

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

Марина М. Миленковић

**МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ЗА ПОДРШКУ  
ОДЛУЧИВАЊУ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА СИСТЕМА ЗА  
НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ**

Докторска дисертација

Београд, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC  
ENGINEERING

Marina M. Milenković

**METHODOLOGICAL DECISION-SUPPORT  
FRAMEWORK FOR SELECTING THE ROAD TOLL  
COLLECTION SYSTEM**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020.

**Ментор**

**др Драженко Главић**, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

**Чланови комисије**

**др Драженко Главић**, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

**др Владан Тубић**, редовни професор  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

**др Бранка Димитријевић**, редовни професор  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

**др Милош Николић**, доцент  
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

**PhD Milos Mladenovic**, Assistant Professor  
Aalto University, Department of Built Environment

Датум одбране: \_\_\_\_\_

---

---

## МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ

**Сажетак:** У дисертацији су разматрани проблеми комерцијалне експлоатације друмске инфраструктуре који се односе на избор одговарајућег система за наплату путарине, оптимизацију рада наплатних станица и дефинисање одговарајуће тарифне политике. При томе су развијени одговарајући модели уз помоћ којих се обезбеђује ефикасно функционисање службе за наплату путарине са једне стране и захтевани ниво услуге корисника са друге стране. Применом развијених модела и добијених резултата доносиоцима одлука се даје аргументована подршка при одлучивању о избору система за наплату путарине.

Једно од кључних питања у планирању наплате путарине је избор одговарајућег система. Проблем избора система за наплату путарине може се јавити на мрежи у два случаја – када је постојећи систем потребно заменити новим или када је за новоизграђени пут потребно изабрати одговарајући систем наплате. С обзиром да постоји више система за наплату путарине, са одређеним предностима и недостацима, као и да приликом одлучивања постоји низ често конфликтних критеријума, овај проблем припада групи проблема вишеатрибутивног одлучивања (MADM). Методологија заснована на MADM која је коришћена у дисертацији обједињује SWOT анализу и F-PROMETHEE методу. Методолошки оквир за подршку одлучивању заснован на оценама експерата укључује процедуру за дефинисање критеријума одлучивања, њихових тежина, бодовање алтернатива и анализу осетљивости. За новоизграђени аутопут, предложени методолошки оквир тестиран је са четрнаест система за наплату путарине. Добијени резултати показују да је најбоље рангирани систем за наплату путарине систем заснован на вишетрачном слободном протоку који функционише уз помоћ наменске комуникације кратког домета (DSRC MLFF).

Услед неповољних режима рада мотора возила у утицајним зонама наплатних станица, као и због присуства интензивних саобраћајних токова са великим уделом комерцијалних возила, наплатне станице представљају локације са повећаном емисијом штетних гасова. С обзиром да негативни еколошки утицај представља један од важних критеријума приликом избора одговарајућег система за наплату путарине, у оквиру дисертације спроведена су мерења на терену уз помоћ којих су квантификоване емисије штетних гасова репрезентативних категорија возила при коришћењу различитих система за наплату путарине. Развијени модели су потом примењени у студији случаја наплатних станица у Републици Србији, како би се квантификовале еколошке уштеде које се могу остварити преласком са постојећих на напредне системе за наплату путарине. Добијени резултати показују да се коришћењем система заснованог на вишетрачном слободном протоку (MLFF), у односу на мануелни систем (MS), могу постићи смањења емисије CO<sub>2</sub> у опсегу од 25% до 45% и NO<sub>x</sub> у опсегу од 32% до 98%, у зависности од врсте возила и разматраног сценарија. Студија случаја наплатних станица у Републици Србије показала је да би се преласком са постојећих система на напредни MLFF систем на годишњем нивоу оствариле еколошке уштеде у опсегу од 1.349.862 € до 1.491.391 €.

С обзиром да се један од главних проблема неефикасног рада наплатне станице огледа у статичкој конфигурацији наплатних трака, у дисертацији је развијен модел којим се оптимизује рад наплатних трака у реалном времену. Предложени модел подразумева минимизацију трошкова службе за наплату путарине и трошкова корисника који се односе на трошкове времена путовања, потрошње горива и емисије полутаната. За решавање наведеног проблема предложена је примена Динамичког програмирања. Начин примене Динамичког програмирања демонстриран је у студији случаја наплатне станице у Републици Србији. Као излазни резултат утврђен је одговарајући број оперативних наплатних трака за часовне протоке возила у току меродавног дана, као и за

---

максималне годишње часовне протоке возила на разматраној наплатној станици у оба смера. На крају је спроведена прогноза саобраћајног оптерећења за период од десет година на основу које је утврђено да би 15% корисника мануелног система требало да пређе на коришћење електронског система за наплату путарине, да би се у наведеном периоду са постојећим капацитетом наплатне станице остварио захтевани ниво услуге. Већи ниво услуге подразумевао би додатно повећање учешћа корисника напредних система за наплату путарине.

Како се возачи који користе аутопутеве у Европи сусрећу са два различита концепта наплате путарине – заснованим на пређеним километрима (DB) и на одређеном временском периоду (TB), у дисертацији су анализирани њихове предности и недостаци. Истраживање ставова и искуства корисника спроведено је на подручју Северне Македоније, с обзиром да је ова земља тренутно у процесу унапређења свог застарелог система за наплату путарине и самим тим представља добру основу за наведену анализу. Приликом прикупљања података коришћен је метод анкете, док су у анализи података примењене методе дескриптивне и аналитичке статистике, као и моделирање структурних једначина (SEM). Резултати показују да је TB концепт боље решење за дневне кориснике, док је DB концепт погоднији за месечне и годишње кориснике. Поред тога, у оквиру дисертације утврђено је да су учесталост коришћења аутопута и приход корисника предиктори са најјачим утицајем на максимално прихватљиву цену (MAP), како за DB тако и за TB концепт наплате. Такође, утврђено је да на MAP вредности утичу и претходна искуства корисника у погледу коришћења различитих технологија наплате путарине. Добијени резултати се могу користити као помоћ доносиоцима одлука приликом дефинисања одговарајућег концепта наплате путарине.

У дисертацији су на крају анализирани и фактори који утичу на спремност корисника да прихвате наплату загушења, с обзиром да успешна имплементација овог концепта у највећој мери зависи од подршке јавности. При томе је разматран утицај демографских и социоекономских карактеристика корисника, њихових навика у погледу коришћења централне градске зоне, перцепција о саобраћајним проблемима у централној градској зони, информисаности о концепту и ефектима наплате загушења, преференција према различитим политикама, као и њихових преференција у погледу расподеле прихода. Истраживање ставова корисника спроведено је у Београду. За прикупљање података коришћен је метод анкете, док су за развој одговарајућих модела примењени бинарна логистичка регресија и SEM анализа. Добијени резултати представљају смернице за доносиоце одлука приликом дефинисања адекватне политике наплате загушења.

**Кључне речи:** Комерцијална експлоатација друмске инфраструктуре, Наплата путарине, Наплата загушења, Управљање саобраћајним захтевима, Тарифна политика, Нове технологије

**Научна област:** Саобраћајно инжењерство

**Ужа научна област:** Експлоатација и управљање путевима

**УДК број:**

---

## METHODOLOGICAL DECISION-SUPPORT FRAMEWORK FOR SELECTING THE ROAD TOLL COLLECTION SYSTEM

**Abstract:** This dissertation considers the issues of the commercial exploitation of road infrastructure related to selecting the appropriate toll collection system, optimizing the toll plaza operation and defining the appropriate tariff policy. In the process, appropriate models were developed to ensure both the efficient operation of the toll collection service and the required level of service provided to users. The application of the developed models and obtained results provides support to decision makers when selecting the toll collection system.

One of the central decision-making questions in planning road tolling is the selection of the toll collection system (TCS). The question of TCS selection arises in the situation when the existing TCS is to be upgraded or when TCS is selected for a newly constructed road. Considering that there are multiple TCS available nowadays, with their particular advantages and disadvantages, and that there is a range of often conflicting criteria for TCS selection, this decision-making issue belongs to the group of Multi-attribute decision making (MADM) problems. The MADM-based methodology used in this dissertation integrates Strengths-Weakness-Opportunities-Threat (SWOT) analysis and Fuzzy Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (F-PROMETHEE). The expert-based decision support framework includes a procedure for defining evaluation criteria and their weights, scoring of alternatives, and sensitivity analysis. For the newly-constructed motorway, the suggested methodological framework was tested with fourteen toll collection systems. The obtained results show that the best-ranked toll collection system is the dedicated short-range communication multi-lane free flow system (DSRC MLFF).

Due to the unfavourable engine operating modes in the toll plaza impact zones, as well as due to the intensive traffic flows with a large share of commercial vehicles, toll plazas represent the locations with the increased emission of pollutants. Considering that the negative environmental impact is one of the important criteria when selecting the appropriate toll collection system, the dissertation includes the field measurement which quantified the exhaust emissions for the representative vehicle categories when using different tolling systems. The developed models were then applied in a case study of the toll plazas in the Republic of Serbia in order to quantify the environmental savings which can be obtained by shifting from traditional to advanced tolling systems. The obtained results show that the use of the MLFF system, compared to the MