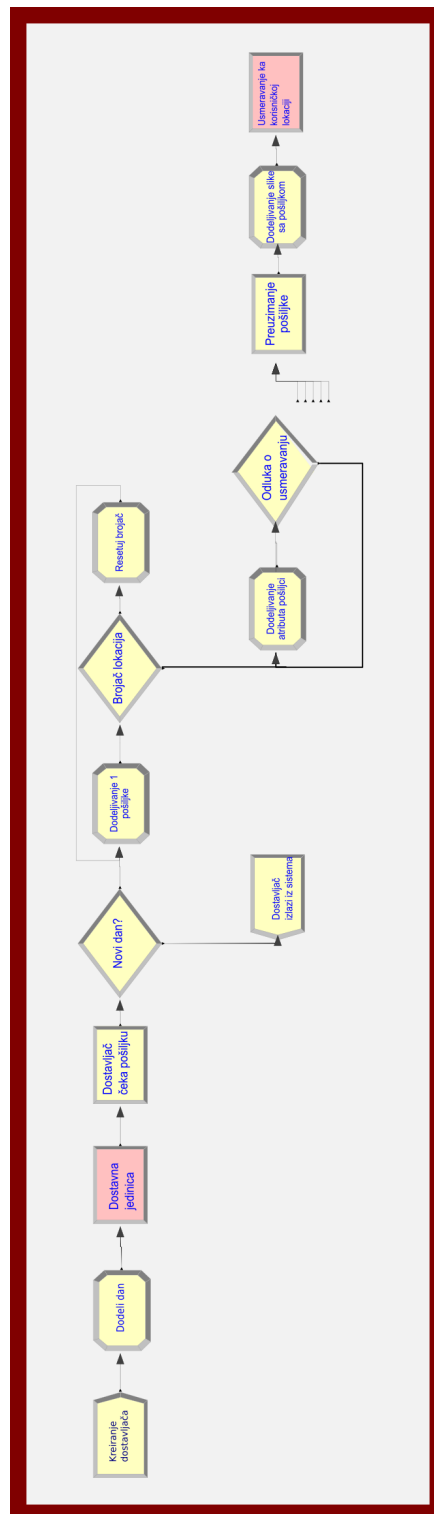
Na slici 3.9 je prikazan deo procesa simulacionih modela koji je namenjen za kreiranje pošiljaka. Entiteti pošiljke kreiraju se i ulaze u sistem po Poasonovoj raspodeli i parametrima intenziteta koji su navedeni u tabeli 3.1, nakon čega se beleži ukupan broj primljenih pošiljaka u okviru posmatrane simulacione iteracije. Potom se svakom entitetu dodeljuje odgovarajuća vrednost za zahtevano vreme dostave (vrednost atributa zavisi od moderatorske promenljive koja se odnosi na scenario dostave datog simulacionog modela), beleži se vreme prispeća pošiljke i potom on čeka preuzimanje.



Slika 3.9 Kreiranje entiteta (pošiljka)

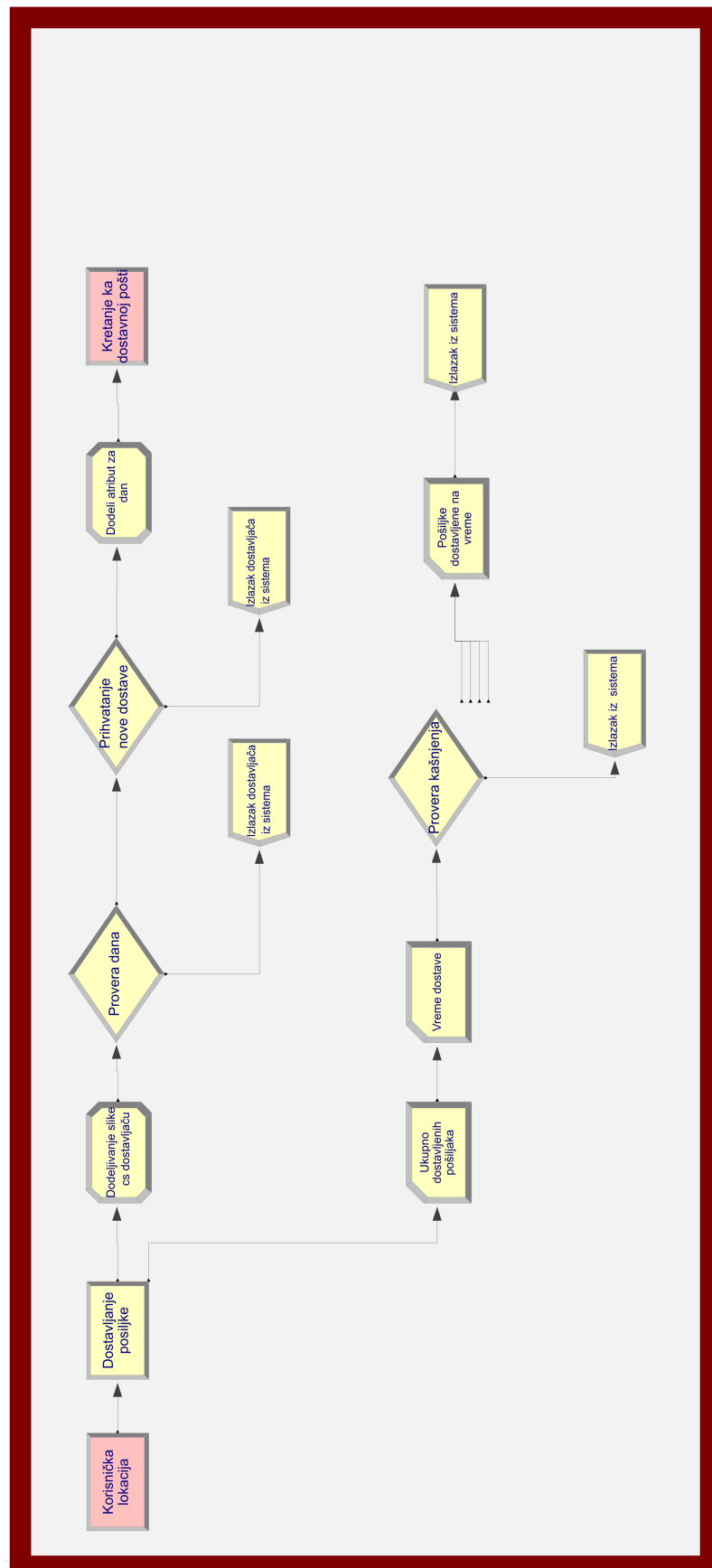
Na slici 3.10 prikazana je softverska implementacija dela modela u okviru koje se odvija kreiranje entiteta dostavljača, preuzimanje entiteta pošiljke i usmeravanje ka korisničkoj

lokaciji. Prvo se kreiraju entiteti dostavljača koji ulaze u sistem po Poasonovoj raspodeli sa parametrima intenziteta koji su navedeni u tabeli 3.1 a čiji mod transporta zavisi od trenutne vrednosti nezavisne eksperimentalne promenljive. Nakon toga se podešava vrednost atributa za dan simulacije (ponedeljak=1, utorak=2, sreda=3, četvrtak=4, petak=5) kako bi bilo moguće uzeti u obzir realne uslove saobraćaja prilikom simuliranja kretanja kroz korisničku mrežu i entiteti dostavljača ulaze u modul gde čekaju entitete pošiljke. Ukoliko nastupi novi dan dok dostavljač čeka na pošiljku, on napušta sistem (tako da na početku svakog novog dana simulacije nema dostavljača u sistemu). Pošiljka se potom preuzima iz centralizovane dostavne jedinice prilikom čega se beleže vremenski trenutak kada se pojavila pošiljka, prosečna brzina kretanja kroz korisničku mrežu dostavljača za posmatrani korak simulacije i atributi vezani za rokove dostave. Radi vizuelnog prikaza kretanja dostavljača u korisničkoj mreži, to jest zbog mogućnosti provere da se na svakoj ruti nalazi samo po jedan dostavljač (validacija modela), entitetima dostavljača se dodeljuje slika (dostavljača sa paketom) i entitet dostavljač sa preuzetim entitetom pošiljka ulazi u modul za rutiranje prema korisničkoj lokaciji (u okviru kojeg putuje do korisničke lokacije prosečnom brzinom koja je izračunata za posmatrani simulacioni korak).



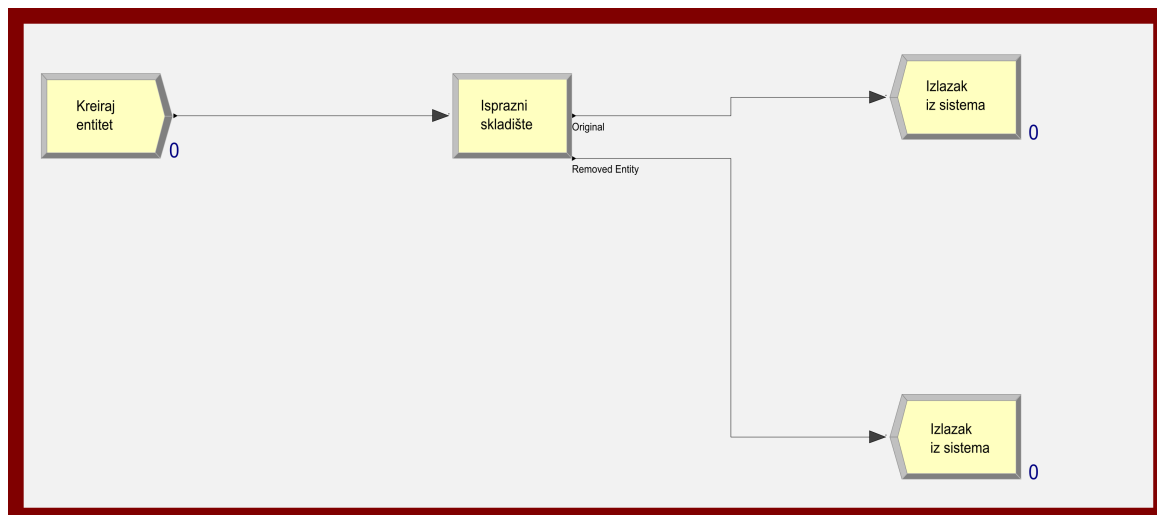
Slika 3.10 Kreiranje entiteta (dostavljač), preuzimanje pošiljke i usmeravanje prema korisničkoj lokaciji

Na slici 3.11 je prikazan deo računarske implementacije koji upravlja kretanjem dostavljača nazad prema dostavnoj pošti nakon uručjenja pošiljke, odnosno snimanjem relevantnih ključnih indikatora performansi. Kada entitet dostavljač dođe na korisničku lokaciju sa entitetom pošiljka, entitet pošiljka se dostavlja (izlazi iz sistema) i beleži se ukupan broj dostavljenih pošiljaka za trenutnu simulacionu iteraciju. Nakon toga se proverava da li je pošiljka dostavljena na vreme (u okviru dodeljenog vremenskog roka za dostavu) i podatak o tome se snima uz pomoć brojača. Nakon što je dostavljen entitet pošiljka, entitetu dostavljač dodeljuje se slika bez pošiljke radi lakšeg praćenja kretanja kroz korisničku mrežu i validaciju simulacionog modela. Potom se proverava da li je nastupio novi dan (u kom slučaju entitet dostavljač izlazi iz sistema), a ako nije proverava se da li prihvata novu dostavu (gde je verovatnoća prihvatanja postavljena na 75%) u kom slučaju nastavlja put ka centralnoj dostavnoj lokaciji.



Slika 3.11 Upravljanje dostavom i beleženje ključnih indikatora performansi

Na slici 3.12 je prikazana implementacija dela simulacije koji je zadužen za poništavanje vrednosti raspoloživih dostavljača i pošiljki u centralnom skladištu. Jedna od pretpostavki i ograničenja simulacije je da se dostavljači i pošiljke ne prenose na naredni dan.



Slika 3.12 Novi dan u okviru simulacione iteracije - poništavanje vrednosti

3.5 Validacija

Validacija konceptualnog modela, validacija računarskog modela i operaciona validacija simulacije je izvršena uz pomoć odgovarajućih tehnika predloženih i detaljnije opisanih u [98]:

- **Validacija konceptualnog modela** – dijagram toka simulacije i grafički modeli koji su služili kao osnova za računarsku implementaciju su prvo provereni od strane eksperata u oblasti koji nisu uključeni u istraživanje, u cilju provere logike i strukture modela kao i eventualnog utvrđivanja slabosti. Upoređivanjem sa prethodno izvedenim studijama i konsultacijom sa domenskim ekspertima je izvršena i validacija pretpostavke vezane za raspodelu dolazaka entiteta od interesa (pošiljaka i dostavljača), odnosno potvrđeno je da oni mogu da se modeluju upotrebom Poasonove raspodele. Na isti način je izvršena provera i validacija scenarija dostave kao i rokova dostave sa konceptualnog nivoa.
- **Validacija podataka** – uzorak u smislu broja destinacija na koje se vrši dostava (korisničke lokacije) iz centralne lokacije je dovoljne veličine i u skladu je sa prethodno izvedenim studijama. Testirano je i postojanje ekstremnih vrednosti koje se tiču udaljenosti destinacija ili vremena potrebnog da se do njih stigne (pošto se može desiti da ista adresa postoji i u drugom gradu, pa bi vreme putovanja i distanca bili daleko veće od očekivanih) i one nisu utvrđene. Za proveru prostorne distribucije korisničkih lokacija i obezbeđivanje da su na uporedivim nivoima je korišćen ArcGis namenski softver.
- **Verifikacija računarskog modela** – nakon implementacije modela upotrebom softvera Arena, oni su izloženi različitim scenarijama dinamičkog testiranja koji su podrazumevali analizu scenarija dostave i rokove za dostavu. Dobijene izlazne vrednosti poredile su se sa očekivanim (kako u pogledu sličnih studija tako i u pogledu očekivanja domenskih eksperata) i utvrđeno je da je implementacija ispravna. Pored toga proveren je i računarski kod za komunikaciju sa aplikativnim programskim interfejsima *Google Maps* i *HERE* i upoređene su vrednosti udaljenosti i vremena putovanja za različite scenarije koje se dobijaju upotrebom koda sa vrednostima koje se dobijaju ručnim unosom destinacija u zvanične web-forme ovih servisa, i utvrđeno je da se one poklapaju.
- **Operativna validacija**

- Degenerativni testovi: povećanjem potražnje za dostavu u minuti, uz održavanje stalne dostupnosti vozača, povećala se i veličina reda čekanja pošiljki, a smanjivanjem potražnje za dostavu u minuti, uz održavanje stalne dostupnosti vozača, smanjila se i veličina reda čekanja pošiljki.
- Testovi ekstremnih uslova: podešavanjem simulacije da u njoj nema pristiglih pošiljaka rezultovalo je nepostojanjem kretanja od simulirane centralizovane dostavne jedinice ka bilo kojoj korisničkoj adresi.
- Interna validacija: osigurano je da su modeli interno validni tako što je utvrđena mala varijabilnost vrednosti zavisnih varijabli između različitih simulacionih iteracija.
- Analiza osetljivosti na varijabilnost parametara: potvrđena je osetljivost na promene parametara uvidom u izlaze modela pri različitim konfiguracijama ulaznih parametara (na primer kada je dostupnost dostavljača povećana, povećan je i ukupan broj dostavljenih pošiljki).
- Validnost izgleda: stručnjaci koji imaju iskustvo u radu sa realnim sistemima čija se simulacija pravi, analizirali su modele i doneli zaključak da su njihova ponašanja razumna i očekivana u odnosu na ustanovljene parametre i ograničenja.
- Animacija: Namenski softver za simulaciju koji je korišćen poseduje široku paletu animacija koja obuhvata vizualni prikaz tajmera, brojača, grafika i kretanja entiteta kroz mrežu. Vizualnom inspekcijom relevantnih animacija (kretanje dostavljača kroz korisničku mrežu) nisu utvrđene nekonzistentnosti ili potencijalni problemi u postavci modela.
- Poređenje sa drugim modelima: izlazni rezultati razvijenih modela su poređeni sa rezultatima sličnih studija ([96], [4]) i pokazali su se konzistentnim.
- Operacioni grafici: vrednosti ključnih indikatora performansi (ukupan broj realizovanih dostava i procenat dostavljenih pošiljaka na vreme) su prikazivani i analizirani tokom simulacionih iteracija i nije ustanovljeno postojanje odstupanja od očekivanih vrednosti (u kontekstu parametara i ograničenja simulacije).

3.6 Ograničenja

Kao što je spomenuto u uvodnom delu poglavlja 3 Metodlogija, simulaciono modelovanje omogućava prikupljanje zapažanja o određenom sistemu i njegovim komponentama, ali budući da modeli sami po sebi predstavljaju uprošćene reprezentacije realnih sistema, oni su nužno podložni nekim ograničenjima koja je neophodno naglasiti kako bi se zapažanja stavila u odgovarajući kontekst odnosno kako bi se rezultati simulacija bolje razumeli. U tom smislu, u nastavku su prikazana bitna ograničenja koja je neophodno imati na umu prilikom interpretacije rezultata simulacionih modela razvijenih u okviru ove disertacije.

Kada su u pitanju servisi koji su korišćeni za dobijanje podataka o razdaljini između dve adrese odnosno vremenu neophodnom da se ta razdaljina pređe (koje zavisi od realnih uslova saobraćaja na posmatranom području), treba spomenuti da se oni konstantno razvijaju i unapređuju ali da je tačnost podataka koju pružaju ponekad predmet detaljnije analize od strane krajnjih korisnika kao i predmet kritike.

Kada je u pitanju *Google Directions API* i putovanje automobilom ili teretnim vozilom, za prosleđenu početnu adresu i destinaciju se do 2007. godine računala prvenstveno najbrža ruta gde se vreme putovanja primarno procenjivalo na osnovu ograničenja za maksimalne brzine duž rute. Danas ovaj servis uzima u obzir i trenutne uslove u saobraćaju (koji se procenjuju na osnovu podataka koje prikupljaju uređaji koji se nalaze u posmatranom području a koji koriste *Google Maps* ili drugu aplikaciju koja se oslanja na *Google Directions API*, kao i na osnovu istorijskih podataka [105]), a koji obično uvećavaju procenjeno vreme putovanja. Podrazumevani saobraćajni model koji koristi *Google Directions* prilikom odgovaranja na upite je "realna pretpostavka", koji predstavlja dobar balans između "optimističkog" (u okviru kojeg se koristi pretpostavka da su uslovi u saobraćaju najbolji mogući) i "pesimističkog" (u okviru kojeg se koristi pretpostavka o veoma teškim uslovima u saobraćaju), i to je bio podrazumevani model koji je korišćen u eksperimentalnom delu (budući da je izbalansiran od strane same korporacije *Google* i da predstavlja razumnu pretpostavku o realnim uslovima u saobraćaju).

Međutim, dobra ilustracija nepredviđenih problema koji mogu ponekad da nastanu kada se korisnički-generisani podaci koriste za procenu vremena putovanja je slučaj umetnika i analitičara uticaja tehnologije na društvo Simona Vekerta, koji je pre četiri godine izveo neobičan eksperiment [106]. On je u Berlinu, na dan praznika kada saobraćaj gotovo da nije postojao (odnosno gotovo uopšte nije bilo vozila na ulicama), stavio 99 mobilnih telefona

u ručnu prikolicu koju je u nasumičnim periodima tokom dana vukao za sobom dok je pešačio praznim ulicama grada. Rezultat toga je bila, obično nakon oko sat vremena od kada bi započeo šetnju, teška crvena linija u *Google Maps* aplikaciji u ulicama kojima je prolazio, a koja indikuje izuzetno veliku gužvu u saobraćaju (iako je on praktično bio jedini učesnik u saobraćaju) i posledično veoma precenjeno vreme putovanja za sve korisnike koji bi planirali da krenu tom rutom. Eksperiment je imao odjek u javnosti a predstavnici *Google* korporacije su prokomentarisali da im je uvek drago da vide inovativnu upotrebu tehnologija koje razvijaju i da im slučajevi kao što je prethodno opisan pomažu da unaprede svoje pristupe i pruže kvalitetnije proizvode svojim korisnicima.

Kada je u pitanju preciznost procene vremena kada se putuje biciklom, rezultati koje pruža *Google Directions* servis takođe može biti upitna. Jedna od glavnih kritika se odnosi na to da su preporučene rute često podoptimalne i da procenjeno vreme putovanja zbog toga može biti prilično neprecizno. Servis generiše preporučene rute za bicikliste na taj način što favorizuje rute sa postojećom biciklističkom infrastrukturom (staze, namenske trake i puteve koji su prilagođeni biciklima), rute za koje je biciklistima generalno potrebno manje vremena da savladaju (npr. manje ukrštanja sa drugim putevima) i rute koje ne uključuju vožnju uzbrdo ili nizbrdo (odnosno ukoliko se može izbeći ruta sa značajnim nagibom terena, izbegava se). Procenjeno vreme putovanja ne uzima u obzir stvarnu brzinu kretanja bicikliste i dobrovoljna zaustavljanja (odnosno pauze koje se prave) [107], a podrazumeva da je osnovna brzina kretanja oko 16 km/h (koja se koriguje za svaki deo rute u zavisnosti od elevacije i broja ukrštanja sa raskrsnicama). Takođe, procenjeno vreme uključuje prosečno vreme za čekanje na semaforima i pružnim prelazima, gde je osnovna pretpostavka da će biciklisti čekati na svim semaforima ukoliko je svetlo crveno [108].

Studija koju je sproveo iskusni biciklista u Australiji kako bi uporedio procenjeno vreme putovanja koje računa *Google* sa realnim vremenom koje mu je bilo potrebno da savlada par izabranih ruta pokazala je interesantne rezultate [108]. Prilikom eksperimenta biciklista je koristio namensku aplikaciju *Strava* za merenje stvarno pređene distance i utrošenog vremena, te je dobijene rezultate poredio sa procenama koje pruža *Google*. Za gradsku rutu od 4.2km koju je biciklista prvu testirao, *Google Directions* je predvideo oko 18 minuta vremena neophodnog za putovanje. Međutim, budući da je biciklista je vozio malo bržim tempom, namenska aplikacija je pokazala da je vreme putovanja iznosilo svega 10 minuta. Uzrok ovolike razlike verovatno leži u pretpostavci *Google servisa* da će biciklista čekati pun minut do zelenog svetla na raskrsnicama koje se nalaze na ruti, ali u testiranim uslovima na svim nesignalisanim raskrsnicama na ovoj ruti biciklisti imaju prednost tako da je ovo

čekanje bilo izbegnuto. Takođe, biciklista je konstatovao da iskusni biciklisti često koriste prečice u cilju izbegavanja nepotrebnog čekanja, a da *Google* kalkulacija ovo ne uzima u obzir. Drugi test je podrazumevao vožnju od 20km (do lokalnog aerodroma) rutom koju je predložila aplikacija *Google Maps*, za koju je procenjeno potrebno vreme iznosilo oko 1h i 20min. Budući da je veći deo rute predstavljala pravolinijska vožnja i da nije bilo više ukrštanja sa drugim putevima (kao i usled činjenice da je biciklista mogao da održava konstantno viši tempo vožnje tokom većeg dela putovanja), on je ovu distancu savladao za 53 minuta, što predstavlja razliku od oko 50% u odnosu na procenjeno vreme. Konačno, kada je u narednom pokušaju jednu predloženu gradsku rutu vozio umerenim tempom i poštujući svako zaustavljanje na ukrštanjima, procenjeno vreme putovanja je bilo uporedivo sa onim koje je biciklista izmerio.

Konačno, kada je u pitanju *Google Directions* servis, bitno je napomenuti da on ne podržava sve modove transporta za sve geografske lokacije; u tom smislu, kreiranje ruta za kretanje biciklom kada je u pitanju Beograd nije bilo podržano u trenutku izvođenja eksperimenta, što je za direktnu posledicu imalo izostavljanje ovog grada prilikom razvoja simulacija u kojima su korišćeni podaci dobijeni kao odgovor na upite postavljene *Google Directions API*-ju.

Here Routing API, kada je u pitanju motorni saobraćaj, u trenutku izvođenja eksperimenta ne podržava izbalansiranu procenu saobraćajnih uslova, već samo procenu distance i potrebnog vremena za najbrže ili najkraće rute. To naravno znači da u se u nekim slučajevima najbrža ruta ne podudara sa minimalnom distancom koju je potrebno savladati između dve adrese – na primer servis može da favorizuje rutu koja uključuje autoput, čak iako se kraće vreme putovanja može postići zaobilaznim putevima. Za razliku od najbrže rute kod koje je bitan faktor vremena, najkraća ruta ne uzima u obzir informacije o brzini već se samo distanca minimizuje [109]. Kalkulacija ruta kada se kao mod transporta koristi bicikli vrši se na malo drugačiji način nego što je to slučaj kod *Google Directions API*; kao mogući putevi kretanja se pored prilagođenih puteva primarno koriste pešačke staze, s tim da se brzine kretanja biciklista usaglašavaju sa pogodnošću puta za biciklizam (na primer kada su u pitanju pešačke staze smeštene u parkovima ili kada su u pitanju staze u pešačkim zonama gde se bicikli mora gurati). Procena potrebnog vremena kada su u pitanju biciklisti takođe uzima u obzir promene visine pri određivanju brzine koja se koristi na određenom putu, tako da kada se biciklista penje uz brdo brzina se smanjuje (moguće čak do brzine pešaka), a kada se spuštata niz brdo, brzina se povećava. Tačne vrednosti podrazumevane brzine nisu date u zvaničnoj dokumentaciji, osim napomene da se brzine mogu menjati sa svakim sledećim

izdanjem API-ja. Organizacija je svesna da podrazumevani profil brzine ne može odgovarati svim biciklistima, pa se u budućnosti planira uvođenje više profila kako bi procene bile preciznije [110].

Sve prethodno izneseno ukazuje na to da procene vremena za putovanje i distance koju je potrebno preći (bez obzira na servis koji se koristi za dobijanje procena) mogu da odstupaju od onih koje se ostvaruju u realnim uslovima, a koja zavise kako od algoritama koji se koriste za njihovu procenu (i kvaliteta istorijskih i trenutno raspoloživih podataka), tako i od stvarnog ponašanja učesnika u saobraćaju. Međutim, budući da su prikazani servisi jedni od najpopularnijih kada je u pitanju izbor aplikacija za navigaciju i da podaci koje prikupljaju oslikavaju prosečna ili očekivana ponašanja ogromnog broja ljudi, očekuje se da će njihova upotreba pružiti dovoljno kvalitetnu aproksimaciju posmatranih veličina u okviru simulacija da se steknu upotrebljivi uvidi u ponašanje modelovanih sistema.

Studija prikazana u disertaciji je takođe ograničena i izborom gradova koji su njome obuhvaćeni. Jasno je da se gradovi često veoma razlikuju kako u pogledu kvaliteta infrastrukture tako i u pogledu stila života, kulture i navika njihovih stanovnika, a cilj studije je bio da obuhvati gradove koji su dovoljno slični u pogledu prethodnih karakteristika da budu direktno uporedivi (što je i primarni razlog što su izabrani gradovi sa istog kontinenta), ali opet i dovoljno različiti kako bi generalizacija rezultata bila moguća. Pored razvijenosti biciklističke infrastrukture koja je predstavljala bitan faktor prilikom izbora gradova (što je opisano u sekciji 3.2), u obzir je uzeta i opšta mobilnost u njima. Prema trogodišnjoj analizi mobilnosti u okviru gradova sa najvećim saobraćajanim intenzitetom u studiji *2019 Scorecard*, Pariz se nalazi na 6. mestu sa prosečno 165 časova izgubljenih u saobraćaju u posmatranom periodu, Minhen se nalazi na 51. mestu sa 87 časova izgubljenih u saobraćaju, a Kopnehagen se nalazi na 94. mestu sa 68 izgubljenih časova [111].

U pogledu ključnih pretpostavki na kojima se bazira istraživanje a koje direktno mogu da utiču na dobijene rezultate, najveće ograničenje predstavlja pretpostavka da svaki dostavljač istovremeno može prevoziti samo jednu pošiljku. Međutim, ova pretpostavka uopšte nije nerazumna ako se u obzir uzmu različiti organizacioni scenariji koji su opisani u sekciji 2, kao što su oni gde se koristi ekspresna dostava (dostava hrane, dokumenata i slično) ili gde se korisnicima nude određene pogodnosti ukoliko odluče da dostave pošiljku iz centralizovane lokacije korisnicima koje se nalaze na njihovom putu kući. Drugo veliko ograničenje je vezano za pretpostavke o raspoloživosti dostavljača i pristizanju zahteva za dostavom u toku dana. Obe veličine su, u nedostatku empirijskih podataka (budući da još uvek nema

kompanija koje nude *crowdsourced* servise koji se zasnivaju isključivo na biciklistima kao dostavljačima u posmatranim gradovima), modelovane Poasonovim distribucijama sa odgovarajućim parametrima intenziteta koji su korišćeni u okviru prethodnih studija. Takođe, kako bi rezultati za različite gradove bili direktno uporedivi, korišćeni su identični scenariji (nivoi moderatorskih varijabli), iako je realno za očekivati da bi u različitim gradovima realna potražnja i raspoloživost dostavljača izgledala možda i znatno drugačije (što ujedno predstavlja i jedno od budućih pravaca istraživanja).

4

Prikaz i analiza rezultata istraživanja

Za svaku kombinaciju nivoa nezavisne i moderirajućih varijabli simulacije su ponovljene 25 puta, a svako ponavljanje je obuhvatilo 30 iteracija, što je rezultovalo u ukupno 67500 simuliranih dana za svaki od 4 grada, za svaki od pojedinačnih servisa (izvora podataka o realnim uslovima saobraćaja) koji je korišćen. Nakon toga su izračunate srednje vrednosti ključnih indikatora performansi dobijenih simulacijama, a koji su u fokusu istraživačkih pitanja definisanih na početku disertacije (broj dostava u okviru dana i procenat dostava realizovanih u okviru zadatih vremenskih rokova) i putem kojih je izvršena procena efikasnosti dostavnih sredstava u različitim simuliranim uslovima. Kako bi se utvrdilo da li su razlike u posmatranim vrednostima zavisnih promenljivih statistički značajne, za svaki nivo eksperimentalnih varijabli sprovedena je jednofaktorska analiza varijanse (odnosno "one-way ANOVA", eng. *ANalysis Of VAriance*). Kako bi se osiguralo da su pretpostavke ANOVE zadovoljene i da su rezultati analize pouzdani, sprovedeni su formalni testovi za proveru normalnosti i testovi homogenosti varijanse (homoskedastičnost). Svi testovi i analize su sprovedeni upotrebom standardnih biblioteka programskog jezika "R". Šapiro-Vilk (eng. Shapiro-Wilk) test koji je sproveden za svaku grupu je potvrdio da su podaci normalno distribuirani, što je dodatno verifikovano vizualnom inspekcijom plotova normalnosti. Iako je inicijalna vizualna inspekcija reziduala sugerisala da pretpostavka homogenosti varijanse nije narušena, Levinov (eng. Levene) test za homogenost varijanse nije uspeo ovo da potvrdi za neke od grupa. Međutim, s obzirom na to da je jednofaktorska ANOVA prilično robusna na mala narušavanja pretpostavke normalnosti i pretpostavke homogenosti varijanse posebno kada su uzorci dovoljno veliki i uravnoteženi [112] – kao što je to bio slučaj u istraživanju prikazanom u disertaciji – pristupljeno je post hoc analizi da se utvrdi između kojih grupa su prisutne razlike. Da bi se to učinilo, upotrebljen je Taki HSD test (eng. *Tukey's HSD, Honestly Significant Difference* [113]). Kao prag za ocenu razlika kao statistički značajnih je korišćen nivo $p < 0,05$ što je u saglasnosti kako sa prethodnim sličnim studijama tako

i sa uobičajenom praksom u ovom domenu. Konačno, kao pokazatelj veličine efekata je korišćen η^2 , koji predstavlja meru količine varijacije koju objašnjava prediktor u odnosu na ukupnu varijaciju zavisne promenljive [114]. Vrednosti η^2 od manje od 0,01 indikuju slabe efekte, vrednosti manje od 0,06 indikuju efekte umerene jačine dok vrednosti od 0,13 ili više indikuju snažne efekte [115].

U nastavku su iskomentarisani i grafički prikazani rezultati simulacija i sprovedenih analiza za svaki od servisa – za svaki grad i za sve definisane nivoe eksperimentalnih varijabli.

4.1 Google Directions

U tabeli 4.1 su prikazani rezultati dobijeni izvršavanjem simulacije dostave za Kopenhagen, u tabeli 4.2 su prikazani rezultati za Pariz a u tabeli 4.3 su prikazani rezultati za Minhen.

Tabela. 4.1 Rezultati - Kopenhagen (*Google Directions*)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	367,98	88,88
		Automobil	366,42	83,29
		Kombinacija	366,96	86,31
	Standardni	Bicikl	367,91	77,24
		Automobil	365,99	68,27
		Kombinacija	366,67	72,86
	Isti dan	Bicikl	368,41	100,00
		Automobil	366,12	100,00
		Kombinacija	366,77	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	297,17	93,84
		Automobil	297,23	89,11
		Kombinacija	296,46	91,71
	Stvarni	Bicikl	414,48	76,03
		Automobil	410,49	69,72
		Kombinacija	412,28	72,81
	Uniformni	Bicikl	392,64	96,25
		Automobil	390,81	92,73
		Kombinacija	391,66	94,65

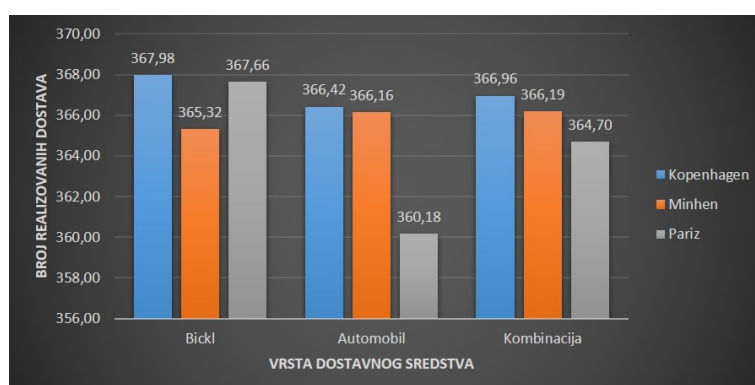
Tabela. 4.2 Rezultati - Pariz (*Google Directions*)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	367,66	87,44
		Automobil	360,18	77,47
		Kombinacija	364,70	82,88
	Standardni	Bicikl	367,26	74,98
		Automobil	360,06	59,48
		Kombinacija	364,06	67,19
	Isti dan	Bicikl	367,27	99,87
		Automobil	360,45	99,99
		Kombinacija	364,06	99,93
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,85	92,66
		Automobil	297,03	83,67
		Kombinacija	296,92	88,41
	Stvarni	Bicikl	413,47	74,33
		Automobil	399,46	65,13
		Kombinacija	407,44	69,44
	Uniformni	Bicikl	391,87	95,30
		Automobil	384,20	88,15
		Kombinacija	388,47	92,15

Tabela. 4.3 Rezultati - Minhen (*Google Directions*)

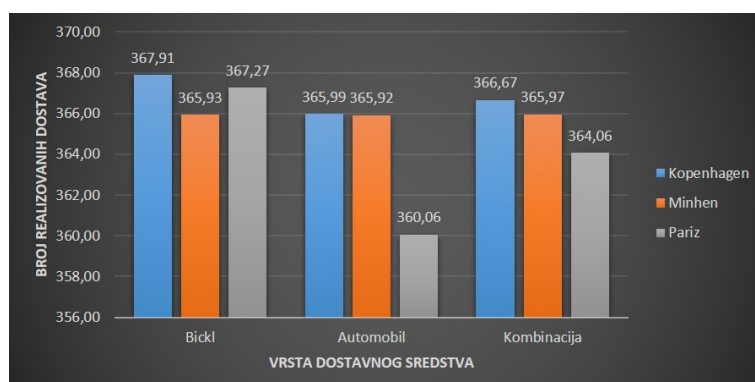
Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	365,32	85,55
		Automobil	366,16	85,83
		Kombinacija	366,19	85,78
	Standardni	Bicikl	365,93	71,85
		Automobil	365,92	72,22
		Kombinacija	365,97	72,11
	Isti dan	Bicikl	365,89	99,87
		Automobil	365,88	99,98
		Kombinacija	365,92	99,93
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,76	91,08
		Automobil	296,86	91,29
		Kombinacija	296,86	91,21
	Stvarni	Bicikl	410,49	72,16
		Automobil	410,65	72,29
		Kombinacija	410,77	72,43
	Uniformni	Bicikl	389,90	94,02
		Automobil	390,46	94,45
		Kombinacija	390,46	94,17

Kada je u pitanju fleksibilni scenario dostave, u simuliranim uslovima ukupno je najviše dostava na dnevnom nivou realizovano upotrebom bicikala kao dostavnog sredstva u Kopenhagenu sa prosečno 367,98 dostavljenih pošiljaka, nakon čega sledi Pariz sa 367,66 pošiljaka (takođe upotrebom bicikala kao dostavnog sredstva) dok je najmanji broj pošiljaka u okviru ovog scenarija zabeležen u Parizu i to kada su se dostavna sredstva sastojala isključivo od automobila – prosečno 360,18 pošiljaka (što je prikazano na slici 4.1).



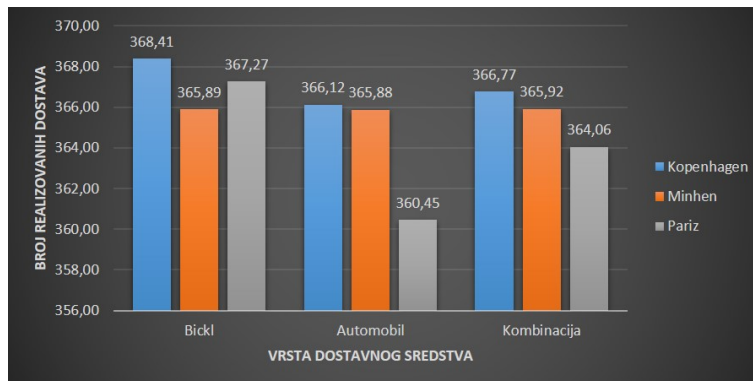
Slika 4.1 *Google Directions* - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni

U simulacionom modelu u kojem je razmatran standardni scenario dostave (slika 4.2) takođe je prosečno najviše dostava realizovano u Kopenhagenu upotrebom bickala kao dostavnog sredstva (367,91 pošiljaka), nakon čega sledi Pariz sa gotovo identičnim brojem pošiljaka dostavljenih istim sredstvima, dok je najmanji prosečan broj dostava izvršen upotrebom isključivo automobila kao dostavnih sredstva u okviru Pariza (360,06).



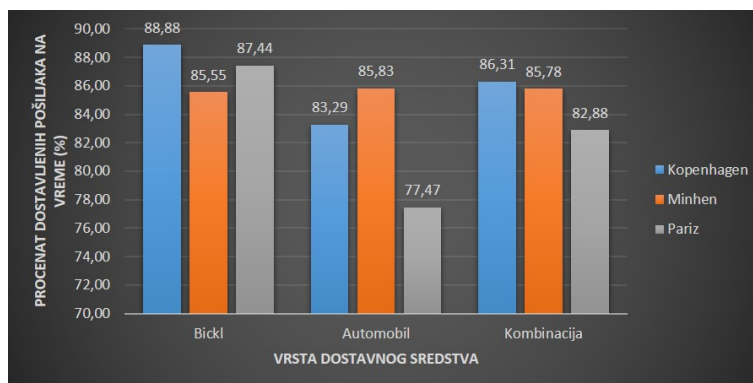
Slika 4.2 *Google Directions* - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni

Veoma slični rezultati prethodno ilustrovanima (za scenario standardni) su dobijeni i za scenario isti dan, što je prikazano na slici (4.3).



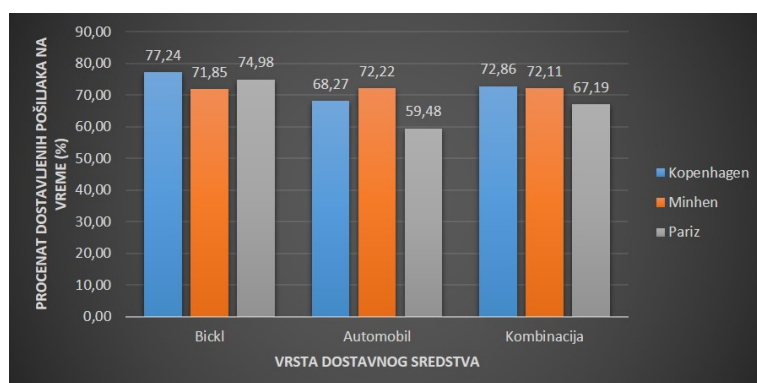
Slika 4.3 Google Directions - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan

Kada je u pitanju drugi ključni indikator performansi – procenat pošiljaka dostavljenih u zatom roku – za scenario fleksibilni najviši procenat pošiljaka dostavljenih na vreme je zabeležen u Kopenhagenu (88,88 %), nakon čega sledi Pariz sa 87,44 % a u oba slučaja su rezultati zabeleženi kada su se dostavna sredstva sastojala isključivo od bicikala (slika 4.4). U okviru simuliranih uslova, u Minhenu se kao najefikasnije dostavno sredstvo pokazao automobil gde je zabeleženo 85,83% pošiljaka koje su dostavljene u roku kada su isključivo automobili korišćeni kao dostavna sredstva. U ovom gradu, bickla i kombinacija dostavnih sredstava pokazali su za nijansu slabije ali ipak veoma slične rezultate. Najniži procenat dostavljenih pošiljaka u roku u okviru ovog scenarija je zabeležen kada su se dostavna sredstva sastojala isključivo od automobila u Parizu gde je on iznosio 77,47%.



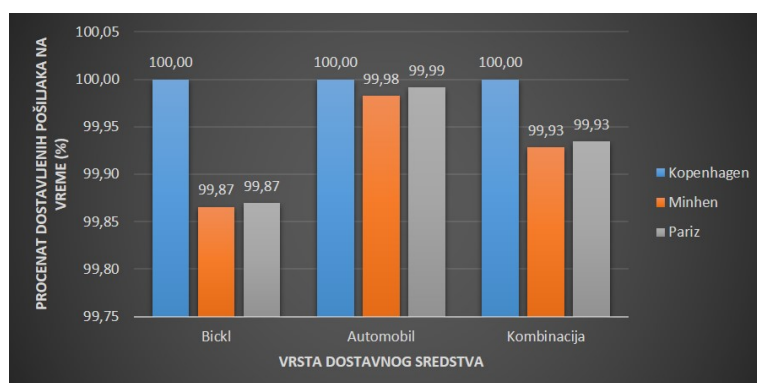
Slika 4.4 Google Directions - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni

Kada je u pitanju standardni scenario dostave, u simuliranim uslovima najviše pošiljaka u roku (slika 4.5) je dostavljeno u Kopenhagenu (77,24%) i to kada su se koristili isključivo bicikli kao dostavna sredstva. Najmanje dostavljenih pošiljaka u roku je realizovano upotrebom isključivo automobila u Parizu (59,48%). Rezultati za Minhhen su poprilično uravnoteženi kada se posmatraju različita dostavna sredstva koja dostavljači koriste, ali je dostava isključivo biciklima pokazala najslabije rezultate u poređenju sa druga dva grada.



Slika 4.5 *Google Directions* - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni

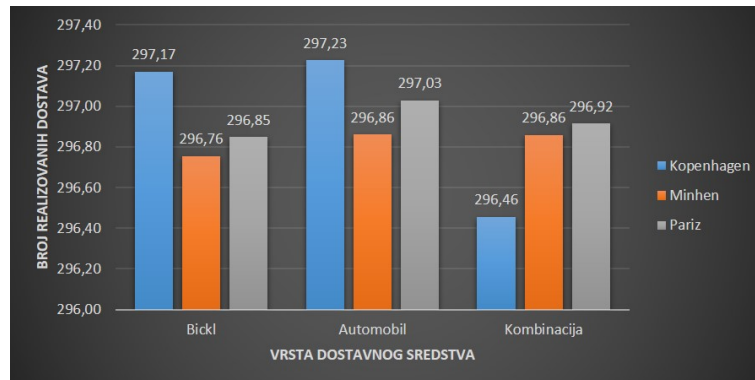
Za scenario dostave isti dan (slika 4.6), u okviru Kopenhagena su sve pošiljke dostavljene u roku bez obzira na prevozno sredstvo koje dostavljači koriste, dok su minimalno slabiji rezultati zabeleženi za Minhhen i Pariz.



Slika 4.6 *Google Directions* - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan

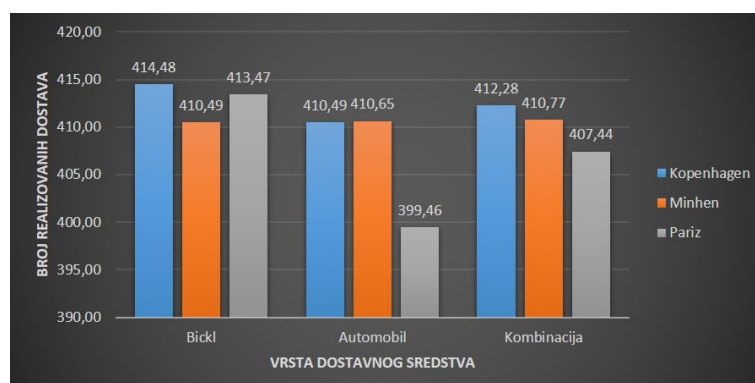
U simulacionom modelu u kojem je simuliran profil niske potražnje (slika 4.7) prosečan broj realizovanih dostava na dnevnom nivou gotovo da ne varira između gradova i različitih dostavnih sredstava koja dostavljači koriste u njima. Ipak, najviši broj je zabeležen u Kopenhagenu kada su se dostavna sredstva sastojala isključivo od automobila (297,23) a najniži u

istom gradu kada je polovina dostavljača koristila bicikla, a polovina automobile za prevoz (296,46).



Slika 4.7 Google Directions - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak

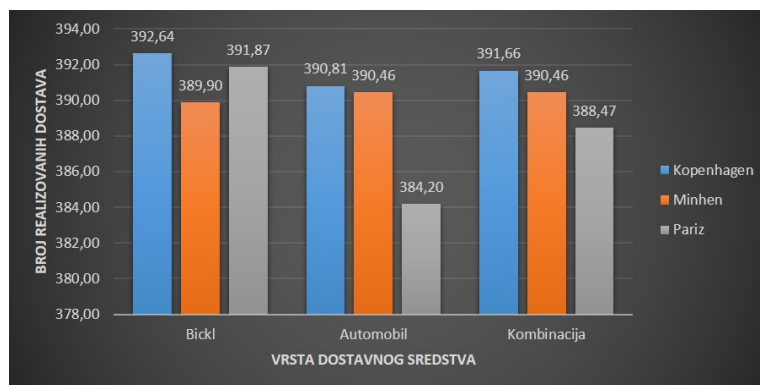
U okviru profila stvarne potražnje u simuliranim uslovima (slika 4.8) prosečno je najviše realizovanih dostava bilo kada su pošiljke dostavljači prevozili isključivo biciklima u Kopenhagenu (414,48), a sličan broj je zabeležen upotrebom istih dostavnih sredstava u Parizu (413,47) dok je najmanji prosečan broj dostava zabeležen u Parizu kada su kao dostavna sredstva korišćeni isključivo automobili (399,46).



Slika 4.8 Google Directions - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni

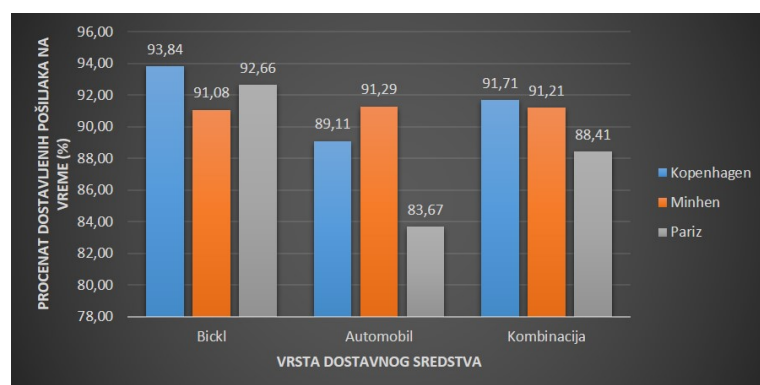
U okviru modela u kojem je simulirana uniformna potražnja (slika 4.9), relativni rezultati gotovo da ne odstupaju od onih prikazanih za profil stvarni; najviše dostava je prosečno zabeleženo u Kopenhagenu (392,64) i Parizu (391,87) kada su se dostavna sredstva sastojala isključivo od bicikala, a najmanji broj pošiljaka je dostavljeno u Parizu kada su se dostavljači

oslanjali isključivo na automobile kao sredstvo prevoza (384,20). U Minhenu je prosečan broj dostava bio poprilično uravnotežen, a najviše ih je zabeleženo kada su dostavljači koristili isključivo automobile ili kombinaciju dostavnih sredstava (390,46 u oba slučaja).



Slika 4.9 *Google Directions* - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni

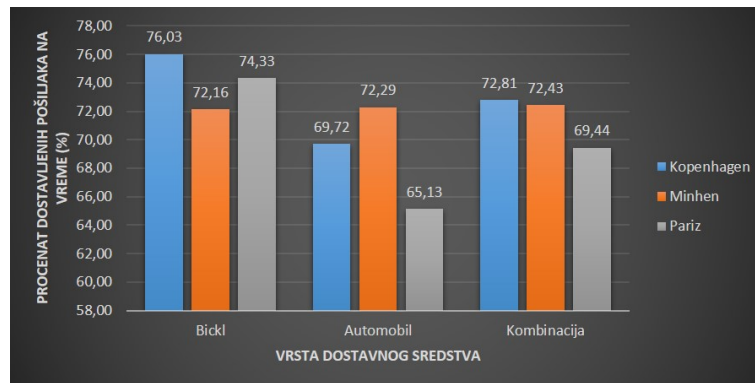
Kada je u pitanju profil niske potražnje u simuliranim uslovima (slika 4.10) upotrebom isključivo bicikala je 93,84 % pošiljaka dostavljeno u roku u Kopenhagenu, što ujedno predstavlja i najviši zabeleženi procenat. Najmanje dostava u roku je realizovano u Parizu upotrebom isključivo automobila (83,67 %), dok u Minhenu ne postoje veće razlike u pogledu dostave na vreme kada su u pitanju različiti modovi transporta i kreću se u sva tri slučaja oko 91 %.



Slika 4.10 *Google Directions* - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak

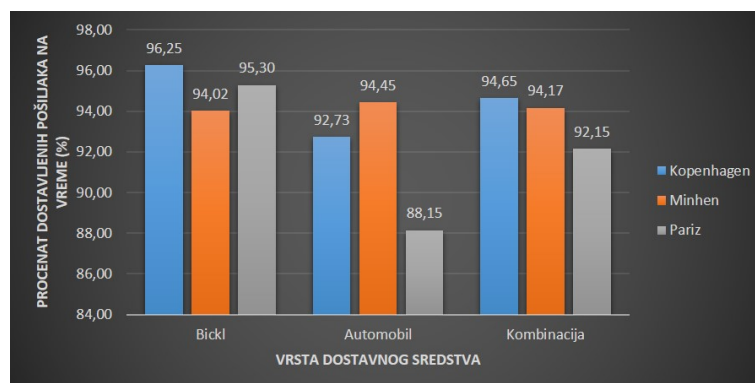
Simulacioni model u kojem je simuliran profil stvarne potražnje (slika 4.11) pokazao je da se najviše pošiljki dostavi u roku u Kopenhagenu kada dostavljači koriste isključivo bicikla

(76,03 %) a da je on najniži u Parizu kada se koriste isključivo automobili gde iznosi 65,13 %. Ponovo, simulacije za Minhen su rezultovale u ujednačenim rezultatima ovog ključnog indikatora performansi koji se kretao oko 72 % za sve tri vrste dostavljčkih sredstava.



Slika 4.11 *Google Directions* - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni

Modelovanje uniformne potražnje (slika 4.12) pokazalo je da se u Kopenhagenu od svih gradova najviše pošiljaka dostavlja u roku i to dostavnim sredstvima koja se sastoje isključivo od bicikala (96,25 %). Dostava u Parizu je bila efikasnija u odnosu na Minhen u pogledu dostave isključivo biciklom sa 95,30% dostavljenih pošiljaka u roku, dok je Minhen prednjačio u odnosu na prethodna dva grada u pogledu dostave automobilima gde je 94,45% pošiljki dostavljeno na vreme kada su dostavljači koristili samo ovo prevozno sredstvo. U Parizu je zabeležen najslabiji rezultat kada je u pitanju dostava isključivo automobilima, gde je 88,15% pošiljki dostavljeno u roku upotrebom ovog vida prevoza.



Slika 4.12 *Google Directions* - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni

U cilju lakšeg pregleda razlika koje su se javile između dostavnih sredstava kada su u pitanju ključni indikatori performansi u simuliranim uslovima, u tabeli 4.4 su prikazane

relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku između različitih dostavnih sredstava, gde je razlika u vrednostima između dostave koja je vršena upotrebom bicikla u odnosu na onu koja je vršena upotrebom automobila označena kao **B-A**, razlika između bicikla i kombinacije dostavnih sredstava je označena kao **B-K**, a razlika između automobila i kombinacije dostavnih sredstava kao **A-K**.

Tabela. 4.4 *Google Directions* - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku

Grad i izvor podataka	Varijabla	Profil	Prosečan broj realizovanih dostava			Procent realizovanih dostava u roku		
			B-A	B-K	A-K	B-A	B-K	A-K
Kopenhagen <i>Google maps</i>	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,42%	0,28%	0,15%	6,49%	2,93%	3,56%
		Standardni	0,52%	0,34%	0,19%	12,33%	5,84%	6,50%
		Isti dan	0,62%	0,45%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,02%	0,24%	0,26%	5,17%	2,30%	2,88%
		Stvarni	0,97%	0,53%	0,44%	8,66%	4,33%	4,34%
		Uniformni	0,47%	0,25%	0,22%	3,73%	1,68%	2,05%
Minhen <i>Google maps</i>	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,23%	0,24%	0,01%	0,33%	0,27%	0,06%
		Standardni	0,00%	0,01%	0,01%	0,51%	0,36%	0,15%
		Isti dan	0,00%	0,01%	0,01%	0,11%	0,06%	0,05%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,03%	0,03%	0,00%	0,23%	0,14%	0,09%
		Stvarni	0,04%	0,07%	0,03%	0,18%	0,37%	0,19%
		Uniformni	0,14%	0,14%	0,00%	0,46%	0,16%	0,30%
Pariz <i>Google maps</i>	Scenariji dostave	Fleksibilni	2,06%	0,81%	1,25%	12,09%	5,35%	6,75%
		Standardni	1,98%	0,88%	1,10%	23,06%	10,96%	12,17%
		Isti dan	1,87%	0,88%	1,00%	0,12%	0,06%	0,06%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,06%	0,02%	0,04%	10,20%	4,69%	5,51%
		Stvarni	3,45%	1,47%	1,98%	13,19%	6,80%	6,41%
		Uniformni	1,98%	0,87%	1,11%	7,80%	3,36%	4,44%

U nastavku su prikazani rezultati statističke analize za svaki grad koji je bio uključen u studiju.

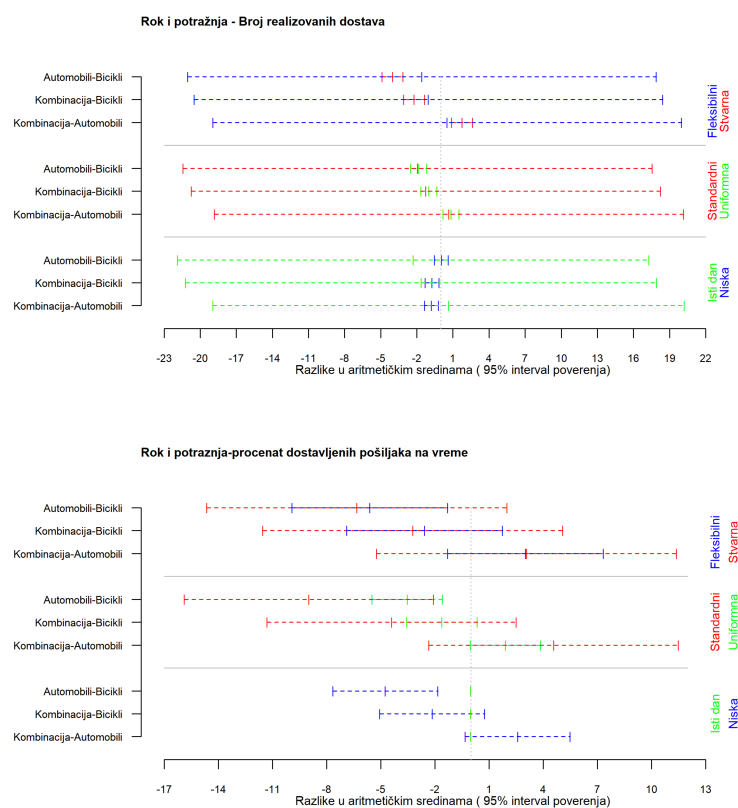
4.1.1 Kopenhagen

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,018$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,028$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,04$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u zahtevanom vremenskom roku, analiza nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju scenario dostave isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenarije dostave fleksibilni ($F = 4.696$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,040$) i standardni ($F = 4.704$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,040$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba ova scenarija upotreba bicikla kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na automobil ($p < 0,05$ u oba slučaja). Ne postoji značajna razlika u procentu dostava realizovanih na vreme između bicikala kao dostavnog sredstva i kombinacije dostavnih sredstava za scenarije dostave fleksibilni i standardni ($p > 0,05$ u oba slučaja), kao ni između kombinacije dostavnih sredstava i automobila za te scenarije (takođe $p > 0,05$ u oba slučaja).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za sve profile – nizak ($F = 6.14$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,160$), stvarni ($F = 58.89$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,346$) i uniformni ($F = 21.23$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,052$). Taki HSD post hoc testovi pokazuju da u okviru profila niske potražnje značajne razlike postoje između bicikala kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,05$) kao i između automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,05$), gde se veći broj dostava realizuje automobilima ili biciklima u odnosu na kombinaciju dostavnih sredstava. Između bicikala i automobila kao dostavnih sredstava ne postoje značajne razlike kada je u pitanju broj realizovanih dostava u okviru ovog profila potražnje ($p > 0,05$). U okviru stvarnog profila potražnje postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba bicikla kao dostavnog sredstva rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu automobila ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu automobila ($p < 0,001$). Isti odnosi važe i za uniformni profil, gde upotreba bicikla kao dostavnog sredstva rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu automobila ($p = 0$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,05$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu automobila ($p < 0,05$).

Konačno, kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada se radi o profilu potražnje stvarni ($F = 1.61$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za profile potražnje uniformni ($F = 9.11$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,062$) i nizak ($F = 7.41$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,075$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru oba ova profila upotreba bicikla kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na automobil ($p < 0,001$ u oba slučaja) dok značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između kombinacije dostavnih sredstava i automobila kao i kombinacije dostavnih sredstava i bicikala ne postoje (u svim slučajevima $p > 0,05$).

Na slici 4.13 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Kopenhagen, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Google Directions* servisa (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.13 *Google Directions* - post hoc analiza, Kopenhagen

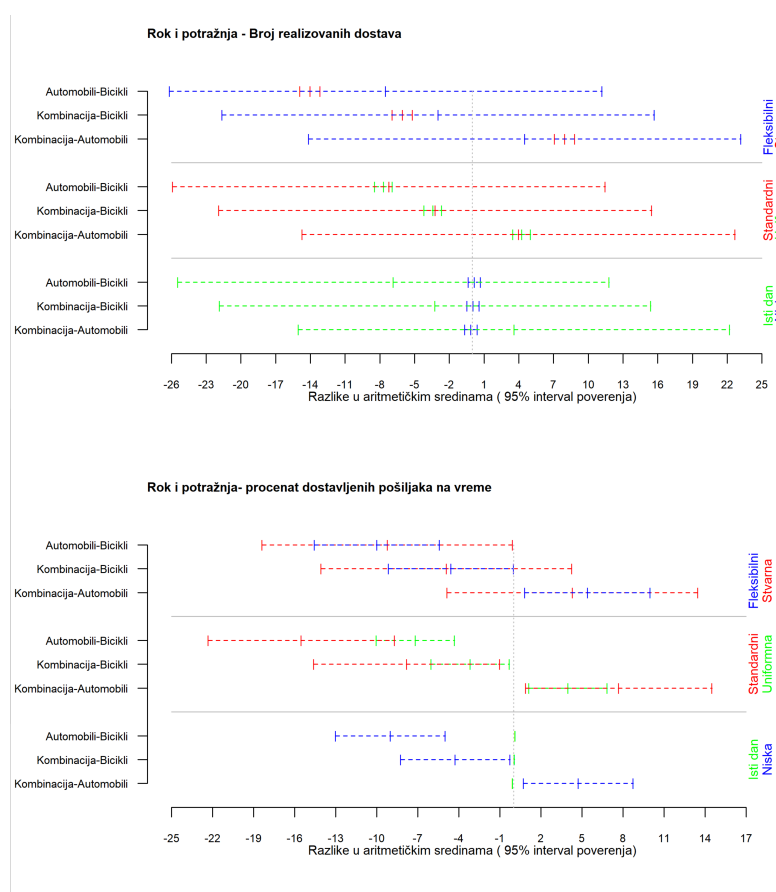
4.1.2 Pariz

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,453$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,415$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,374$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, analiza je pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada su u pitanju svi scenariji dostave i to: fleksibilni ($F = 13,26$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,106$), standardni ($F = 14,43$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,115$) i isti dan ($F = 1382$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,925$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru fleksibilnog scenarija dostave upotreba bicikla kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na automobil ($p = 0$), a isto važi i za kombinaciju dostavnih sredstava u poređenju sa automobilima ($p < 0,05$). Statistički značajne razlike nisu uočene između procenta dostava realizovanih na vreme kada su u pitanju bicikli i kombinacija prevoznih sredstava dostave ($p > 0,05$). U okviru scenarija isti dan, više dostava se relizuje u roku upotrebom automobila u odnosu na bicikla ($p < 0,001$) a isto tako i u odnosu na kombinaciju prevoznih sredstava ($p < 0,001$). Upotreba dostavnih sredstava koja se sastoji od kombinacije automobila i bicikala dovodi do višeg procenta dostava realizovanih na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$). U okviru scenarija standardni, upotreba bicikala je efikasnija od upotrebe automobila ($p < 0,001$) ili kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,05$), dok upotreba kombinacije prevoznih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava realizovanih u roku u odnosu na automobile ($p < 0,05$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profile stvarni ($F = 723,6$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,867$) i uniformni ($F = 288,1$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,002$) dok za profil nizak nisu utvrđene statistički značajne razlike ($F = 0,323$, $p > 0,05$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između svih posmatranih grupa, gde upotreba bicikala kao dostavnih sredstava dovodi do većeg broja dostava u odnosu na kombinaciju dostavnih sredstava ($p < 0,001$) a isto važi i za odnos između bicikala i automobila ($p < 0,001$). Upotreba kombinacije dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg broja dostava u odnosu na automobile ($p < 0,001$). Identični odnosi i nivoi statističke značajnosti ($p < 0,001$ za sve kombinacije grupa) važe i za profil uniformne potražnje. Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, analiza je pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada se radi o profilima uniformni ($F = 17,48$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,112$) i nizak ($F = 4,426$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,136$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da upotreba bicikla kao

dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na automobil u okviru oba profila (uniformni - $p < 0,001$, nizak - $p < 0,001$), a isti odnos važi i kada se bicikla kao dostavno sredstvo porede sa kombinovanim dostavnim sredstvima (uniformni – $p < 0,05$, nizak – $p < 0,05$). Takođe, kombinovanim dostavnim sredstvima se postiže veća efikasnost u odnosu na upotrebu isključivo automobila u oba simulirana profila (uniformni – $p < 0,01$, nizak – $p < 0,05$).

Na slici 4.14 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Pariz, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Google Directions* servisa (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



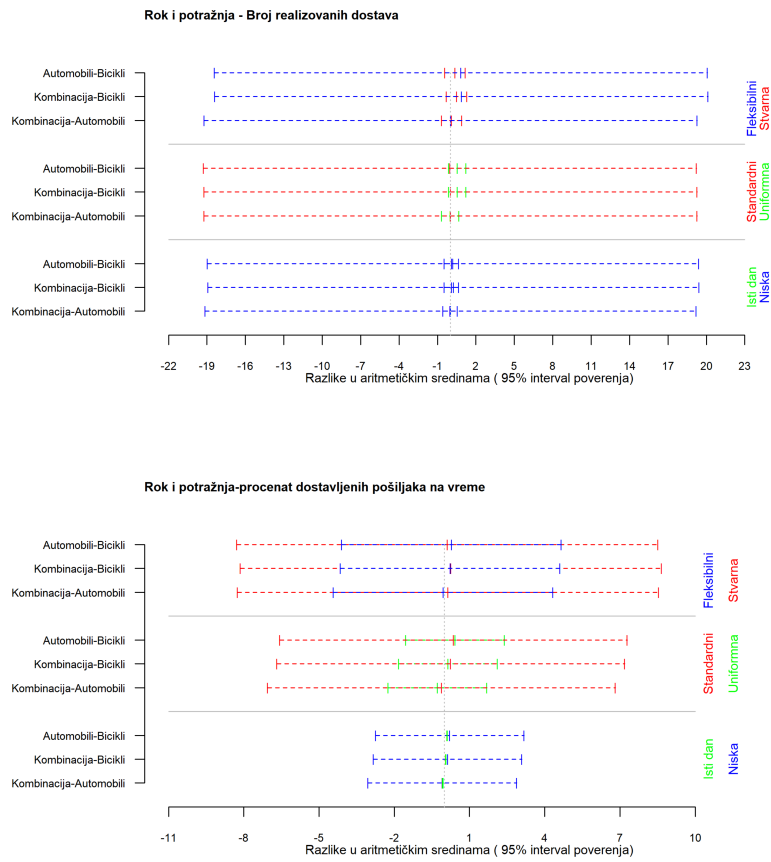
Slika 4.14 *Google Directions* - post hoc analiza, Pariz

4.1.3 Minhen

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,07$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,001$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u traženom vremenskom periodu (dostava u roku), jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je su u pitanju scenariji fleksibilni ($F = 0,013$, $p > 0,05$) i standardni ($F = 0,008$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenario isti dan ($F = 698,2$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,862$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru ovog scenarija upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu bicikala i kombinaciju dostavnih sredstava ($p < 0,001$ u oba slučaja), dok upotreba kombinovanih dostavnih sredstava rezultuje u višem procentu dostava realizovanih na vreme u odnosu na dostavu biciklima ($p < 0,001$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih profila: nizak ($F = 0,127$, $p > 0,05$), stvarni ($F = 1,228$, $p > 0,05$) ili uniformni ($F = 2,591$, $p > 0,05$). Isti rezultati su dobijeni i kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, gde analiza nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na procenat dostava realizovanih u roku za bilo koji od profila: stvarni ($F = 0,003$, $p > 0,05$), uniformni ($F = 0,135$, $p > 0,05$) ili nizak ($F = 0,015$, $p > 0,05$).

Na slici 4.15 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Minhen, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Google Directions* servisa (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.15 Google Directions - post hoc analiza, Minhen

4.2 *HERE Routing* - najbrža ruta

U tabeli 4.5 su prikazani rezultati simulacija za Kopenhagen, u tabeli 4.6 su prikazani rezultati za Pariz, u tabeli 4.7 su prikazani rezultati za Minhen, a u tabeli 4.8 su prikazani rezultati za Beograd.

Tabela. 4.5 Rezultati - Kopenhagen (*HERE Routing* - najbrža ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	365,01	83,87
		Automobil	369,09	91,06
		Kombinacija	367,50	87,69
	Standardni	Bicikl	365,64	68,82
		Automobil	368,84	81,24
		Kombinacija	367,51	75,22
	Isti dan	Bicikl	365,07	100,00
		Automobil	369,29	100,00
		Kombinacija	367,64	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,99	89,40
		Automobil	296,80	95,68
		Kombinacija	297,04	92,80
	Stvarni	Bicikl	408,98	70,19
		Automobil	417,01	79,15
		Kombinacija	413,84	74,63
	Uniformni	Bicikl	389,75	93,10
		Automobil	393,41	97,47
		Kombinacija	391,78	95,48

Tabela. 4.6 Rezultati - Pariz (*HERE Routing* - najbrža ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	366,52	86,28
		Automobil	368,88	89,97
		Kombinacija	367,64	88,24
	Standardni	Bicikl	366,63	72,85
		Automobil	368,61	79,34
		Kombinacija	367,46	76,14
	Isti dan	Bicikl	366,93	100,00
		Automobil	368,48	100,00
		Kombinacija	367,58	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	297,19	91,58
		Automobil	296,86	94,77
		Kombinacija	296,65	93,28
	Stvarni	Bicikl	411,88	72,85
		Automobil	416,10	77,59
		Kombinacija	414,09	75,33
	Uniformni	Bicikl	391,01	94,69
		Automobil	393,01	96,96
		Kombinacija	391,94	95,77

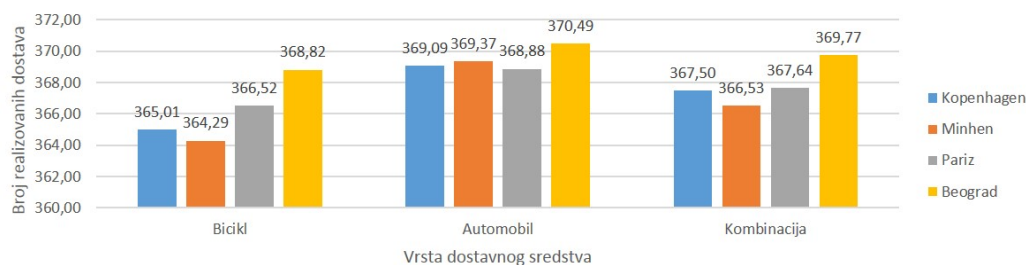
Tabela. 4.7 Rezultati - Minhen (*HERE Routing* - najbrža ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	364,29	83,02
		Automobil	369,37	91,60
		Kombinacija	366,53	86,15
	Standardni	Bicikl	364,55	67,84
		Automobil	369,02	82,66
		Kombinacija	366,42	72,91
	Isti dan	Bicikl	364,20	99,99
		Automobil	369,49	100,00
		Kombinacija	366,45	99,99
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	297,09	88,77
		Automobil	297,19	96,14
		Kombinacija	297,01	91,51
	Stvarni	Bicikl	407,36	69,69
		Automobil	417,29	80,35
		Kombinacija	411,64	72,97
	Uniformni	Bicikl	388,60	92,39
		Automobil	393,39	97,77
		Kombinacija	390,75	94,57

Tabela. 4.8 Rezultati - Beograd (HERE Routing - najbrža ruta)

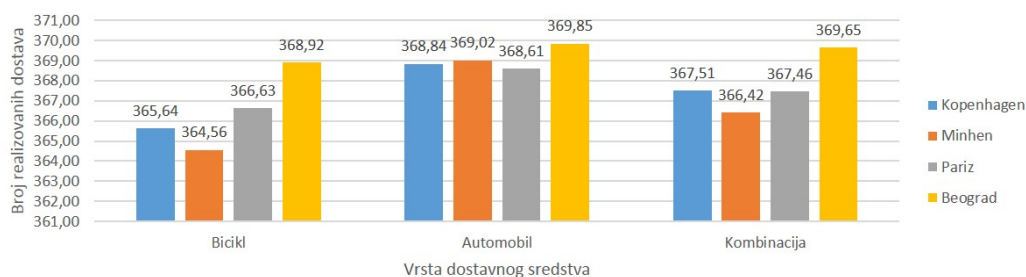
Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	368,82	91,51
		Automobil	370,49	94,94
		Kombinacija	369,77	93,33
	Standardni	Bicikl	368,92	82,19
		Automobil	369,85	88,99
		Kombinacija	369,65	85,67
	Isti dan	Bicikl	369,16	100,00
		Automobil	370,55	100,00
		Kombinacija	369,34	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,94	95,96
		Automobil	296,89	98,47
		Kombinacija	296,74	97,36
	Stvarni	Bicikl	416,96	80,13
		Automobil	419,77	86,33
		Kombinacija	418,06	83,20
	Uniformni	Bicikl	393,00	97,61
		Automobil	394,22	99,12
		Kombinacija	393,96	98,45

Kada je u pitanju fleksibilni scenario dostave, u simuliranim uslovima ukupno je najviše dostava realizovano upotrebom automobila kao dostavnog sredstva u Beogradu sa prosečno 370,49 dnevno dostavljenih pošiljaka (slika 4.16), a isti grad prednjači po broju dostava i kada su u pitanju bicikla kao dostavno sredstvo (368,82) i kombinacija automobila i bicikala kao prevoznih sredstava (369,77). Najmanje dostava je realizovano u Minhenu upotrebom bicikala, gde je zabeleženo prosečno 364,29 dostava po danu.



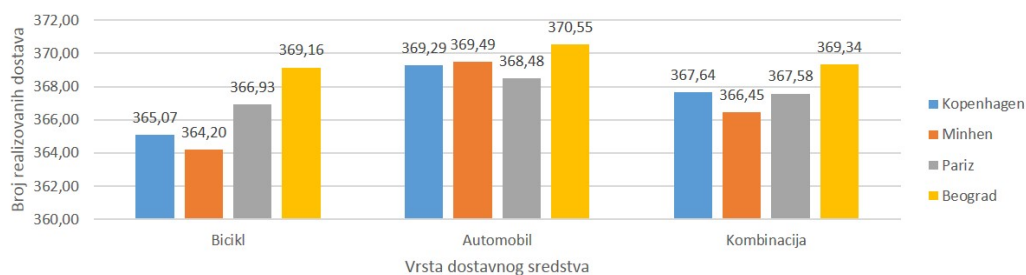
Slika 4.16 HERE Routing, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni

U simulacionom modelu u kojem je simuliran standardni scenario dostave (slika 4.17) rezultati su gotovo identični onima dobijenim za fleksibilni scenario, kako u pogledu rangiranja gradova u pogledu prosečnog broja dostava tako i u pogledu vrednosti ovog indikatora performansi. Najviše dostava je ponovo realizovano automobilima u Beogradu (369,85) a najmanje upotrebom isključivo bicikala u Minhenu (364,56).



Slika 4.17 *HERE Routing*, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni

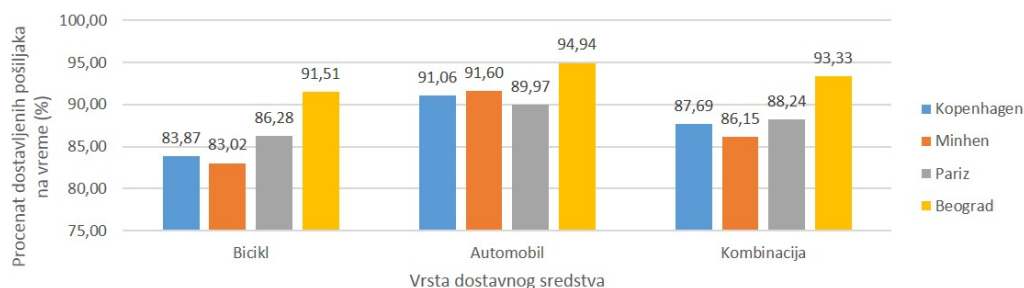
Isti odnosi uz minimalno viši broj prosečnih dostava za većinu kombinacija gradova i dostavnih sredstava su zabeleženi i u okviru simulacionog modela u kojem je simuliran scenario isti dan, što je ilustrovano na slici (4.18)



Slika 4.18 *HERE Routing*, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan

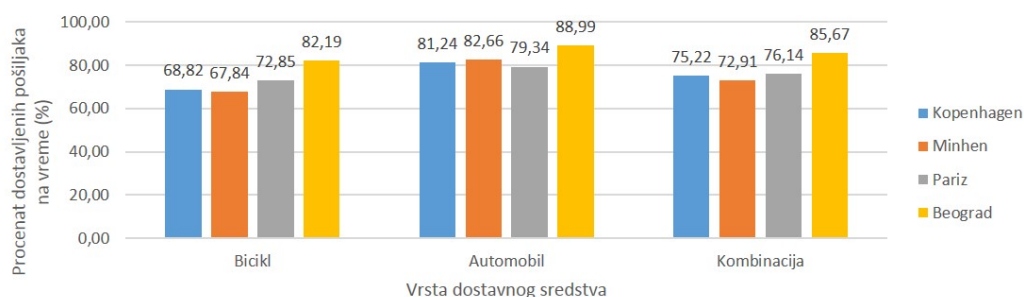
Kada je u pitanju drugi ključni indikator performansi *crowdsourced* dostavnih sistema – procenat pošiljaka dostavljenih u zadatom roku – u okviru fleksibilnog scenarija najviši procenat pošiljaka dostavljenih u roku je zabeležen u Beogradu i on je iznosio 94,94 % a dostave su vršene isključivo automobilima (slika 4.19). Najniži procenat dostavljenih pošiljaka u roku u okviru istog scenarija je zabeležen u Minhenu i to kada su se dostave

realizovale dostavnim sredstvima koja su se sastojala isključivo od bicikala (83,02 %).



Slika 4.19 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni

U simulacionom modelu u kojem je simuliran standardni scenario dostave (slika (4.20) uočene su veće razlike u odnosu na fleksibilni scenario i to kako između gradova tako i između dostavnih sredstava u pogledu procenta dostava koje su realizovane u roku. Najviši procenat dostava realizovanih u roku je zabeležen u Beogradu (88,99%) kada su kao prevozno sredstvo korišćeni automobili, dok je najniži procenat dostava koje su realizovane u roku zabeleženo upotrebom bicikala u Minhenu (67,84 %).



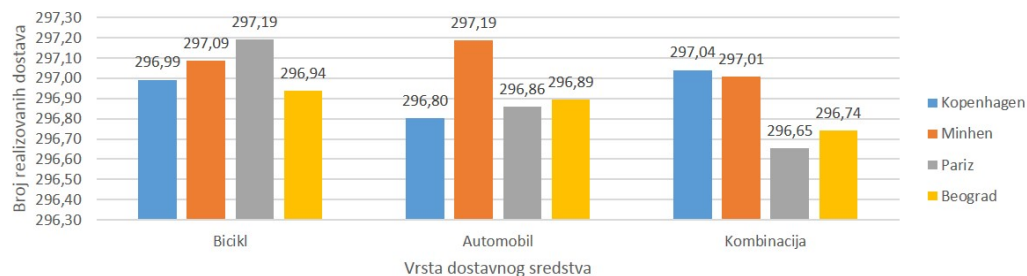
Slika 4.20 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni

Simulacija scenarija dostave isti dan (4.21) je pokazala da ona može besprekorno da se realizuje u gotovo svim gradovima i to upotrebom bilo koje vrste posmatranih prevoznih sredstava (odnosno njihovom kombinacijom). Jedini izuzetak predstavlja Minhen, gde su zabeleženo veoma malo odstupanje od idealnog rezultata (na nivou od 0,01 %) kada se kao dostavna sredstva koriste bicikla ili kombinacija bicikala i automobila.



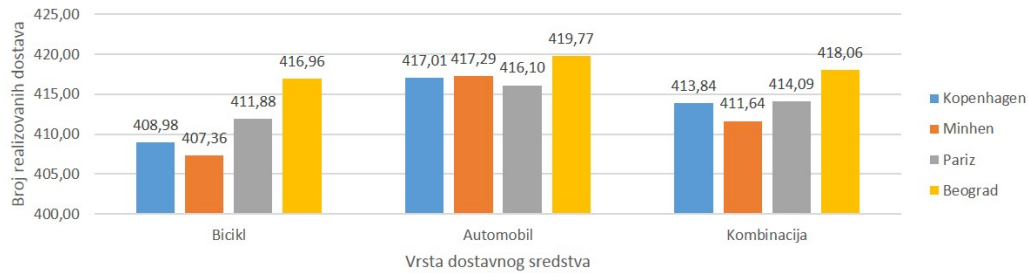
Slika 4.21 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan

Kada je u pitanju profil niske potražnje, u simuliranim uslovima najviše pošiljaka prosečno je dostavljeno automobilom u Minhenu (297,19) što je ilustrovano na slici (4.22), a identičan broj pošiljka dostavljen je i u Parizu, ali upotrebom bicikala kao dostavnih sredstava. U okviru ovog simuliranog profila interesantno je uočiti to da se kombinacija dostavnih vozila pokazala efikasnijom nego upotreba isključivo bicikala ili isključivo automobila u Kopenhagenu, dok je u slučaju ostala tri grada bila manje efikasna nego upotreba dostavnih sredstava koje se sastoje samo od jedne vrste prevoznog sredstva.



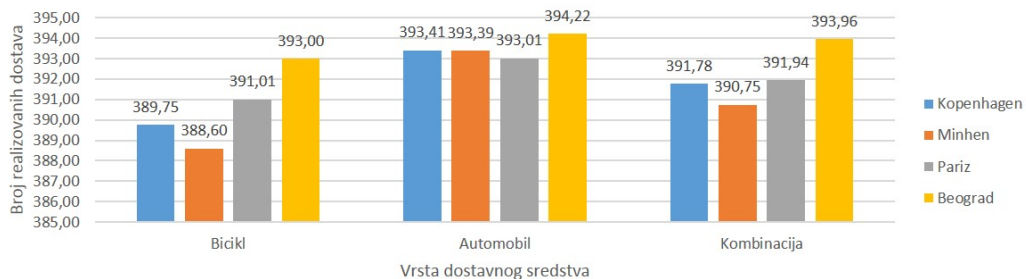
Slika 4.22 *HERE Routing*, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak

Simulacioni model u okviru kojeg je simuliran profil stvarne potražnje pokazao je da se najbolje performanse po pitanju prosečnog broja realizovanih dostava ostvaruju automobilom u Beogradu (419,77), dok se najmanji broj realizuje u Minhenu kada se kao dostavna sredstva koriste bicikla (407,36) – što je prikazano na slici (4.23). Ovde je ujedno zabeležena i najveća razlika između gradova u prosečnom broju dostava kada su u pitanju bicikla kao dostavna sredstva, gde je u Beogradu zabeleženo prosečno skoro 10 dostava više nego u Minhenu (416,96).



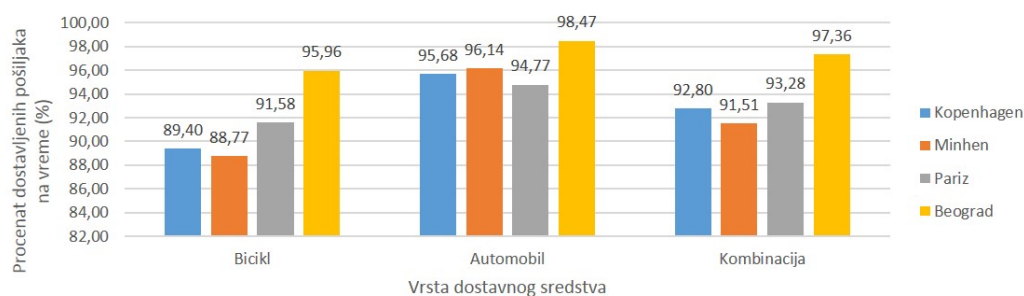
Slika 4.23 *HERE Routing*, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni

U okviru simulacije uniformnog profila potražnje (slika 4.24) rezultati između gradova su više uravnoteženi, što je posebno slučaj kada se radi o dostavi isključivo automobilima. Najviše dostava ovim prevoznim sredstvom je ponovo zabeleženo u Beogradu (394,22), ali je razlika između rezultata u tom gradu i Parizu koji je rangiran kao poslednji veoma mala (u Parizu je zabeleženo prosečno 393,01). U pogledu dostave isključivo biciklima, Beograd se takođe pokazao kao najefikasniji sa prosečno 393 dostave u okviru dana dok ih je najmanje realizovano u Minhenu (388,60).



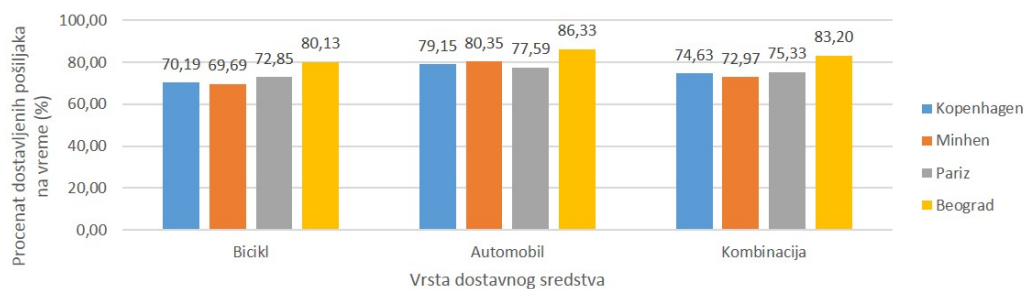
Slika 4.24 *HERE Routing*, najbrža ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni

U pogledu efikasnosti dostavnih sredstava kada je u pitanju dostava pošiljaka u roku, prilikom simulacije profila niske potražnje procenat blagovremeno dostavljenih pošiljaka je najviši bio u Beogradu (98,47%) kada je dostava vršena isključivo automobilima, a nešto slabiji rezultati su zabeleženi u Minhenu (96,14%), Kopenhagenu (95,68%) i Parizu (94,77%). Najmanje dostavljenih pošiljaka u okviru ovog profila je zabeleženo u Minhenu (88,77%) i to kada je dostava vršena isključivo biciklima – što je ilustrovano na slici (4.25).



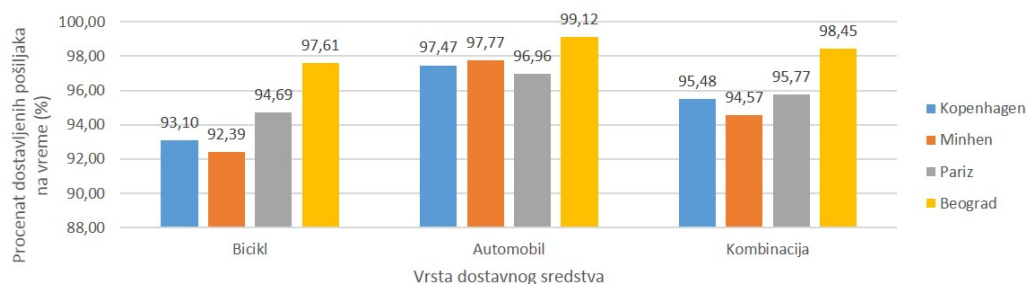
Slika 4.25 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak

Simulacija profila stvarne potražnja je rezultovala u nižim vrednostima i većim razlikama između gradova kada je u pitanju prevoz isključivo automobilima i procenat dostava realizovanih u roku. Ponovo su najbolji rezultati zabeleženi u Beogradu (86,33 % dostavljenih pošiljaka u roku), a najslabiji u Parizu (77,59 %), a osim dostave ovim prevoznim sredstvom u Minhenu gde je zabeleženo 80,35 % dostava realizovanih na vreme, dostava biciklima u Beogradu se pokazala kao sledeća najefikasnija između svih ostalih kombinacija gradova i prevoznih sredstava (sa 80,13 % dostava realizovanih u roku). Najslabiji rezultat je zabeležen u Minhenu sa 69,69% dostavljenih pošiljaka u roku i to kada su korišćeni isključivo bicikla, a ovi rezultati su ilustrovani na slici (4.26).



Slika 4.26 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni

Konačno, u okviru simulacionog modela u okviru kojeg je simuliran profil uniformne potražnje (slika 4.27) u Beogradu je zabeležen veoma visok procenat dostave u roku kada su korišćeni automobili kao prevozno sredstvo (99,12 %). Ovo je preko 2 % više od Pariza gde je zabeleženo 96,96 % dostava na vreme prilikom upotrebe istog moda transporta i skoro 7 % više od najslabijeg rezultata koji je ostvaren u okviru ove simulacije a zabeležen je u Minhenu kada su se dostavna sredstva koja koriste dostavljači sastojala isključivo od bicikala (92,39 %).



Slika 4.27 *HERE Routing*, najbrža ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni

U cilju lakšeg pregleda razlika koje su se javile između dostavnih sredstava kada su u pitanju ključni indikatori performansi u simuliranim uslovima, u tabeli 4.9 su prikazane relativne razlike u broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku između različitih dostavnih sredstava, gde je razlika u vrednostima između dostave koja je vršena upotrebom bicikla u odnosu na onu koja je vršena upotrebom automobila označena kao **B-A**, razlika između bicikla i kombinacije dostavnih sredstava je označena kao **B-K**, a razlika između automobila i kombinacije dostavnih sredstava kao **A-K**.

Tabela. 4.9 *HERE Routing*, najbrža ruta - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku

Grad	Varijabla	Profil	Prosečan broj realizovanih dostava			Procenat realizovanih dostava u roku		
			B-A	B-K	A-K	B-A	B-K	A-K
Kopenhagen	Scenariji dostave	Fleksibilni	1,11%	0,68%	0,43%	8,22%	4,45%	3,77%
		Standardni	0,87%	0,51%	0,36%	16,55%	8,89%	7,70%
		Isti dan	1,15%	0,70%	0,45%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,06%	0,02%	0,08%	6,79%	3,73%	3,06%
		Stvarni	1,94%	1,18%	0,76%	12,00%	6,13%	5,88%
		Uniformni	0,93%	0,52%	0,42%	4,59%	2,52%	2,06%
Minhen	Scenariji dostave	Fleksibilni	1,38%	0,61%	0,77%	9,83%	3,70%	6,13%
		Standardni	1,22%	0,51%	0,71%	19,69%	7,20%	12,53%
		Isti dan	1,44%	0,62%	0,83%	0,01%	0,00%	0,01%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,03%	0,03%	0,06%	7,97%	3,04%	4,93%
		Stvarni	2,41%	1,05%	1,36%	14,21%	4,60%	9,63%
		Uniformni	1,23%	0,55%	0,67%	5,66%	2,33%	3,33%
Pariz	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,64%	0,31%	0,34%	4,19%	2,25%	1,94%
		Standardni	0,54%	0,23%	0,31%	8,53%	4,42%	4,12%
		Isti dan	0,42%	0,18%	0,24%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,11%	0,18%	0,18%	3,42%	1,84%	1,58%
		Stvarni	1,02%	0,54%	0,48%	6,30%	3,35%	2,96%
		Uniformni	0,51%	0,24%	0,27%	2,37%	1,13%	1,23%
Beograd	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,45%	0,26%	0,19%	3,68%	1,97%	1,71%
		Standardni	0,25%	0,20%	0,05%	7,94%	4,15%	3,80%
		Isti dan	0,38%	0,05%	0,33%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,02%	0,07%	0,05%	2,58%	1,45%	1,13%
		Stvarni	0,67%	0,26%	0,41%	7,45%	3,76%	3,69%
		Uniformni	0,31%	0,24%	0,07%	1,54%	0,86%	0,68%

4.2.1 Kopenhagen

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,122$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,001$), standardni ($F = 0,075$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0$) ili isti dan ($F = 0,131$, $p > 0,05$, $\eta^2 = 0,001$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju scenario isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenarije fleksibilni ($F = 8,599$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,071$) i standardni ($F = 9,696$, $p = 0,01$, $\eta^2 = 0,080$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba ova scenarija upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$ u oba slučaja), dok značajna razlika nije pronađena u procentu dostava realizovanih na vreme između bicikla kao dostavnog sredstva i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$ za

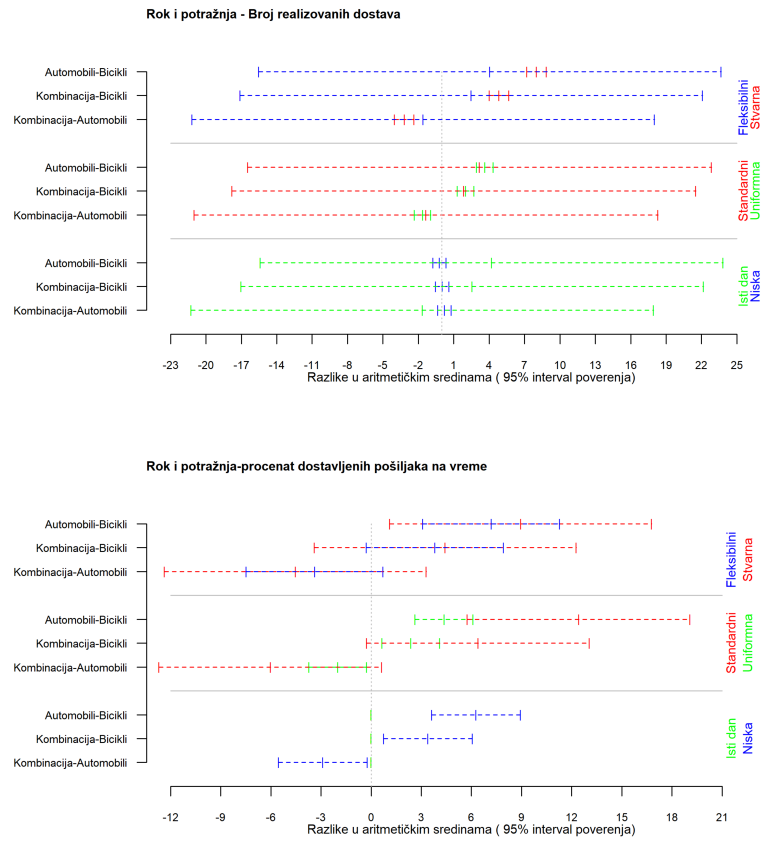
oba scenarija), kao ni između kombinacije dostavnih sredstava i automobila za te scenarije ($p > 0,05$ u oba slučaja).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profile stvarni ($F = 264,1$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,704$) i uniformni ($F = 77,43$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,004$), a nije pokazala značajan efekat za profil nizak ($F = 0,552$, $p > 0,05$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između svih kombinacija dostavnih sredstava i to: isključivo bicikala kao dostavnih sredstava i isključivo automobila kao dostavnih sredstava ($p < 0,001$), između kombinacije dostavnih sredstava i isključivo bicikala kao dostavnih sredstava ($p < 0,001$) kao i između isključivo automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$), gde se veći broj dostava realizuje automobilima u odnosu na bicikla ili kombinaciju prevoznih sredstava, a kombinacijom prevoznih sredstava se realizuje više dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala kao prevoznih sredstava. U okviru uniformnog profila potražnje takođe postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba automobila kao dostavnih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$).

Konačno, kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajne efekte za sve profile: stvarni ($F = 3,642$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,031$), uniformni ($F = 3,642$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,123$) i nizak ($F = 15,59$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,138$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru svih simuliranih profila upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni, $p < 0,001$ za profil uniformni i $p < 0,001$ za profil nizak), kao i da isti odnosi važe za razlike između automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava za profile uniformni ($p < 0,05$) i nizak ($p < 0,05$). Upotreba kombinovanacije dostavnih sredstava dovodi do većeg procenta dostava realizovanih na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala za profile uniformni ($p < 0,05$) i nizak ($p < 0,05$) dok značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala, kao i kombinacije dostavnih sredstava i automobila – za profil stvarni ne postoje ($p > 0,05$).

Na slici 4.28 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Kopenhagen, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here Routing* servisa za najbržu rutu (razlike u srednjim

vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.28 HERE Routing, najbrža ruta - post hoc analiza, Kopenhagen

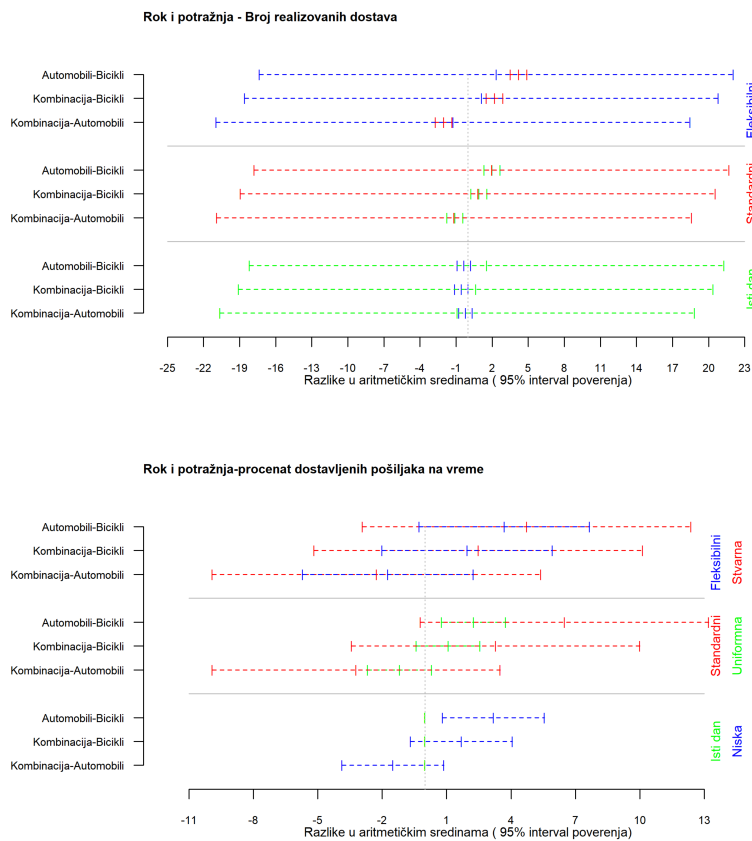
4.2.2 Pariz

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,04$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,028$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,017$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u traženom vremenskom periodu, jednofaktorska ANOVA takođe nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju bilo koji od scenarija: fleksibilni ($F=2,417$, $p > 0,05$), standardni ($F=2,615$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profil nizak ($F = 2,619$, $p > 0,05$), ali jeste pokazala za profile stvarni ($F = 103,3$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,482$) i uniformni ($F = 25,43$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,023$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između automobila kao dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,001$) gde se više dostava izvrši upotrebom automobila, između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,001$) gde se više dostava realizuje upotrebom kombinacije dostavnih sredstava, kao i između kombinacije dostavnih sredstava i automobila ($p < 0,001$) gde se veći broj dostava realizuje automobilima. U okviru uniformnog profila potražnje takođe postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba automobila kao dostavnih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok upotreba kombinovanih prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$).

Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, u svetlu simuliranih profila potražnje jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada se radi o profilu stvarni ($F = 1,069$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za profile uniformni ($F = 6,442$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,043$) i nizak ($F = 5,035$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,054$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru oba ova profila upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ u oba slučaja) dok značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između upotrebe kombinacije dostavnih sredstava i isključivo automobila, kao i kombinacije dostavnih sredstava i isključivo bicikala ne postoje (u svim slučajevima $p > 0,05$).

Na slici 4.29 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Pariz, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najbržu rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.29 *HERE Routing*, najbrža ruta - post hoc analiza, Pariz

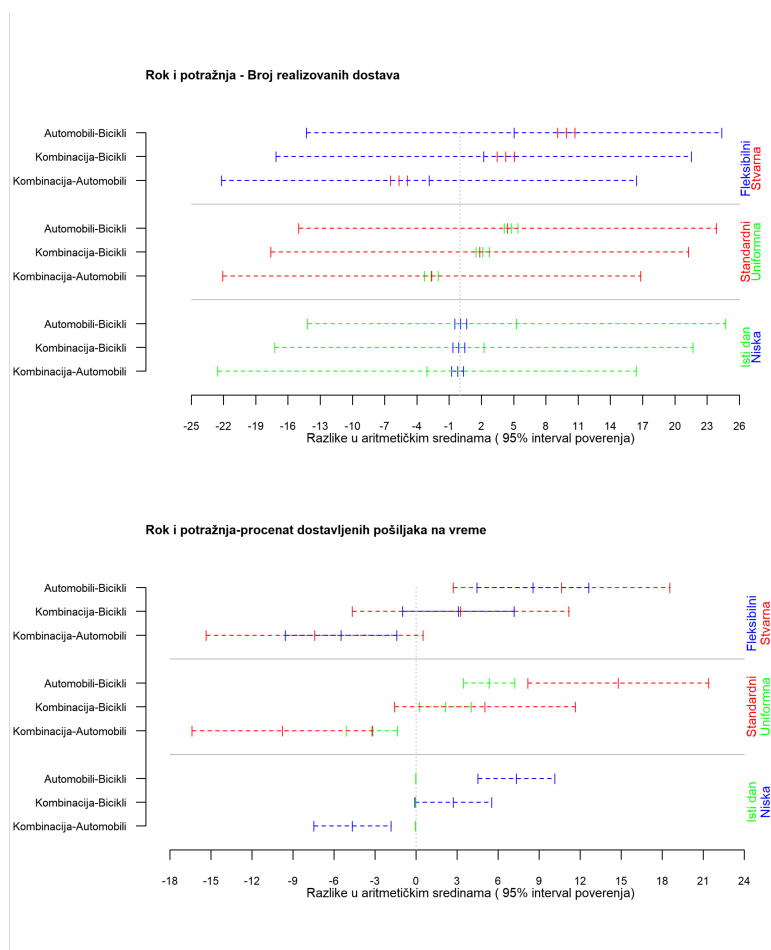
4.2.3 Minhen

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,193$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,148$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,207$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u traženom vremenskom periodu (dostava u roku), jednofaktorska ANOVA pokazala je da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači za scenarije: fleksibilni ($F = 12,57$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,101$) i standardni ($F = 14,49$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,115$) i isti dan ($F = 21,68$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,163$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru svih profila upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$ za sva tri scenarija), a isti odnos važi i za upotrebu isključivo automobila u odnosu na kombinaciju dostavnih sredstava ($p < 0,05$ za sve slučajeve). Upotreba kombinacije dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostave u roku u odnosu na upotrebu isključivo bicikala za scenario isti dan ($p < 0,05$), dok ne postoje značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između upotrebe bicikala kao dostavnih sredstva i kombinacije dostavnih sredstava za scenarije fleksibilni ($p > 0,05$) i standardni ($p > 0,05$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profil nizak ($F = 0,297$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za profile stvarni ($F = 426,9$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,793$) i uniformni ($F = 158,6$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,006$). Post hoc analiza je pokazala da u okviru stvarnog i uniformnog profila potražnje postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstva rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$) u okviru oba posmatrana profila. Konačno, kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA pokazala je da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači u okviru svih simuliranih profila: stvarni ($F = 5,291$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,009$), uniformni ($F = 23,7$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,043$) i nizak ($F = 19,49$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,054$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru svih profila upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni i $p < 0,001$ za profile uniformni i nizak). U okviru uniformnog profila potražnje upotreba kombinacije dostavnih sredstva rezultuje u većem procentu realizovanih dostava na vreme u odnosu na upotrebu bicikala (p

$< 0,05$), dok upotreba automobila dovodi do značajno većeg procenta dostava realizovanih na vreme u odnosu na upotrebu kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,01$). Poslednji odnos važi i u okviru profila nizak ($p < 0,001$), dok u okviru istog profila nije pronađena značajna razlika u procentu dostava realizovanih na vreme između isključivo bicikala i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$). U okviru profila stvarni, nisu pronađene značajne razlike između kombinacije dostavnih sredstava i automobila ili bicikala ($p > 0,05$ u oba slučaja).

Na slici 4.30 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Minhenu, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najbržu rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.30 *HERE Routing*, najbrža ruta - post hoc analiza, Minhenu

4.2.4 Beograd

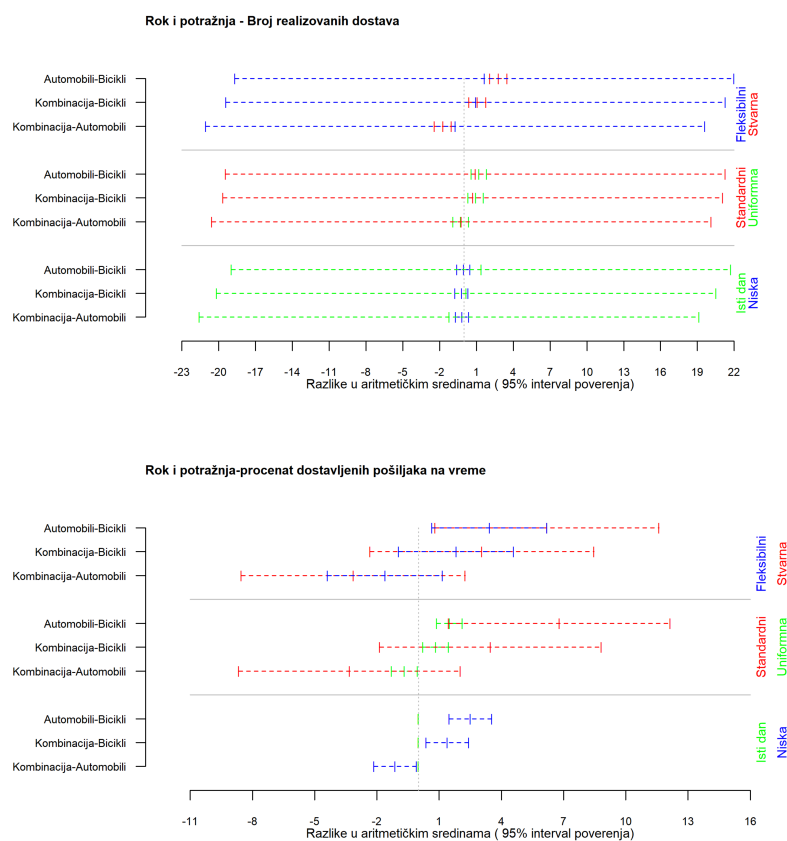
Kada su u pitanju različiti scenariji dostave, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija: fleksibilni ($F = 0,019$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,006$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,015$, $p > 0,05$). U pogledu procenta pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju scenario isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenarije fleksibilni ($F = 4,265$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,036$) i standardni ($F = 4,503$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,038$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba ova scenarija upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,05$ za oba scenarija), dok ne postoji značajna razlika u procentu dostava realizovanih na vreme između bicikala kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$ u oba slučaja), kao ni između kombinacije dostavnih sredstava i dostavnih sredstava koja se sastoji isključivo od automobila (takođe $p > 0,05$ u oba slučaja).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profile stvarni ($F = 46,05$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,293$) i uniformni ($F = 11,41$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,003$) dok značajni efekti nisu pokazani u slučaju profila nizak ($F = 0,413$, $p > 0,05$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između upotrebe isključivo bicikala kao dostavnih sredstava i upotrebe kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$) gde se upotrebom kombinacije dostavnih sredstava realizuje veći broj dostava, između automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$) gde se veći broj dostava realizuje automobilima, kao i između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,001$), gde se veći broj dostava realizuje upotrebom kombinacije dostavnih sredstava. Za uniformni profil su pokazane značajne razlike između upotrebe automobila ili kombinacije dostavnih sredstava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$ i $p < 0,05$) gde se biciklima realizuje manji broj dostava u odnosu na druge dve grupe, dok razlika između upotrebe automobila ili kombinacije dostavnih sredstava nije pokazana ($p > 0,05$).

Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku u svetlu različitih profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači u okviru svakog od profila: stvarni ($F = 3,674$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,032$), uniformni ($F = 16,47$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,131$) i nizak ($F = 16,78$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,129$). Post hoc testovi su pokazali da u okviru svih profila upotreba automobila kao

dostavnog sredstva dovodi do značajno višeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni i $p < 0,001$ za profile uniformni i nizak). U okviru profila stvarni značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme nisu detektovane između upotrebe kombinacije prevoznih sredstava i automobila ili bicikala ($p > 0,05$ u oba slučaja). U okviru profila uniformni i nizak, značajne razlike postoje između upotrebe kombinacije dostavnih sredstava i upotrebe isključivo automobila (gde se automobilima realizuje više dostava na vreme, $p < 0,05$ u oba slučaja) i upotrebe isključivo bicikala (gde se biciklima realizuje manje dostava na vreme, $p < 0,05$ u oba slučaja).

Na slici 4.31 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Beograd, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najbržu rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.31 *HERE Routing*, najbrža ruta - post hoc analiza, Beograd

4.3 *HERE Routing* - najkraća ruta

Rezultati dobijeni simulacijama u okviru kojih su korišćeni podaci dobijeni putem *HERE Routing* servisa za najkraću rutu su u najvećoj meri u saglasnosti i veoma su slični rezultatima dobijenim putem istog servisa kada je korišćena najbrža ruta i prikazani su u sledećim tabelama: u tabeli 4.10 su prikazani rezultati simulacija za Kopenhagen, u tabeli 4.11 su prikazani rezultati za Pariz u tabeli 4.12 su prikazani rezultati za Minhen, a u tabeli 4.13 su prikazani rezultati za Beograd.

Tabela. 4.10 Rezultati - Kopenhagen (*HERE Routing* - najkraća ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	364,89	83,83
		Automobil	369,14	90,75
		Kombinacija	367,27	87,42
	Standardni	Bicikl	365,25	68,83
		Automobil	369,33	80,86
		Kombinacija	367,56	74,75
	Isti dan	Bicikl	364,95	100,00
		Automobil	369,08	100,00
		Kombinacija	367,37	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,80	89,42
		Automobil	297,15	95,50
		Kombinacija	297,09	92,61
	Stvarni	Bicikl	408,74	70,19
		Automobil	417,27	78,78
		Kombinacija	413,31	74,28
	Uniformni	Bicikl	389,55	93,06
		Automobil	393,14	97,33
		Kombinacija	391,80	95,28

Tabela. 4.11 Rezultati - Pariz (*HERE Routing* - najkraća ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	366,84	86,16
		Automobil	368,60	89,89
		Kombinacija	367,51	88,14
	Standardni	Bicikl	366,70	72,83
		Automobil	368,41	79,03
		Kombinacija	367,47	75,99
	Isti dan	Bicikl	367,02	100,00
		Automobil	368,67	100,00
		Kombinacija	367,66	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	297,15	91,60
		Automobil	297,18	94,59
		Kombinacija	296,85	93,15
	Stvarni	Bicikl	412,41	72,80
		Automobil	415,59	77,44
		Kombinacija	414,17	75,21
	Uniformni	Bicikl	391,00	94,59
		Automobil	392,90	96,90
		Kombinacija	391,62	95,76

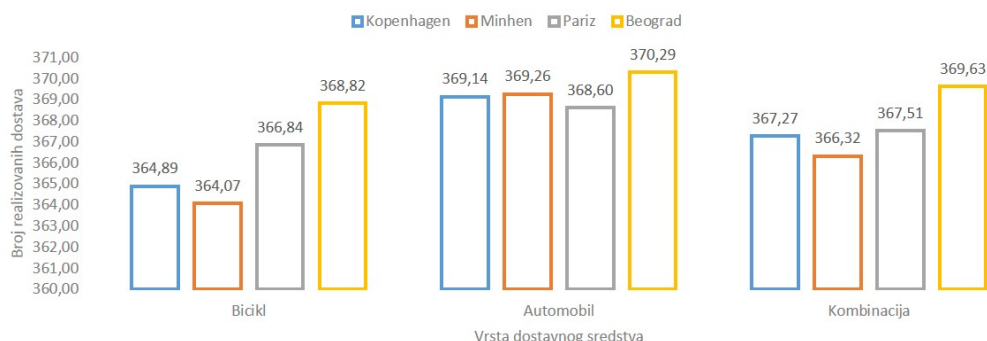
Tabela. 4.12 Rezultati - Minhen (*HERE Routing* - najkraća ruta)

Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	364,07	83,02
		Automobil	369,26	90,94
		Kombinacija	366,32	85,88
	Standardni	Bicikl	364,14	67,82
		Automobil	368,94	81,04
		Kombinacija	366,61	72,51
	Isti dan	Bicikl	364,28	99,99
		Automobil	369,05	100,00
		Kombinacija	366,23	99,99
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,96	88,90
		Automobil	297,08	95,44
		Kombinacija	297,01	91,25
	Stvarni	Bicikl	407,19	69,68
		Automobil	416,93	79,20
		Kombinacija	411,37	72,71
	Uniformni	Bicikl	388,33	92,25
		Automobil	393,24	97,34
		Kombinacija	390,77	94,41

Tabela. 4.13 Rezultati - Beograd (HERE Routing - najkraća ruta)

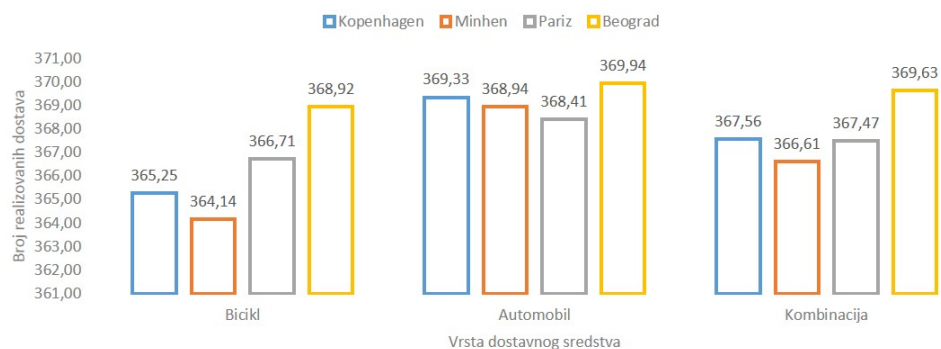
Varijabla	Scenario / Profil	Dostavno sredstvo	Broj realizovanih dostava	Pošiljke dostavljene u roku (%)
			Srednja vrednost	Srednja vrednost
Scenario dostave	Fleksibilni	Bicikl	368,82	91,51
		Automobil	370,29	94,77
		Kombinacija	369,63	93,08
	Standardni	Bicikl	368,92	82,19
		Automobil	369,94	88,66
		Kombinacija	369,63	85,62
	Isti dan	Bicikl	369,16	100,00
		Automobil	370,13	100,00
		Kombinacija	369,08	100,00
Dinamika potražnje	Nizak	Bicikl	296,94	95,96
		Automobil	296,80	98,34
		Kombinacija	296,58	97,28
	Stvarni	Bicikl	416,96	80,13
		Automobil	419,37	85,97
		Kombinacija	418,00	82,99
	Uniformni	Bicikl	393,00	97,61
		Automobil	394,19	99,12
		Kombinacija	393,76	98,43

Kada je u pitanju fleksibilni scenario dostave, u simuliranim uslovima ukupno je najviše dostava realizovano upotrebom automobila kao dostavnog sredstva u Beogradu sa prosečno 370,29 dnevno dostavljenih pošiljaka (slika 4.32), a isti grad prednjači po broju dostava i kada su u pitanju bicikla kao dostavna sredstva (368,82) i kombinacija automobila i bicikala kao prevoznih sredstava (369,63). Najmanje dostava je realizovano u Minhenu upotrebom bicikala, gde je zabeleženo prosečno 364,07 dostava po danu.



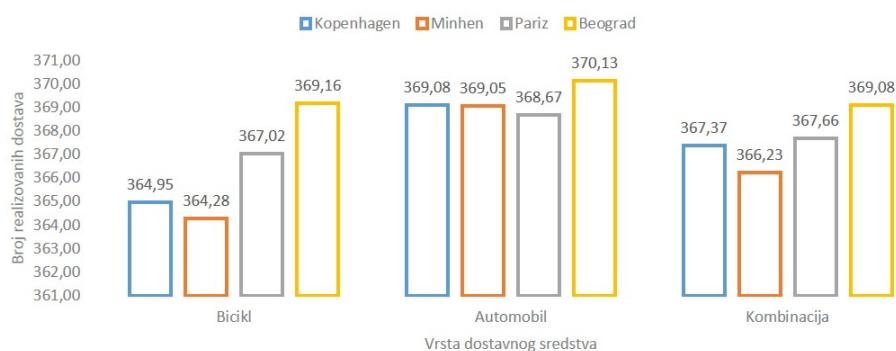
Slika 4.32 HERE Routing, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: fleksibilni

U simulacionom modelu u kojem je simuliran standardni scenario dostave (slika 4.33) rezultati su gotovo identični onima dobijenim za fleksibilni scenario, kako u pogledu rangiranja gradova u pogledu prosečnog broja dostava tako i u pogledu vrednosti ovog indikatora performansi. Najviše dostava je ponovo realizovano automobilima u Beogradu (369,94) a najmanje upotrebom isključivo bicikala u Minhenu (364,14).



Slika 4.33 *HERE Routing*, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: standardni

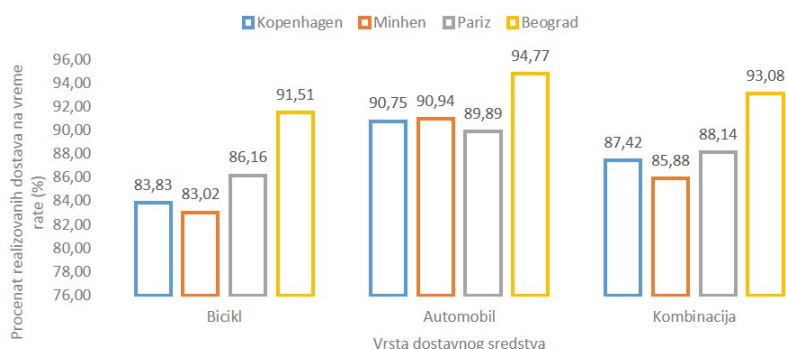
Isti odnosi uz minimalno viši broj prosečnih dostava za većinu kombinacija gradova i dostavnih sredstava su zabeleženi i u okviru simulacionog modela u kojem je simuliran scenario isti dan, što je ilustrovano na slici (4.34)



Slika 4.34 *HERE Routing*, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, scenario: isti dan

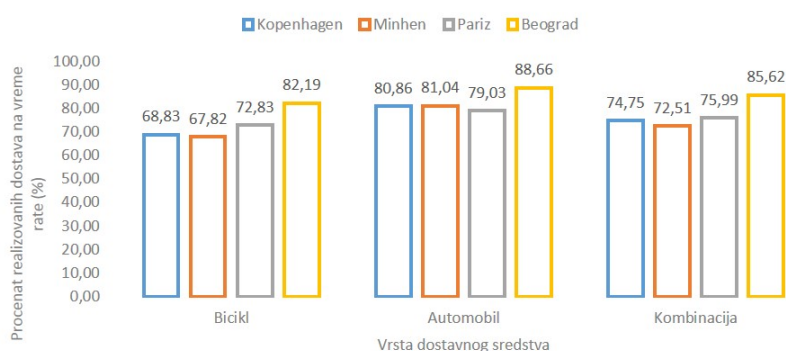
Kada je u pitanju drugi ključni indikator performansi *crowdsourced* dostavnih sistema – procenat pošiljaka dostavljenih u zadatom roku – u okviru fleksibilnog scenarija najviši procenat pošiljaka dostavljenih u roku je zabeležen u Beogradu i on je iznosion 94,77 %

a dostave su vršene isključivo automobilima (slika 4.35). Najniži procenat dostavljenih pošiljaka u roku u okviru istog scenarija je zabeležen u Minhenu i to kada su se dostave realizovale dostavnim sredstvima koja su se sastojala isključivo od bicikala (83,02 %).



Slika 4.35 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: fleksibilni

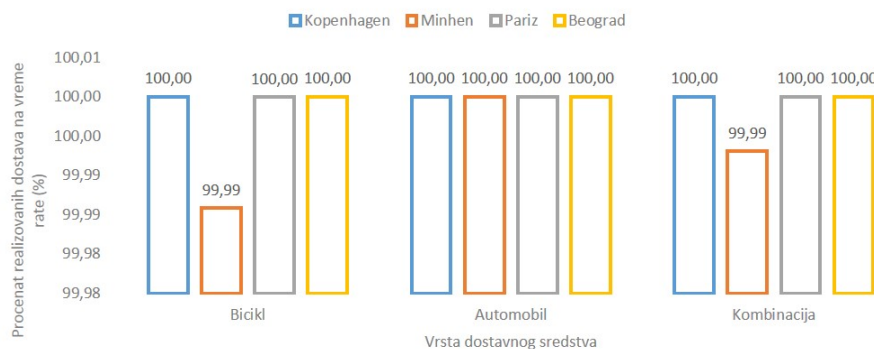
U simulacionom modelu u kojem je simuliran standardni scenario dostave (slika (4.36) uočene su veće razlike u odnosu na fleksibilni scenario i to kako između gradova tako i između dostavnih sredstava u pogledu procenta dostava koje su realizovane u roku. Najviši procenat dostava realizovanih u roku je zabeležen u Beogradu (88,66%) kada su kao prevozno sredstvo korišćeni automobili, dok je najniži procenat dostava koje su realizovane u roku zabeleženo upotrebom bicikala u Minhenu (67,82 %).



Slika 4.36 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: standardni

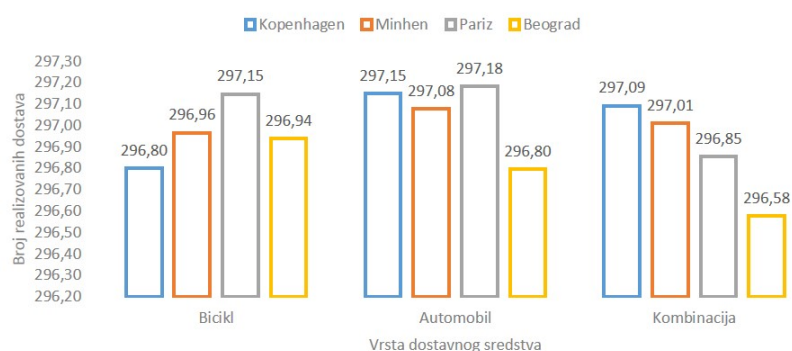
Simulacija scenarija dostave isti dan (4.37) je pokazala da ona može besprekorno da se realizuje u gotovo svim gradovima i to upotrebom bilo koje vrste posmatranih prevoznih

sredstava (odnosno njihovom kombinacijom). Jedini izuzetak predstavlja Minhen, gde su zabeleženo veoma malo odstupanje od idealnog rezultata (na nivou od 0,01 %) kada se kao dostavna sredstva koriste bicikla ili kombinacija bicikala i automobila.



Slika 4.37 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, scenario: isti dan

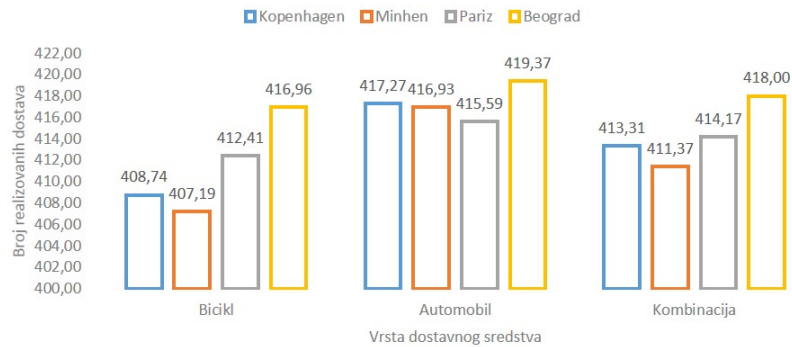
Kada je u pitanju profil niske potražnje, u simuliranim uslovima najviše pošiljaka prosečno je dostavljeno automobilom u Minhenu (297,18) što je ilustrovano na slici(4.38). U okviru ovog simuliranog profila interesantno je uočiti to da se kombinacija dostavnih vozila pokazala efikasnijom nego upotreba isključivo bicikala ili isključivo automobila u Kopenhagu i Minhenu, dok je u slučaju ostala dva grada bila manje efikasna nego upotreba dostavnih sredstava koje se sastoje samo od jedne vrste dostavnog sredstva.



Slika 4.38 *HERE Routing*, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: nizak

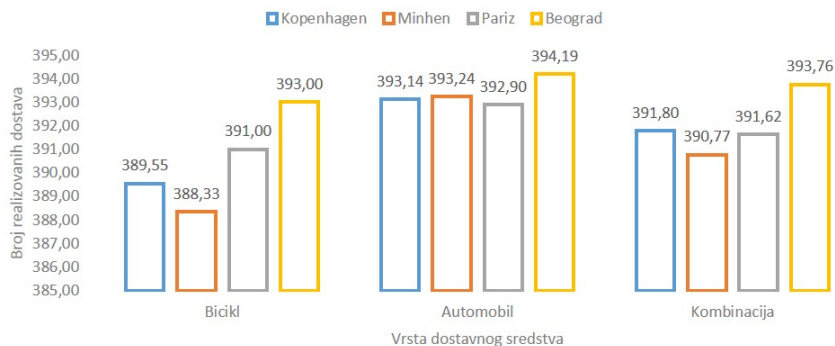
Simulacioni model u okviru kojeg je simuliran profil stvarne potražnje pokazao je da se najbolje performanse po pitanju prosečnog broja realizovanih dostava ostvaruju automobilom

u Beogradu (419,37), dok se najmanji broj realizuje u Minhenu kada se kao dostavna sredstva koriste bicikla (407,19) – što je prikazano na slici (4.39). Ovde je ujedno zabeležena i najveća razlika između gradova u prosečnom broju dostava kada su u pitanju bicikla kao dostavna sredstva, gde je u Beogradu zabeleženo prosečno skoro 10 dostava više nego u Minhenu (416,96).



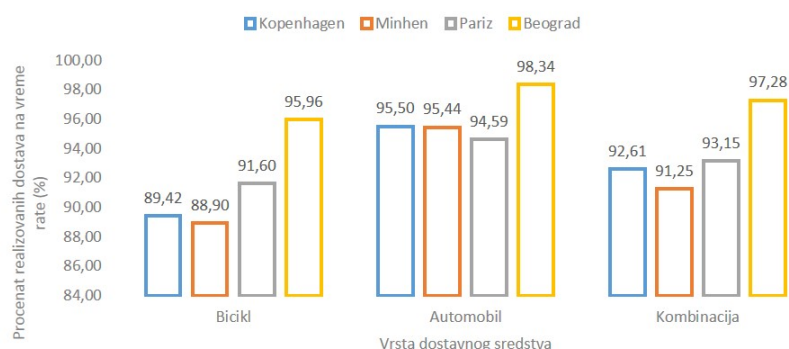
Slika 4.39 *HERE Routing*, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: stvarni

U okviru simulacije uniformnog profila potražnje (slika 4.40) rezultati između gradova su više uravnoteženi, što je posebno slučaj kada se radi o dostavi isključivo automobilima. Najviše dostava ovim prevoznim sredstvom je ponovo zabeleženo u Beogradu (394,19), ali je razlika između rezultata u tom gradu i Parizu koji je rangiran kao poslednji veoma mala (u Parizu je zabeleženo prosečno 392,90). U pogledu dostave isključivo biciklima, Beograd se takođe pokazao kao najefikasniji sa prosečno 393 dostave u okviru dana dok ih je najmanje realizovano u Minhenu (388,33).



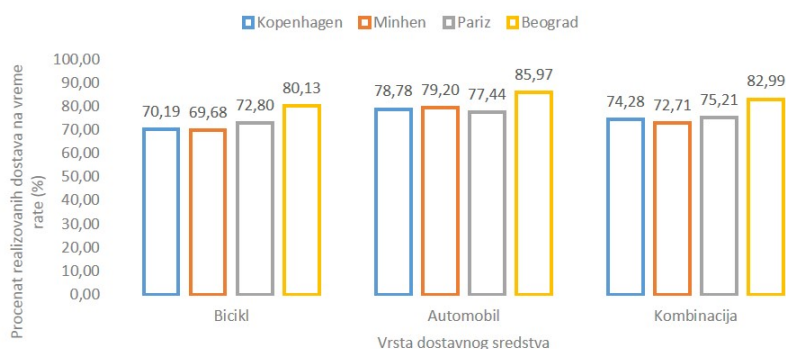
Slika 4.40 *HERE Routing*, najkraća ruta - Prosečan broj dostavljenih pošiljaka po gradovima, profil: uniformni

U pogledu efikasnosti dostavnih sredstava kada je u pitanju dostava u pošiljaka u roku, prilikom simulacije profila niske potražnje procenat blagovremeno dostavljenih pošiljaka je najviši bio u Beogradu (98,34%) kada je dostava vršena isključivo automobilima, a nešto slabiji rezultati su zabeleženi u Minhenu (95,44%), Kopenhagenu (95,50%) i Parizu (94,59%). Najmanje dostavljenih pošiljaka u okviru ovog profila je zabeleženo u Minhenu (88,90%) i to kada je dostava vršena isključivo biciklima – što je ilustrovano na slici (4.41).



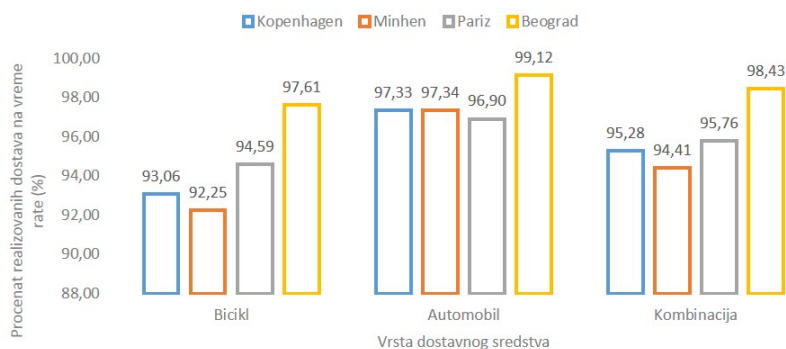
Slika 4.41 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: nizak

Simulacija profila stvarne potražnja je rezultovala u nižim vrednostima i većim razlikama između gradova kada je u pitanju dostava isključivo automobilima i procenat dostava realizovanih u roku. Ponovo su najbolji rezultati zabeleženi u Beogradu (85,97 % dostavljenih pošiljaka u roku), a najslabiji u Parizu (77,44 %), a osim dostave ovim prevoznim sredstvom u Minhenu gde je zabeleženo 79,20 % dostava realizovanih na vreme, dostava biciklima u Beogradu se pokazala kao sledeća najefikasnija između svih ostalih kombinacija gradova i prevoznih sredstava (sa 80,13 % dostava realizovanih u roku). Najslabiji rezultat je zabeležen u Minhenu sa 69,68% dostavljenih pošiljaka u roku i to kada su korišćeni isključivo bicikli, a ovi rezultati su ilustrovani na slici (4.42).



Slika 4.42 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: stvarni

Konačno, u okviru simulacionog modela u okviru kojeg je simuliran profil uniformne potražnje (slika 4.43) u Beogradu je zabeležen veoma visok procenat dostave u roku kada su korišćeni automobili kao prevozno sredstvo (99,12 %). Ovo je preko 2 % više od Pariza gde je zabeleženo 96,96 % dostava na vreme prilikom upotrebe istog dostavnog sredstva i skoro 7 % više od najslabijeg rezultata koji je ostvaren u okviru ove simulacije a zabeležen je u Minhenu kada su se dostavna sredstva koja koriste dostavljači sastojala isključivo od bicikala (92,25 %).



Slika 4.43 *HERE Routing*, najkraća ruta - Procenat dostava realizovanih u roku, profil: uniformni

U cilju lakšeg pregleda razlika koje su se javile između dostavnih sredstava kada su u pitanju ključni indikatori performansi u simuliranim uslovima, u tabeli 4.14 su prikazane relativne razlike u broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku između različitih dostavnih sredstava, gde je razlika u vrednostima između dostave koja je vršena upotrebom bicikla u odnosu na onu koja je vršena upotrebom automobila označena

kao **B-A**, razlika između bicikla i kombinacije dostavnih sredstava je označena kao **B-K**, a razlika između automobila i kombinacije dostavnih sredstava kao **A-K**.

Tabela. 4.14 *HERE Routing*, najkraća ruta - Relativne razlike u prosečnom broju dostavljenih pošiljaka i procentu dostavljenih pošiljaka u roku

Grad	Varijabla	Profil	Prosečan broj realizovanih dostava			Procenat realizovanih dostava u roku		
			B-A	B-K	A-K	B-A	B-K	A-K
Kopenhagen	Scenariji dostave	Fleksibilni	1,16%	0,65%	0,51%	7,93%	4,19%	3,74%
		Standardni	1,11%	0,63%	0,48%	16,07%	8,25%	7,85%
		Isti dan	1,13%	0,66%	0,46%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,12%	0,10%	0,02%	6,58%	3,50%	3,07%
		Stvarni	2,07%	1,11%	0,95%	11,53%	5,66%	5,88%
		Uniformni	0,92%	0,58%	0,34%	4,49%	2,36%	2,13%
Minhen	Scenariji dostave	Fleksibilni	1,42%	0,62%	0,80%	9,11%	3,39%	5,72%
		Standardni	1,31%	0,68%	0,63%	17,76%	6,68%	11,11%
		Isti dan	1,30%	0,53%	0,77%	0,01%	0,00%	0,01%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,04%	0,02%	0,02%	7,10%	2,61%	4,49%
		Stvarni	2,36%	1,02%	1,34%	12,79%	4,26%	8,54%
		Uniformni	1,26%	0,63%	0,63%	5,37%	2,31%	3,06%
Pariz	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,48%	0,18%	0,30%	4,24%	2,27%	1,97%
		Standardni	0,47%	0,21%	0,26%	8,17%	4,25%	3,92%
		Isti dan	0,45%	0,17%	0,27%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,01%	0,10%	0,11%	3,21%	1,68%	1,53%
		Stvarni	0,77%	0,43%	0,34%	6,18%	3,26%	2,92%
		Uniformni	0,48%	0,16%	0,33%	2,41%	1,23%	1,18%
Beograd	Scenariji dostave	Fleksibilni	0,40%	0,22%	0,18%	3,50%	1,70%	1,80%
		Standardni	0,28%	0,19%	0,08%	7,57%	4,09%	3,49%
		Isti dan	0,26%	0,02%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%
	Dinamika potražnje	Nizak	0,05%	0,12%	0,07%	2,45%	1,37%	1,08%
		Stvarni	0,58%	0,25%	0,33%	7,03%	3,51%	3,53%
		Uniformni	0,30%	0,19%	0,11%	1,54%	0,84%	0,70%

4.3.1 Kopenhagen

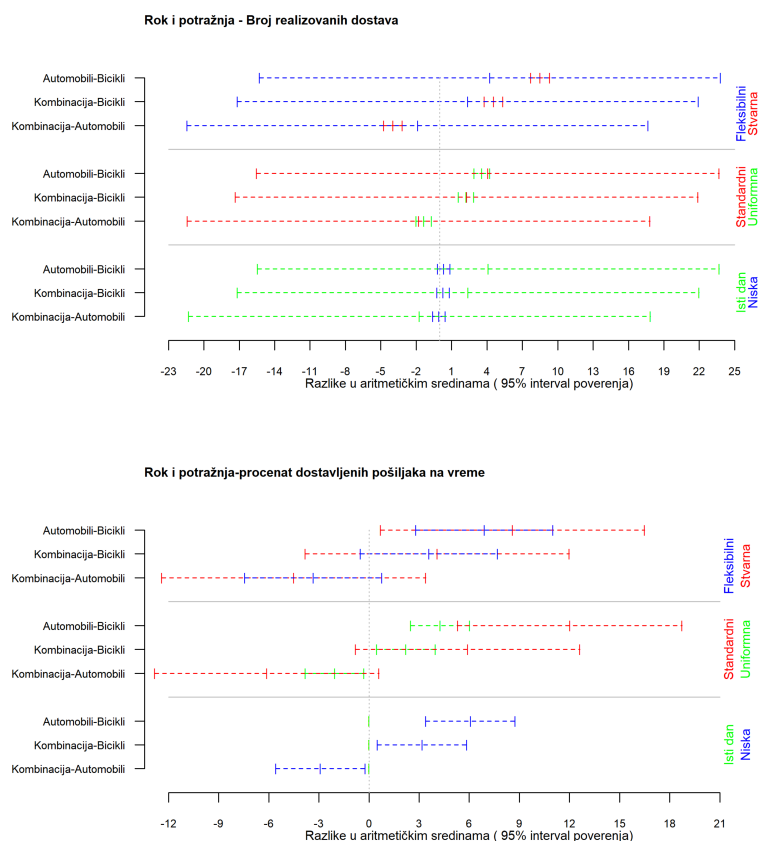
Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,133$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,121$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,125$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju scenario isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenarije fleksibilni ($F = 7,916$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,066$) i standardni ($F = 8,954$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,074$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba ova scenarija upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$ u oba slučaja), dok značajna razlika nije pronađena u procentu dostava realizovanih na vreme između bicikala kao dostavnog sredstva i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$ za oba scenarija), kao ni između kombinacije dostavnih sredstava i automobila za te scenarije ($p > 0,05$ u oba slučaja).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profile stvarni ($F = 324,1$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,744$) i uniformni ($F = 83,07$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,012$), a nije pokazala značajan efekat za profil nizak ($F = 1,375$, $p > 0,05$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru profila potražnje stvarni značajne razlike postoje između svih kombinacija dostavnih sredstava i to: isključivo bicikala kao dostavnih sredstava i isključivo automobila kao dostavnih sredstava ($p < 0,001$), između kombinacije dostavnih sredstava i isključivo bicikala kao dostavnih sredstava ($p < 0,001$) kao i između isključivo automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$), gde se veći broj dostava realizuje automobilima u odnosu na bicikla ili kombinaciju prevoznih sredstava, a kombinacijom prevoznih sredstava se realizuje više dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala kao prevoznih sredstava. U okviru uniformnog profila potražnje takođe postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba automobila kao dostavnih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$).

Konačno, kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajne efekte za sve profile: stvarni ($F = 3,299$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,028$), uniformni ($F = 16,44$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,114$) i nizak ($F = 14,41$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,128$).

Post hoc testovi pokazuju da u okviru svih simuliranih profila upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni, $p < 0,001$ za profil uniformni i $p < 0,001$ za profil nizak), kao i da isti odnosi važe za razlike između automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava za profile uniformni ($p < 0,05$) i nizak ($p < 0,05$). Upotreba kombinovanacije dostavnih sredstava dovodi do većeg procenta dostava realizovanih na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala za profile uniformni ($p < 0,05$) i nizak ($p < 0,05$) dok značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala, kao i kombinacije dostavnih sredstava i automobila – za profil stvarni ne postoje ($p > 0,05$).

Na slici 4.44 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Kopenhagen, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najkraću rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.44 *HERE Routing*, najkraća ruta - post hoc analiza, Kopenhagen

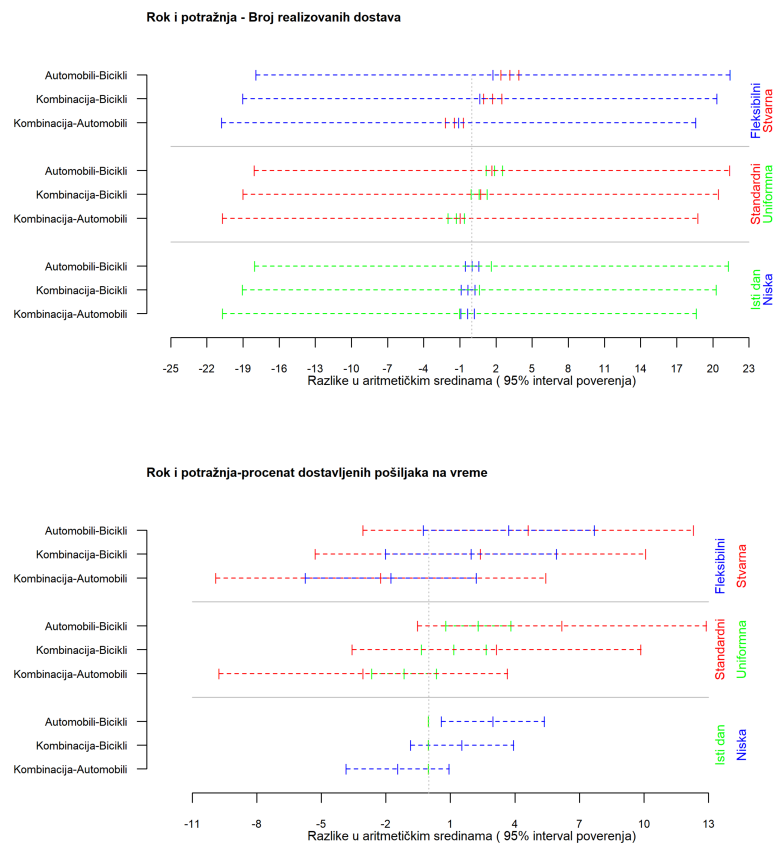
4.3.2 Pariz

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,023$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,021$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,02$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u traženom vremenskom periodu, jednofaktorska ANOVA takođe nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju bilo koji od scenarija: fleksibilni ($F = 2,45$, $p > 0,05$), standardni ($F = 2,381$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profil nizak ($F = 1,148$, $p > 0,05$), ali jeste pokazala za profile stvarni ($F = 49,55$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,308$) i uniformni ($F = 22,84$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,010$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između automobila kao dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,001$) gde se više dostava izvrši upotrebom automobila, između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,001$) gde se više dostava realizuje upotrebom kombinacije dostavnih sredstava, kao i između kombinacije dostavnih sredstava i automobila ($p < 0,001$) gde se veći broj dostava realizuje automobilima. U okviru uniformnog profila potražnje postoje značajne razlike između upotrebe automobila kao dostavnih sredstava i bicikala ili kombinacije dostavnih sredstava, gde upotreba automobila rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na druge dve kategorije ($p < 0,001$ u oba slučaja). Upotreba kombinovanih prevoznih sredstava se ne razlikuje značajno od upotrebe bicikala u pogledu broja realizovanih dostava ($p > 0,05$) u okviru uniformnog profila.

Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, u svetlu simuliranih profila potražnje jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada se radi o profilu stvarni ($F = 1,014$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za profile uniformni ($F = 6,522$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,037$) i nizak ($F = 4,341$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,055$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru oba ova profila upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ u oba slučaja) dok značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između upotrebe kombinacije dostavnih sredstava i isključivo automobila, kao i kombinacije dostavnih sredstava i isključivo bicikala ne postoje (u svim slučajevima $p > 0,05$).

Na slici 4.45 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Pariz, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najkraću rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.45 *HERE Routing*, najkraća ruta - post hoc analiza, Pariz

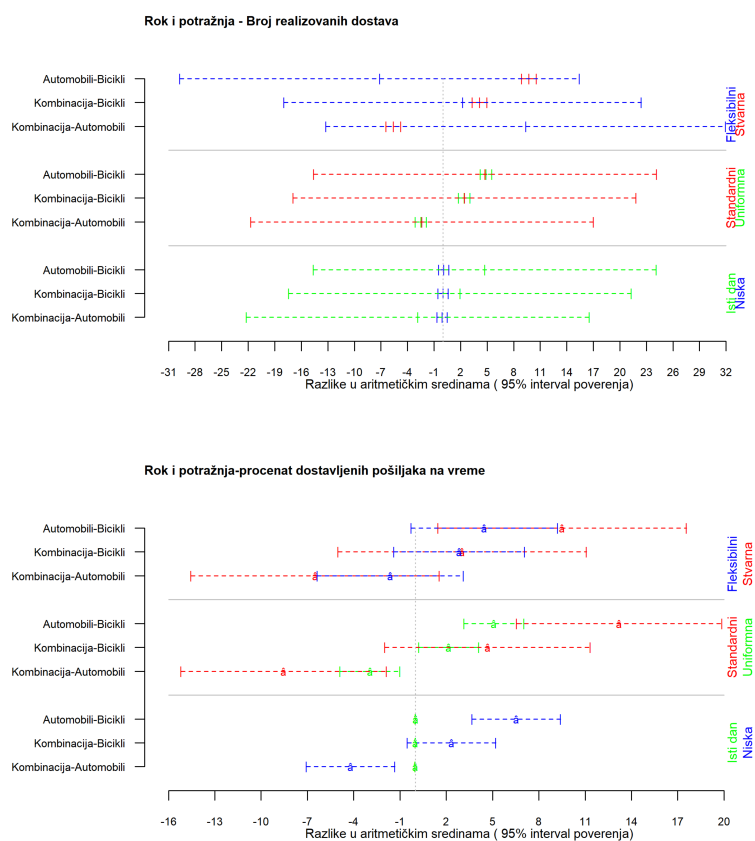
4.3.3 Minhen

Jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija dostave – fleksibilni ($F = 0,5$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,171$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,171$, $p > 0,05$). Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u traženom vremenskom periodu, jednofaktorska ANOVA pokazala je da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači za scenarije: standardni ($F = 11,27$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,092$) i isti dan ($F = 21,59$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,162$), ali značajni efekti nisu uočeni za scenario fleksibilni ($F = 2,71$, $p > 0,05$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba scenarija gde su identifikovane značajne razlike upotreba automobila kao dostavnog sredstva dovodi do većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$ za oba scenarija), a isti odnos važi i za upotrebu isključivo automobila u odnosu na kombinaciju dostavnih sredstava ($p < 0,05$ za oba slučaja). Upotreba kombinacije dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostave u roku u odnosu na upotrebu isključivo bicikala za scenario isti dan ($p < 0,05$), dok ne postoje značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme između upotrebe bicikala kao dostavnih sredstva i kombinacije dostavnih sredstava za scenario standardni ($p > 0,05$).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profil nizak ($F = 0,104$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za profile stvarni ($F = 383,4$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,755$) i uniformni ($F = 125,4$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,910$). Post hoc analiza je pokazala da u okviru stvarnog i uniformnog profila potražnje postoje značajne razlike između svih grupa dostavnih sredstava. Upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstva rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$) ili kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,001$), dok kombinacija prevoznih sredstava rezultuje u većem broju realizovanih dostava u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,001$) u okviru oba posmatrana profila. Konačno, kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA pokazala je da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači u okviru svih simuliranih profila: stvarni ($F = 4,063$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,035$), uniformni ($F = 12,4$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,118$) i nizak ($F = 14,89$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,111$). Post hoc testovi pokazuju da u okviru svih profila upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni i $p < 0,001$ za profile uniformni i nizak). U okviru uniformnog profila potražnje upotreba kombinacije dostavnih sredstva rezultuje u većem procentu realizovanih dostava na vreme u odnosu na upotrebu bicikala (p

$< 0,05$), dok upotreba automobila dovodi do značajno većeg procenta dostava realizovanih na vreme u odnosu na upotrebu kombinacije prevoznih sredstava ($p < 0,05$). Poslednji odnos važi i u okviru profila nizak ($p < 0,05$), dok u okviru istog profila nije pronađena značajna razlika u procentu dostava realizovanih na vreme između isključivo bicikala i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$). U okviru profila stvarni, nisu pronađene značajne razlike između kombinacije dostavnih sredstava i automobila ili bicikala ($p > 0,05$ u oba slučaja).

Na slici 4.46 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Minhen, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najkraću rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.46 *HERE Routing*, najkraća ruta - post hoc analiza, Minhen

4.3.4 Beograd

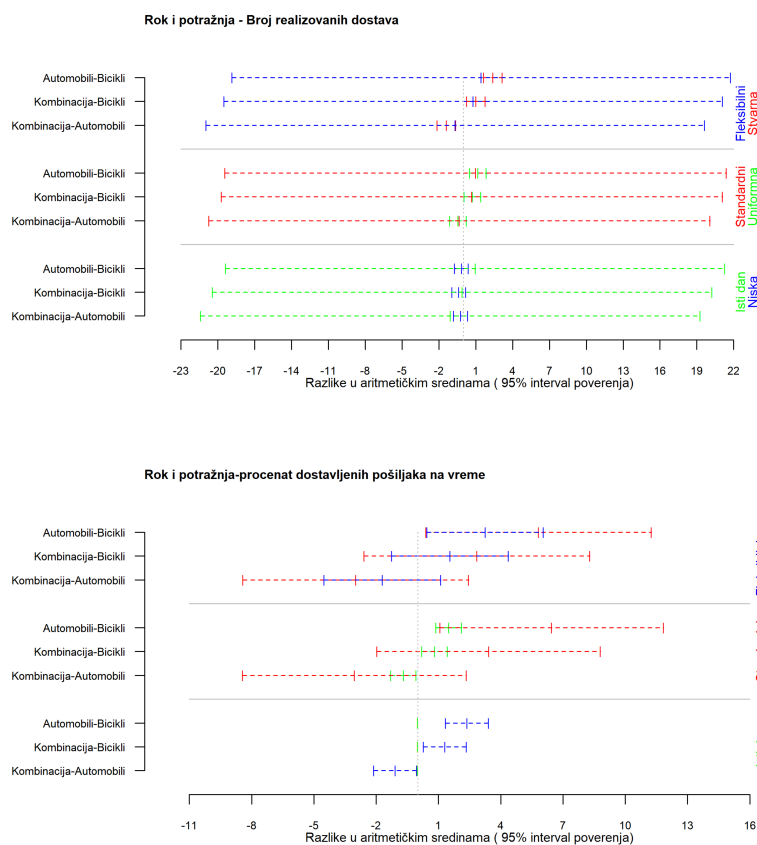
Kada su u pitanju različiti scenariji dostave, jednofaktorska ANOVA nije pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za bilo koji od definisanih scenarija: fleksibilni ($F = 0,015$, $p > 0,05$), standardni ($F = 0,007$, $p > 0,05$) ili isti dan ($F = 0,009$, $p > 0,05$). U pogledu procenta pošiljki koje su dostavljene u roku, jednofaktorska ANOVA nije pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači kada je u pitanju scenario isti dan ($F = 1$, $p > 0,05$), ali je pokazala značajne efekte za scenarije fleksibilni ($F = 3,757$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,032$) i standardni ($F = 4,018$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,034$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru oba ova scenarija upotreba isključivo automobila kao dostavnih sredstava dovodi do značajno većeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,05$ za oba scenarija), dok ne postoji značajna razlika u procentu dostava realizovanih na vreme između bicikala kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p > 0,05$ u oba slučaja), kao ni između kombinacije dostavnih sredstava i dostavnih sredstava koja se sastoji isključivo od automobila (takođe $p > 0,05$ u oba slučaja).

U pogledu profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači na broj realizovanih dostava za profile stvarni ($F = 28,32$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,203$) i uniformni ($F = 8,767$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,010$) dok značajni efekti nisu pokazani u slučaju profila nizak ($F = 1,175$, $p > 0,05$). Post hoc testovi koji su koristili Taki formulu pokazuju da u okviru profila stvarne potražnje značajne razlike postoje između upotrebe isključivo bicikala kao dostavnih sredstava i upotrebe kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$) gde se upotrebom kombinacije dostavnih sredstava realizuje veći broj dostava, između automobila kao dostavnih sredstava i kombinacije dostavnih sredstava ($p < 0,001$) gde se veći broj dostava realizuje automobilima, kao i između kombinacije dostavnih sredstava i bicikala ($p < 0,05$), gde se veći broj dostava realizuje upotrebom kombinacije dostavnih sredstava. Za uniformni profil su pokazane značajne razlike između upotrebe automobila ili kombinacije dostavnih sredstava u odnosu na upotrebu bicikala ($p < 0,001$ i $p < 0,05$) gde se biciklima realizuje manji broj dostava u odnosu na druge dve grupe, dok razlika između upotrebe automobila ili kombinacije dostavnih sredstava nije pokazana ($p > 0,05$).

Kada je u pitanju procenat pošiljki koje su dostavljene u roku u svetlu različitih profila potražnje, jednofaktorska ANOVA je pokazala da postoji značajan efekat tipa dostavnog sredstva koje koriste dostavljači u okviru svakog od profila: stvarni ($F = 3,209$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,028$), uniformni ($F = 16,62$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,118$) i nizak ($F = 14,85$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,130$). Post hoc testovi su pokazali da u okviru svih profila upotreba automobila kao

dostavnog sredstva dovodi do značajno višeg procenta dostava koje su realizovane na vreme u odnosu na upotrebu isključivo bicikala ($p < 0,05$ za profil stvarni i $p < 0,001$ za profile uniformni i nizak). U okviru profila stvarni značajne razlike u procentu dostava realizovanih na vreme nisu detektovane između upotrebe kombinacije prevoznih sredstava i automobila ili bicikala ($p > 0,05$ u oba slučaja). U okviru profila uniformni i nizak, značajne razlike postoje između upotrebe kombinacije dostavnih sredstava i upotrebe isključivo automobila (gde se automobilima realizuje više dostava na vreme, $p < 0,05$ u oba slučaja) i upotrebe isključivo bicikala (gde se biciklima realizuje manje dostava na vreme, $p < 0,05$ u oba slučaja).

Na slici 4.47 su grafički prikazani rezultati post hoc analize za Beograd, kada su upotrebljeni podaci dobijeni putem *Here routing* servisa za najkraću rutu (razlike u srednjim vrednostima i 95% interval poverenja).



Slika 4.47 *HERE Routing*, najkraća ruta - post hoc analiza, Beograd

5

Diskusija rezultata istraživanja

Uzimajući u obzir istraživačka pitanja definisana na početku disertacije kao i postavljene hipoteze, može se primetiti da su rezultati dobijeni u okviru razvijenih simulacionih modela u najvećoj meri konzistentni, ali da postoje i određene neusaglašenosti koje se javljaju između servisa koji se koriste kao izvor podataka o realnim uslovima u saobraćaju.

U pogledu uticaja zahteva za dostavom (različiti scenariji dostave, odnosno kombinacije rokova za dostavu) na prosečan broj realizovanih dnevnih dostava, može se primetiti da oni ne utiču značajno na kretanje ovog ključnog indikatora performansi različitih *crowdsourced* dostavnih sredstava, bez obzira na to koju vrstu dostavnog sredstva koriste dostavljači i koji servis se koristi kao izvor podataka. U tom smislu, hipoteza H1 nije potvrđena ni za jedan servis niti za jedan grad u okviru simuliranih scenarija, indikujući da će bilo koji mod transporta koji koriste dostavljači rezultovati u sličnim performansama simuliranih sistema. Sa druge strane, ukoliko se kao kriterijum efikasnosti posmatra procenat dostava realizovanih na vreme, ista hipoteza je potvrđena za većinu simulacionih modela koji su koristili podatke dobijene putem HERE Routing servisa, sa izuzetkom grada Pariza, scenarije dostave istog dana (osim za Minhenu) i u jednom slučaju scenarija dostave fleksibilni (Minhenu, najkraća ruta). U slučaju *Google Directions* servisa, ova hipoteza nije potvrđena samo za scenario isti dan u okviru Kopenhagena i scenarije fleksibilni i standardni u okviru Minhena. Ovo generalno indikuje da je izbor moda transporta koji koriste dostavljači bitan ukoliko je cilj optimizacija ovog indikatora performansi.

Kada je u pitanju dinamička oscilacija potražnje za dostavom usluge i njen uticaj na prosečan broj dnevno realizovanih dostava, hipoteza H2 je potvrđena u svim slučajevima osim za grad Minhenu kada je kao izvor podataka korišćen *Google Directions* ili kada je profil dostave bio nizak (sa izuzetkom Kopenhagena kada je kao izvor podatka korišćen *Google*

Directions). Ovo implicira da je izbor moda transporta koji koriste dostavljači važan aspekt prilikom optimizacije dostave ukoliko se teži maksimizaciji broja realizovanih dostava u svetlu dnevne oscilacije potražnje za ovim uslugama. Konačno, kada se posmatra efikasnost različitih dostavnih sredstava koja dostavljači koriste i njihove mogućnosti da realizuju dostave u okviru zadatih vremenskih rokova, hipoteza H2 je potvrđena za Kopenhagen i Pariz (osim za profil stvarni) kada su upotrebljeni podaci dobijeni upotrebom *Google Directions* servisa, kao i za sve gradove i osim za profil stvarni u Parizu kada je kao izvor podataka korišćen HERE Routing servis. Sumarni prikaz rezultata istraživanja u svetlu postavljenih hipoteza je prikazan u tabelama 5.1, 5.2 i 5.3.

Tabela. 5.1 Hipoteze - *Google Directions*

Grad	Scenario / Profil	Hipoteza	Broj realizovanih dostava	Procenat dostava realizovanih u roku
Kopenhagen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Nije potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Pariz	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Nije potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Minhen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Stvarni	H2	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Uniformni	H2	Nije potvrđena	Nije potvrđena

Detaljnijom analizom razlika između posmatranih grupa dostavnih sredstava (isključivo bicikli, isključivo automobili ili ravnomerna kombinacija dostavnih sredstava) kada su u pitanju ključni indikatori performansi, mogu da se procene potencijalne koristi izmeštanja procesa dostave (odnosno uvođenje *crowdsourced* sistema dostave) i da se planirani sistemi prilagode vrednostima onih indikatora čijoj se maksimizaciji teži (budući da upotreba jednog moda transporta može istovremeno da indikuje niži prosečan broj dostava ali viši procenat dostava koje su realizovane u roku). Pri tome, treba uzeti u obzir da identifikovane razlike u

Tabela. 5.2 Hipoteze - HERE Routing (najbrža ruta)

Grad	Scenario / Profil	Hipoteza	Broj realizovanih dostava	Procenat dostava realizovanih u roku
Kopenhagen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Pariz	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Nije potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Minhen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Beograd	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena

performansama u pogledu broja izvršenih dostava i procenta dostava izvršenih u roku mogu da imaju različit predznak u zavisnosti od servisa koji se koristi kao izvor podataka o realnim uslovima u saobraćaju budući da oni imaju različite polazne pretpostavke posebno kada je u pitanju upotreba bicikala kao prevoznog sredstva. Kao odlična ilustracija toga može da posluži grad Kopenhagen gde rezultati u pogledu procenta dostava realizovanih na vreme konzistentno idu u prilog biciklima kao dostavljačkim sredstvima kada se kao izvor podataka koristi *Google Directions*, dok upotreba podataka dobijenih putem HERE Routing servisa indikuje da se značajno bolji rezultati ostvaruju upotrebom automobila kao dostavljačkog sredstva pod simuliranim uslovima. Razlike koje su identifikovane post hoc analizom između grupa dostavnih sredstava i hipoteze kojima one idu u prilog su sumarno prikazane u nastavku.

Tabela. 5.3 Hipoteze - HERE Routing (najkraća ruta)

Grad	Scenario / Profil	Hipoteza	Broj realizovanih dostava	Procenat dostava realizovanih u roku
Kopenhagen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Pariz	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Nije potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Minhen	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena
Beograd	Fleksibilni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Standardni	H1	Nije potvrđena	Potvrđena
	Isti dan	H1	Nije potvrđena	Nije potvrđena
	Nizak	H2	Nije potvrđena	Potvrđena
	Stvarni	H2	Potvrđena	Potvrđena
	Uniformni	H2	Potvrđena	Potvrđena

Ukoliko se kao referentni uzmu podaci o saobraćajnim uslovima i procenjenim vremenima putovanja dobijeni putem *Google Directions* servisa, upotreba bicikala kao dostavnih sredstava u *crowdsourced* sistemima ima značajne pozitivne efekte u pogledu procenta dostava realizovanih na vreme u Kopenhagenu i Parizu (tabela 5.4). Ova dostavna sredstva su se pokazala efikasnijim od automobila u okviru skoro svim posmatranim scenarijima dostave i profilima potražnje, sa izuzetkom scenarija isti dan i profila stvarne potražnje u Kopenhagenu. U simulacionom modelu za Kopenhagen je najveća razlika u procentima pošiljaka dostavljenih na vreme zabeležena u okviru standardnog scenarija dostave i ona iznosi 9 %, što u realnim sistemima može da predstavlja ozbiljnu osnovu za diskusiju o upotrebi bicikala kao dostavnih sredstava posebno u slučajevima kada dostavljač ima obavezu da plaća određene penale ukoliko dostavu ne izvrši na vreme. U pogledu prosečnog broja dostavljenih pošiljki za ovaj grad statistički značajne razlike postoje, a iako su u apsolutnom

iznosu relativno niske (dve pošiljke u korist bicikala) to ponovo može da bude dobar osnov za različite poslovne diskusije budući da upotreba bicikala može da znači niže ukupne troškove dostave i pozitivan uticaj na životnu sredinu. Simulacioni modeli u okviru kojih su korišćeni podaci za Pariz pružaju gotovo identičnu sliku u pogledu rezultata – uz bitnu razliku da je efikasnost bicikala u odnosu na automobile kao dostavna sredstva još više naglašena. U okviru standardnog scenarija dostave se javlja razlika od 15,5 % u korist bicikala, dok za ostale scenarije i profile (osim profila stvarni i scenarija dostave isti dan) razlike variraju između 7% i 10%. Za grad Minhen su pod simuliranim uslovima značajne razlike zabeležene samo u pogledu procenta dostava izvršenih u roku i to jedino u okviru scenarija dostave isti dan (između svih grupa, a automobili su bili najefikasnije dostavno sredstvo dok su bicikli bili najmanje efikasni), ali se one kreću u redu veličina desetog dela procenta.

Kada se kao referentni uzmu podaci o saobraćajnim uslovima i procenjenim vremenima putovanja dobijeni putem *HERE Routing* servisa upotrebom najbrže rute (tabela 5.5), slika se menja u odnosu na prethodno prikazane. Umesto bicikala, upotreba automobila kao dostavnih sredstava u *crowdsourced* sistemima pokazuje značajne pozitivne efekte u pogledu procenta dostava realizovanih na vreme, ali isto tako i u prosečnom broju dostava za neke od gradova. Ovo poslednje je najviše primetno u simulacionim modelima za Kopenhagen i Minhen i profile dostave stvarni, gde su zabeležene razlike od gotovo 10 dostava više u korist automobila u odnosu na bicikla. Budući da to predstavlja gotovo 2,5 % više dostava na dnevnom nivou, posebno kada su u pitanju sistemi gde se vrši veliki broj dostava ovo može da bude ozbiljan argument za upotrebu automobila umesto bicikala (pod uslovom da je cilj maksimizacija profita i da se zanemaruju ostali faktori kao što je povećana emisija štetnih izduvnih gasova). U slučaju Pariza su ove razlike dosta manje (na nivou od prosečno 3 ili 4 dostave dnevno). Takođe je interesantno primetiti i da su dostave vršene automobilima generalno pokazale značajno bolje rezultate od onih koje se oslanjaju isključivo na bicikla u pogledu procenta dostava realizovanih u roku čak i u gradovima u kojima postoji razvijena biciklistička infrastruktura. Ovo je najviše izraženo u simulacionom modelu za Kopenhagen u okviru scenarija standardni, gde ta razlika iznosi oko 12,5 % što donekle može da dovede u pitanje kvalitet podataka dobijenih putem ovog servisa – ako se uzme u obzir činjenica da je to jedan od visoko rangiranih gradova u studijama koje razmatraju kvalitet biciklističke infrastrukture i stil života Danaca koji važe za naciju u kojoj je bicikli izuzetno popularno prevozno sredstvo. Za grad Minhen su pod simuliranim uslovima značajne razlike zabeležene u okviru praktično svih profila potražnje a u okviru profila stvarni ta razlika iznosi gotovo 10 pošiljaka više prosečno dostavljenih automobilima u odnosu na bicikla. Interesantno je konstatovati da u Beogradu važe isti odnosi u pogledu efikasnosti dostavnih sredstava kao i u

Tabela. 5.4 *Google Directions* - post hoc analiza, sumarni prikaz

Grad	Scenario / Profil	Broj realizovanih dostava			Procenat realizovanih dostava u roku		
		A-B	K-B	K-A	A-B	K-B	K-A
Kopenhagen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Stvarni	H2	H2	H2	H2a	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
Pariz	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1	H1
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1	H1	H1
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2a	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Minhen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1	H1	H1
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a
	Stvarni	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a
	Uniformni	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a	H2a

Minhenu, s tim što su apsolutne razlike između njih nešto niže; kreću se između jedne i tri pošiljke kada je u pitanju prosečan broj dostava na dnevnom nivou, odnosno u rasponu od 2,5 % do 6,5 % kada je u pitanju procenat dostava na vreme (sve u korist automobila).

Konačno, kada se kao referentni uzmu podaci o saobraćajnim uslovima i procenjenim vremenima putovanja dobijeni putem *HERE Routing* servisa upotrebom najkraće rute (tabela 5.6), rezultati su veoma slični onima dobijenim upotrebom podataka sa istog servisa kada je preferirana najbrža ruta. Razlika koja je odmah uočljiva je to da je većina vrednosti u pogledu procenta dostava realizovanih u roku marginalno viša u odnosu na one dobijene upotrebom najkraće rute, što indikuje realno postojanje razlika u planiranju putanja u okviru ovog servisa. Takođe, primetno je i to da u okviru simulacionih modela razvjenih na osnovu

Tabela. 5.5 *HERE Routing* (najbrža ruta) - post hoc analiza, sumarni prikaz

Grad	Scenario / Profil	Broj realizovanih dostava			Procenat realizovanih dostava u roku		
		A-B	K-B	K-A	A-B	K-B	K-A
Kopenhagen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Pariz	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2	H2a	H2	H2a	H2a
	Stvarni	H2	H2	H2	H2a	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
Minhen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Beograd	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2a	H2	H2	H2

podataka dobijenih putem ovog servisa i ove vrste planiranja ne postoje značajne razlike u efikasnosti dostavnih sredstava kada je u pitanju fleksibilni scenario dostave za grad Minhen.

Prilikom razmatranja prikazanih rezultata je, kao što je i sugerisano u diskusiji, bitno u obzir uzeti ne samo njihovu statističku značajnost već i potencijalne efekte koji bi mogli da

Tabela. 5.6 *HERE Routing* (najkraća ruta) - post hoc analiza, sumarni prikaz

Grad	Scenario / Profil	Broj realizovanih dostava			Procenat realizovanih dostava u roku		
		A-B	K-B	K-A	A-B	K-B	K-A
Kopenhagen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Pariz	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Minhen	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2a	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2	H2	H2	H2
Beograd	Fleksibilni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Standardni	H1a	H1a	H1a	H1	H1a	H1a
	Isti dan	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a	H1a
	Nizak	H2a	H2a	H2a	H2	H2	H2
	Stvarni	H2	H2	H2	H2	H2a	H2a
	Uniformni	H2	H2	H2a	H2	H2	H2

se ostvare u realnim sistemima koji funkcionišu u uslovima sličnim onima koji su simulirani, te proceniti koje dostavno sredstvo ima najviše smisla u svetlu postojećih poslovnih ciljeva. Ovo je zadatak donosioca odluka u organizacijama koje žele ili planiraju da implementiraju sisteme slične onima opisanim u disertaciji, a prilikom donošenja odluke će obično biti neophodno sagledati različite aspekte koji ne moraju nužno da budu direktno vezani isključivo za efikasnost dostavljača. U slučaju sličnih performansi dostavnih sistema trebalo razmotriti i dodatne faktore kao što su navike stanovnika grada u kojem sistem funkcioniše ili potencijalnog uticaja na zaštitu životne sredine (a posledično i reputaciju organizacije).

6

Zaključci i pravci budućih istraživanja

Istraživanje prikazano u okviru disertacije ima za cilj da popuni prazninu koja postoji u pogledu modela koji verodostojno simuliraju ponašanje sistema u kojima su dostavni procesi potpuno izmešteni (to jest kada se radi o čistoj *crowdsourced* dostavi pošiljaka) i da oceni efikasnost različitih dostavnih sredstava u uslovima urbanih metropola posmatranih kroz ključne indikatore performansi u obliku broja realizovanih dostava i procenta dostava realizovanih u roku.

Pregledom relevantne literature ustanovljeno je da postojeći modeli simulacija *crowdsourced* dostave ne uzimaju u obzir realne uslove u saobraćaju (već kretanje dostavljača kroz korisničku mrežu aproksimiraju i tretiraju kao konstantno) i da ne razmatraju upotrebu isključivo bicikla kao dostavnog sredstva koje dostavljači koriste. Takođe, utvrđeno je da *crowdsourcing* kao model izmeštanja poslovnih procesa postaje sve popularniji u savremeno doba (budući da je tehničko-tehnološki razvoj znatno pojednostavio spajanje učesnika na strani ponude i na strani potražnje na tržištu) i da mnoge vodeće svetske organizacije u domenu maloprodaje eksperimentišu sa njegovom upotrebom. Ovaj trend, uparen sa globalnim naporima da se smanji emisija štetnih izduvničkih gasova i da se promoviše zdrav način života koji podrazumeva više fizičkih aktivnosti, dodatno ukazuje na potrebu razvoja verodostojnih simulacionih modela pomoću kojih je moguće ispitati efekte upotrebe različitih dostavnih sredstava u urbanim okruženjima na efikasnost dostave, kako bi se postojeći poslovni procesi unapredili i učinili troškovno efikasnijim i odgovornijim po pitanju uticaja na prirodno okruženje.

Na osnovu prikazanih analiza rezultata koji su dobijeni kroz simulacione modele, može se zaključiti da različiti scenariji dostave i oscilacije u potražnji mogu značajno da utiču na efikasnost različitih tipova transportnih sredstava, ali da se veličina uticaja razlikuje

između gradova – sugerišući da razvijenost biciklističke infrastrukture i navike stanovništva u pogledu transportnih sredstava koja dominantno koriste mogu da budu bitni faktori koji doprinose rezultatima. Intuitivno ovo ima dosta smisla, a posebno kada se posmatraju rezultati dobijeni upotrebom *Google Directions* servisa na osnovu kojih se može zaključiti da je u analiziranim gradovima u zemljama koje važe za "biciklističke" (Pariz i Kopenhagen) upotreba bicikala kao jedinog sredstva dostave rezultovala u značajno boljim performansama posmatranih indikatora (posebno u pogledu procenta dostava realizovanih u roku) u odnosu na upotrebu isključivo automobila ili kombinacije prevoznih sredstava, ali su neophodna dodatna istraživanja koja bi ovu intuitivnu interpretaciju definitivno potvrdila ili opovrgla.

Istovremeno, istraživanje sprovedeno u okviru disertacije je otkrilo da upotreba različitih izvora podataka o realnim uslovima u saobraćaju može značajno da utiče na dobijene vrednosti ključnih indikatora performansi ostvarenih pod različitim uslovima, pošto oni nisu uvek u saglasnosti i da i same korporacije koje te podatke pružaju navode da konstantno rade na unapređenju pristupa za poboljšanje njihove preciznosti. Budući da su simulacije po svojoj prirodi uprošćeni modeli realnih sistema koji ne mogu da obuhvate sve relevantne faktore i veličine koji su prisutni u stvarnosti, prilikom interpretacije rezultata uvek treba na umu imati ograničenja pod kojima su simulacioni modeli razvijani i kad god je to moguće uključiti domenske eksperte koji na osnovu svog iskustva mogu da doprinesu donošenju ispravnih zaključaka i kvalitetnijih poslovnih odluka.

Uzimajući u obzir sva ograničenja istraživanja, rezultati doktorske disertacije ukazuju na to da efikasnost dostave u simuliranim uslovima često zavisi od vrste dostavnog sredstva koja se koriste i da je opravdano ozbiljno razmotriti mogućnost upotrebe bicikala kao jedinog tipa dostavljačkih sredstava u realnim sistemima što može rezultovati u različitim merljivim benefitima. Sa stanovišta organizacija koje nude dostavu ovom vrstom dostavnog sredstva, upotreba bicikala od strane dostavljača može da doprinese smanjenju ukupnih troškova dostave budući da su troškovi amortizacije, upotrebe i održavanja asocirani sa biciklima značajno manji od onih asociranih sa automobilima (ne postoji trošak goriva, jeftinije je održavanje a i nije potrebno plaćati dosta često skup parking u centralnim gradskim zonama) te je realno za očekivati da i sami troškovi dostave koji se realizuju njima budu manji. Pored toga, posebno u oblastima koje imaju razvijenu biciklističku infrastrukturu može da se očekuje efikasnija dostava u smislu dostave pošiljaka na vreme, što bi trebalo da dovede do većeg poverenja krajnjih kupaca u organizaciju koja vrši dostavu i posledično tome rast baze klijenata. U istom kontekstu, sa stanovišta krajnjih korisnika, usluga dostave postaje kvalitetnija a samim tim i njihovo zadovoljstvo veće. Iz perspektive dostavljača, *crowdsourced*

dostava može da predstavlja odličan izvor dodatnih prihoda ili čak u nekim slučajevima i osnovnih prihoda. Sa aspekta država u okviru kojih se ovakvi sistemi implementiraju, ukoliko su u pitanju zemlje članice Evropske unije oni direktno doprinose ispunjenju kreiranih strategija tako što omogućuju rast zaposlenosti i otvaranje novih radnih mesta (konkretno, EU Cycling Strategy predviđa rast poslova u biciklističkoj ekonomiji sa 650,000 iz 2017. godine na 875,000 do 2030. godine [116]). Na kraju, ali ne i najmanje bitno, ne sme se zanemariti ni pozitivan uticaj na okruženje dostavnih sistema koji su bazirani na biciklima i koji su po svojoj prirodi u skladu sa inicijativama da se redukuje emisija CO_2 , kao i sa onima koje se odnose na prestanak prodaje vozila na fosilna goriva do 2030 godine u nekim zemljama [117].

Pravci budućih istraživanja

U svetlu prikazanih rezultata i ograničenja istraživanja sprovedenog u okviru doktorske disertacije, moguće je identifikovati nekoliko pravaca budućih istraživanja koji bi trebalo da dovedu do još preciznijih simulacionih modela i verodostojnijih rezultata, kao i da otvore vrata dubljem razumevanju uticaja *crowdsourced* dostavnih sistema (posebno onih u kojima se bicikla koriste kao dostavna sredstva) na okruženje.

Jedan od prvih pravaca bi mogao da se odnosi na prikupljanje i sistematizaciju empirijskih podataka o potražnji za uslugama dostave (manjih paketa koje je moguće prevesti i biciklom) te njihovu generalizaciju i modelovanje za različite vremenske periode, regione i/ili grane industrije. Ovo ne predstavlja nimalo jednostavan zadatak s obzirom na broj i raznolikost organizacija koje nude dostavu u savremenim urbanim sredinama, kao ni usled činjenice da su primarni izvori ovakve vrste podataka postojeće kurirske službe koje po pravilu koriste namenska dostavljačka sredstva i često čuvaju podatke o kretanju potražnje kao poslovnu tajnu. Slično istraživanje je neophodno i kada je u pitanju raspoloživost *crowdsourced* dostavljača, posebno kada se radi o onima koji bi bili voljni da koriste isključivo bicikli kao prevozno sredstvo. U okviru takvog istraživanja bi bilo korisno istovremeno ispitati i uticaj vremenskih prilika ili godišnjih doba na njihovu raspoloživost (moguće je da se u nekim zemljama bicikla kao prevozna sredstva koriste dominantno u periodima kada su vremenske prilike povoljne), kao i faktore koji mogu da utiču na njihovu odluku da izvršavaju više od jedne dostave.

Još jedan bitan pravac budućih istraživanja bi mogao da bude ispitivanje ponašanja kompleksnijih sistema, kao što su oni u kojima dostavna jedinica nije centralizovana već ih postoji više u okviru posmatranog urbanog područja, onih u kojima dostavljači istovremeno mogu

da nose više od jedne pošiljke i da u okviru jednog putovanja vrše višestruke dostave, kao i onih u kojima je moguća razmena pošiljaka između dostavljača. Takođe, bilo bi značajno detaljnije ispitati uzroke razlika u podacima o realnim i očekivanim uslovima u saobraćaju dobijenih putem različitih servisa, a bilo bi interesantno i sprovesti studiju u okviru koje će se klasifikovati različiti tipovi vozača bicikala kako bi procene o neophodnom vremenu putovanja mogle da se načine preciznije.

Konačno, buduća istraživanja treba da obuhvate i analize pozitivnih efekata koji se ostvaruju smanjenjem upotrebe motornih vozila u oblasti očuvanja životne sredine, gde bi trebalo ispitati uštede u emisiji štetnih izduvnih gasova koje se ostvaruju upotrebom bicikala kao dostavnih sredstava umesto automobila u urbanim sredinama, a bilo bi veoma korisno istražiti i potencijalno pozitivan uticaj značajnije upotrebe ovog vida dostave na zdravlje dostavljača.

Literatura

- [1] T. Lam and C. Li, "Crowdsourced delivery," 2015.
- [2] W. J. T. C. J. G. Rob Wolleswinkel, Vladimir Lukic and S. Banerjee, *An Onslaught of New Rivals in Parcel and Express*, April 12, 2018 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.bcg.com/publications/2018/onslaught-new-rivals-parcel-and-express.aspx>.
- [3] M. D. Rossetti, *Simulation modeling and Arena*. John Wiley & Sons, 2015.
- [4] D. Dupljanin, M. Mirkovic, S. Dumnica, D. Culibrk, S. Milisavljevic, and D. Sarac, "Urban crowdsourced last mile delivery: mode of transport effects on fleet performance," *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 18, no. 3, pp. 441–452, 2019.
- [5] *Global Bicycle Cities Index 2019*, 2019 (pristupljeno 2019.). <https://www.coya.com/bike/index-2019>.
- [6] C. C. Murray and A. G. Chu, "The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 54, pp. 86–109, 2015.
- [7] D. P. Release, *DHL crowd sources deliveries in Stockholm with MyWays*, 09/03/2013 (pristupljeno 2019.). https://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2013/logistics/dhl_crowd_sources_deliveries_in_stockholm_with_myways.html#.XQeRtvakqmR.
- [8] Escher, *Preparing to Compete with Amazon*, 2019 (pristupljeno novembar 2020.). <https://www.eschergroup.com/blog/preparing-to-compete-with-amazon/>.
- [9] A. Gómez, *9 trends in last mile e-commerce delivery*, 2018 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.ecommerce-nation.com/trends-last-mile-e-commerce-delivery/>.
- [10] J. Howe, "The rise of crowdsourcing," *Wired magazine*, vol. 14, no. 6, pp. 1–4, 2006.
- [11] S. Ogilvie, *Words of the world: A global history of the Oxford English Dictionary*. Cambridge University Press, 2013.
- [12] E. K. M. L. D. W. David P. Anderson, Jeff Cobb, "Seti@home: an experiment in public-resource computing," *Communications of the ACM*, vol. 45, no. 11, pp. 56–61, 2002.
- [13] P. Murray, *The saga of Sydney Opera House: the dramatic story of the design and construction of the icon of modern Australia*. Routledge, 2003.

- [14] A. Kittur, B. Suh, B. A. Pendleton, and E. H. Chi, "He says, she says: conflict and coordination in wikipedia," in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 453–462, ACM, 2007.
- [15] J. Cramer and A. B. Krueger, "Disruptive change in the taxi business: The case of uber," *American Economic Review*, vol. 106, no. 5, pp. 177–82, 2016.
- [16] A. Kittur, E. H. Chi, and B. Suh, "Crowdsourcing user studies with mechanical turk," in *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 453–456, ACM, 2008.
- [17] J. Choy, N. L. Ma, and P. S. Koo, "Performance measurement design for a parcel delivery company," 2013.
- [18] R. Caridade, T. Pereira, L. P. Ferreira, and F. Silva, "Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1096–1103, 2017.
- [19] H. L. Yee and D. Daud, "Measuring customer satisfaction in the parcel service delivery: A pilot study in malaysia," *Business and Economic Research*, vol. 1, no. 1, 2011.
- [20] Y. Wang, D. Zhang, Q. Liu, F. Shen, and L. H. Lee, "Towards enhancing the last-mile delivery: An effective crowd-tasking model with scalable solutions," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 93, pp. 279–293, 2016.
- [21] X. Feng, Z. Ruan, X. Zhu, and L. Zhang, "Multi-objective transport network design with a reversible simulated annealing algorithm," *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 13, no. 4, 2018.
- [22] A. Giret, C. Carrascosa, V. Julian, M. Rebollo, and V. Botti, "A crowdsourcing approach for sustainable last mile delivery," *Sustainability*, vol. 10, no. 12, p. 4563, 2018.
- [23] PWC, *Global Consumer Insights Survey*, 2018 (pristupljenin februar 2019.). <https://www.pwc.com/gx/en/industries/consumer-markets/consumer-insights-survey.html>.
- [24] J.-F. Rougès and B. Montreuil, "Crowdsourcing delivery: New interconnected business models to reinvent delivery," in *1st international physical internet conference*, pp. 1–19, 2014.
- [25] J. C. de Freitas and P. H. V. Penna, "A variable neighborhood search for flying sidekick traveling salesman problem," *International Transactions in Operational Research*, vol. 27, no. 1, pp. 267–290, 2020.
- [26] M. Janjevic, M. Winkenbach, and D. Merchán, "Integrating collection-and-delivery points in the strategic design of urban last-mile e-commerce distribution networks," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 131, pp. 37–67, 2019.
- [27] C. P. Lamberton and R. L. Rose, "When is ours better than mine? a framework for understanding and altering participation in commercial sharing systems," *Journal of Marketing*, vol. 76, no. 4, pp. 109–125, 2012.

- [28] A. Sundararajan, *The sharing economy: The end of employment and the rise of crowd-based capitalism*. Mit Press, 2016.
- [29] L. Gansky, *The mesh: Why the future of business is sharing*. Penguin, 2010.
- [30] M. Dufva, R. Koivisto, L. Ilmola-Sheppard, and S. Junno, "Anticipating alternative futures for the platform economy," *Technology Innovation Management Review*, vol. 7, no. 9, pp. 6–16, 2017.
- [31] H. Aguinis and S. O. Lawal, "elancing: A review and research agenda for bridging the science–practice gap," *Human Resource Management Review*, vol. 23, no. 1, pp. 6–17, 2013.
- [32] R. Botsman and R. Rogers, *What's mine is yours: how collaborative consumption is changing the way we live*, vol. 5. Collins London, 2011.
- [33] D. Mulcahy, *Collaborative Economy*, October 27, 2016 (pristupljeno maj 2020.). [WhoWinsintheGigEconomy,andWhoLoses](#).
- [34] E. Istrate and J. Harris, "The future of work: The rise of the gig economy," *National Association of Counties*, November, 2017.
- [35] J. Miguel Rodriguez-Anton, M. del Mar Alonso-Almeida, L. Rubio-Andrada, and M. S. Celemin Pedroche, "Collaborative economy. an approach to sharing tourism in spain," *Ciriec-Espana Revista De Economia Publica Social Y Cooperativa*, vol. 88, pp. 259–283, 2016.
- [36] S. Ganapati and C. G. Reddick, "Prospects and challenges of sharing economy for the public sector," *Government Information Quarterly*, vol. 35, no. 1, pp. 77–87, 2018.
- [37] C. Lin, K. L. Choy, G. T. Ho, H. Lam, G. K. Pang, and K.-S. Chin, "A decision support system for optimizing dynamic courier routing operations," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 15, pp. 6917–6933, 2014.
- [38] *THE FUTURE OF FULFILLMENT VISION STUDY*, 2020 (pristupljeno 2020.). https://www.zebra.com/content/dam/zebra_new_ia/en-us/solutions-verticals/vertical-solutions/retail/vision-study/fulfillment-vision-study-report-en-us.pdf.
- [39] *Us-retail-e-commerce-sales-forecas*, 2020 (pristupljeno april 2020.). <https://www.statista.com/statistics/272391/us-retail-e-commerce-sales-forecast/>.
- [40] A. ebay same day, *Amazon ebay same day*, (pristupljeno maj 2020.). <https://clark.com/technology/amazon-ebay-testing-same-day-delivery/>.
- [41] G. same day, *Google same day*, (pristupljeno maj 2020.). <https://phys.org/news/2013-03-google-same-day-delivery.html>.
- [42] J. Roskopp, *fedex walmar same day*, (pristupljeno maj 2020.). <https://www.ksat.com/tech/2019/02/28/fedex-testing-robots-that-will-deliver-goods-from-walmart-target-and-pizza-hut/>.

- [43] B. Straight, *Autonomous vehicles, crowdsourcing, drones and even humans are all seeking a place at the last-mile table*, 09/04/2018 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.freightwaves.com/news/technology/last-mile-delivery-in-search-of-solutions>.
- [44] O. my way Amazon, *On my way Amazon*, 2018 (pristupljeno maj 2020.). <https://www.businessinsider.com/amazon-on-my-way-delivery-service-could-crowdsource-deliveries-2015-6/>.
- [45] *Dhl crowdsources deliveries in Stockholm with myways*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). https://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2013/logistics/dhl_crowd-sources_deliveries_in_stockholm_with_myways.html#.XokB13KxWUI.
- [46] I. P. Corporation, *Postal Sector Sustainability Report*, 2009, Belgium.
- [47] E. Communities, *Sustainable development in the European Union. Monitoring report of the EU sustainable development strategy*, 2009, Belgium.
- [48] I. P. Corporation, *Postal Sector Sustainability Report*, 2013.
- [49] I. P. Corporation, *Postal Sector Sustainability Report*, 2016.
- [50] Đ. Dupljanin, T. Savković, S. Dumnić, M. Miličić, and M. Marčeta, "The study of co2 emissions for postal traffic vehicles in the territory of vojvodina," *Put i saobraćaj*, vol. 63, no. 2, pp. 49–53, 2017.
- [51] *Myclimate*, (pristupljeno februar 2021.). <https://www.myclimate.org/aboutus/portrait/>.
- [52] *Sve o zagađenju u gradovima*, (pristupljeno februar 2021.). <http://www.oryx-asistencija.hr/pomoc-nacesti/sve-o-zagadenju-u-gradovima-6572>.
- [53] *DoorDash*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.doordash.com/en-US>.
- [54] *Postmates*, 2020 (pristupljeno jul 2019.). <https://postmates.com/>.
- [55] *Kanga*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.getkanga.com/>.
- [56] *Hitch*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <http://www.hitchit.com/>.
- [57] *UberEats*, 2020 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.ubereats.com>.
- [58] *Roadie*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.roadie.com/>.
- [59] *Nimber*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.nimber.com/>.
- [60] *UberFreight*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.uber.com/us/en/freight/>.
- [61] *BuddyTruk*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.buddytruk.com/>.
- [62] *Truxx*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://truxxit.com/>.
- [63] *Deliv*, 2020 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.deliv.co/>.
- [64] *Shipt*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.shipt.com/n>.

- [65] *Instacart*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.instacart.com/>.
- [66] A. Alnaggar, F. Gzara, and J. H. Bookbinder, "Crowdsourced delivery: A review of platforms and academic literature," *Omega*, p. 102139, 2019.
- [67] *PiggyBee*, 2014/2015 (pristupljeno jul 2019.). <https://www.piggybee.com/en/>.
- [68] K. K. Boyer, A. M. Prud'homme, and W. Chung, "The last mile challenge: evaluating the effects of customer density and delivery window patterns," *Journal of business logistics*, vol. 30, no. 1, pp. 185–201, 2009.
- [69] A. M. Campbell and M. W. Savelsbergh, "Decision support for consumer direct grocery initiatives," *Transportation Science*, vol. 39, no. 3, pp. 313–327, 2005.
- [70] M. Gendreau, F. Guertin, J.-Y. Potvin, and R. Séguin, "Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 14, no. 3, pp. 157–174, 2006.
- [71] R. Bent and P. Van Hentenryck, "A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows," *Computers & Operations Research*, vol. 33, no. 4, pp. 875–893, 2006.
- [72] T. Rajapakshe, M. Dawande, S. Gavirneni, C. Sriskandarajah, and P. R. Panchalavarapu, "Dedicated transportation subnetworks: Design, analysis, and insights," *Production and Operations Management*, vol. 23, no. 1, pp. 138–159, 2014.
- [73] H. Andersson, A. Hoff, M. Christiansen, G. Hasle, and A. Løkketangen, "Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing," *Computers & Operations Research*, vol. 37, no. 9, pp. 1515–1536, 2010.
- [74] A. Hoff, H. Andersson, M. Christiansen, G. Hasle, and A. Løkketangen, "Industrial aspects and literature survey: Fleet composition and routing," *Computers & Operations Research*, vol. 37, no. 12, pp. 2041–2061, 2010.
- [75] C. Archetti, M. Savelsbergh, and M. G. Speranza, "The vehicle routing problem with occasional drivers," *European Journal of Operational Research*, vol. 254, no. 2, pp. 472–480, 2016.
- [76] D. Soto Setzke, C. Pflügler, M. Schreieck, S. Fröhlich, M. Wiesche, and H. Krcmar, "Matching drivers and transportation requests in crowdsourced delivery systems," 2017.
- [77] A. M. Arslan, N. Agatz, L. Kroon, and R. Zuidwijk, "Crowdsourced delivery—a dynamic pickup and delivery problem with ad hoc drivers," *Transportation Science*, vol. 53, no. 1, pp. 222–235, 2018.
- [78] A. M. Arslan, N. Agatz, L. Kroon, and R. Zuidwijk, "Crowdsourced delivery—a dynamic pickup and delivery problem with ad hoc drivers," *Transportation Science*, vol. 53, no. 1, pp. 222–235, 2019.
- [79] I. Dayarian and M. Savelsbergh, "Crowdshipping and same-day delivery: Employing in-store customers to deliver online orders," *Optimization Online*, pp. 07–6142, 2017.

- [80] N. Kafle, B. Zou, and J. Lin, "Design and modeling of a crowdsourcing-enabled system for urban parcel relay and delivery," *Transportation research part B: methodological*, vol. 99, pp. 62–82, 2017.
- [81] K. Gdowska, A. Viana, and J. P. Pedroso, "Stochastic last-mile delivery with crowdshipping," *Transportation Research Procedia*, vol. 30, pp. 90–100, 2018.
- [82] W. Qi, L. Li, S. Liu, and Z.-J. M. Shen, "Shared mobility for last-mile delivery: Design, operational prescriptions, and environmental impact," *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 20, no. 4, pp. 737–751, 2018.
- [83] A. Devari, A. G. Nikolaev, and Q. He, "Crowdsourcing the last mile delivery of online orders by exploiting the social networks of retail store customers," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 105, pp. 105–122, 2017.
- [84] N. Agatz, A. L. Erera, M. W. Savelsbergh, and X. Wang, "Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro atlanta," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 17, pp. 532–550, 2011.
- [85] M. Furuhata, M. Dessouky, F. Ordóñez, M.-E. Brunet, X. Wang, and S. Koenig, "Ridesharing: The state-of-the-art and future directions," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 57, pp. 28–46, 2013.
- [86] M. Stiglic, N. Agatz, M. Savelsbergh, and M. Gradisar, "The benefits of meeting points in ride-sharing systems," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 82, pp. 36–53, 2015.
- [87] N. Masoud and R. Jayakrishnan, "A real-time algorithm to solve the peer-to-peer ride-matching problem in a flexible ridesharing system," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 106, pp. 218–236, 2017.
- [88] B. Li, D. Krushinsky, T. Van Woensel, and H. A. Reijers, "An adaptive large neighborhood search heuristic for the share-a-ride problem," *Computers & Operations Research*, vol. 66, pp. 170–180, 2016.
- [89] T. Chabot, F. Bouchard, A. Legault-Michaud, J. Renaud, and L. C. Coelho, "Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 110, pp. 1–14, 2018.
- [90] S. Pan, C. Chen, and R. Y. Zhong, "A crowdsourcing solution to collect e-commerce reverse flows in metropolitan areas," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1984–1989, 2015.
- [91] E. Fatnassi, J. Chaouachi, and W. Klibi, "Planning and operating a shared goods and passengers on-demand rapid transit system for sustainable city-logistics," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 81, pp. 440–460, 2015.
- [92] R. Masson, A. Trentini, F. Lehuédé, N. Malhéné, O. Péton, and H. Tlahig, "Optimization of a city logistics transportation system with mixed passengers and goods," *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 6, no. 1, pp. 81–109, 2017.

- [93] A. Mourad, J. Puchinger, and C. Chu, "A survey of models and algorithms for optimizing shared mobility," *Transportation Research Part B: Methodological*, 2019.
- [94] S. Banerjee, C. Riquelme, and R. Johari, "Pricing in ride-share platforms: A queueing-theoretic approach," *Available at SSRN 2568258*, 2015.
- [95] J. C. Castillo, D. Knoepfle, and G. Weyl, "Surge pricing solves the wild goose chase," in *Proceedings of the 2017 ACM Conference on Economics and Computation*, pp. 241–242, 2017.
- [96] V. E. Castillo, J. E. Bell, W. J. Rose, and A. M. Rodrigues, "Crowdsourcing last mile delivery: strategic implications and future research directions," *Journal of Business Logistics*, vol. 39, no. 1, pp. 7–25, 2018.
- [97] B. S. Blanchard, W. J. Fabrycky, and W. J. Fabrycky, *Systems engineering and analysis*, vol. 4. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1990.
- [98] R. G. Sargent, "Verification and validation of simulation models," in *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, pp. 166–183, IEEE, 2010.
- [99] *NYC TLC 2014*, (pristupljeno novembar 2018.). https://www1.nyc.gov/assets/tlc/downloads/pdf/2014_tlc_factbook.pdf.
- [100] J. Pucher and R. Buehler, "At the frontiers of cycling. policy innovations in the netherlands, denmark, and germany.," 2007.
- [101] J. Larsen, "The making of a pro-cycling city: Social practices and bicycle mobilities," *Environment and planning A*, vol. 49, no. 4, pp. 876–892, 2017.
- [102] J. Pucher and R. Buehler, "Cycling for everyone: lessons from europe," *Transportation research record*, vol. 2074, no. 1, pp. 58–65, 2008.
- [103] *Direction API*, 2019 (pristupljeno 2019.). https://developers.google.com/maps/documentation/directions/overview?_ga=2.176161452.848070205.1598261328-1566244871.1519210427&_gac=1.128190974.1598261329.CjwKCAjwyo36BRAXEiwA24CwGbH2jFiBpMMDg6dLgeXXfE4MJqAgbImFyvNi_KhnDV__zD8AVy37DxoCCnoQAvD_BwE.
- [104] H. maps, *Guide Routing API v7*, (pristupljeno maj 2020.). https://developer.here.com/documentation/routing/dev_guide/topics/what-is.html.
- [105] E. Betters, *Want to know how Google Maps calculates ETA? Ex-Googler reveals all*, (pristupljeno februar 2021.). <https://www.pocket-lint.com/apps/news/google/126071-want-to-know-how-google-maps-calculates-eta-ex-googler-reveals-all>.
- [106] *Simon Weckert. Google Maps Hacks*, (pristupljeno mart 2021.). <https://www.les-nouveaux-riches.com/simon-weckert-google-maps-hacks-berlin/>.
- [107] M. Wallin, *Traffic Data, Route Planning, and ETA: How Google Maps Predicts Travel Time*, (pristupljeno februar 2021.). <https://www.verizonconnect.com/resources/article/google-maps-travel-time/>.

- [108] Adrian, *How accurate are Google Maps cycling time estimates?*, (pristupljeno februar 2021.). <http://www.betterbybicycle.com/2014/09/how-accurate-are-google-maps-cycling.html>.
- [109] Here, *RoutingModeType*, (pristupljeno februar 2021.). https://developer.here.com/documentation/routing/dev_guide/topics/resource-param-type-routing-mode.html.
- [110] Here, *Effect of Elevation on Bicycle Speed*, (pristupljeno februar 2021.). https://developer.here.com/documentation/routing/dev_guide/topics/example-bicycle-route-speed-depends-on-slope.html.
- [111] *INRIX 2019 Global Traffic Scorecard*, (pristupljeno februar 2021.). <https://inrix.com/scorecard/>.
- [112] J. Pallant, *SPSS survival manual*. McGraw-Hill Education (UK), 2013.
- [113] *Tukey Test / Tukey Procedure / Honest Significant Difference*, (pristupljeno avgust 2020.). <https://www.statisticshowto.com/tukey-test-honest-significant-difference/>.
- [114] *A Comparison of Effect Size Statistics*, (pristupljeno avgust 2020.). <https://www.theanalysisfactor.com/effect-size/>.
- [115] *Statističke tehnike za poređenje grupa*, (pristupljeno februar 2021.). http://www.mikroknjiga.rs/Knjige/SPS6/Deo%20V_SPS6.pdf.
- [116] E. C. Federation, *Recommendations for Delivering Green Growth and an Effective Mobility System in 2030.*, 2018 (pristupljeno 2019.). https://ecf.com/sites/ecf.com/files/EUCS_Summary_small_file.pdf.
- [117] D. government, *Stop selling new petrol and diesel-fuelled cars by 2030, Danish government*, 2018 (pristupljeno 2019.). <https://www.thelocal.dk/20181004/stop-selling-new-petrol-and-diesel-fuelled-cars-by-2030-danish-government>.

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Развој симулационих модела доставе пошљака у складу са концептом измештања пословних процеса
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
1. Опис података
<p><i>1.1 Врста студије</i></p> <p><i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i></p> <p>У овој студији нису прикупљани подаци. Сервиси који су коришћени као извор оперативних података у истраживању у склопу услова коришћења забрањују складиштење и даљу дистрибуцију података које обезбеђују.</p> <p><i>1.2 Врсте података</i></p> <p>а) квантитативни б) квалитативни</p> <p><i>1.3. Начин прикупљања података</i></p> <p>а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____</p>

- г) административни подаци: навести врсту _____
- д) узорци ткива: навести врсту _____
- ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____
- е) текст, навести врсту _____
- ж) мапа, навести врсту _____
- з) остало: описати _____

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека _____
- б) SPSS фајл, датотека _____
- в) PDF фајл, датотека _____
- г) Текст фајл, датотека _____
- д) JPG фајл, датотека _____
- е) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли _____
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) _____

1.3.3. Поновљена мерења

- а) да
- б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

a) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип _____

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, навести тип _____

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да Не

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у _____ репозиторијум.

3.1.2. URL адреса _____

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- a) Да
- б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____
- в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2. Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? _____

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

- а) јавно доступни
- б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области
- ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима
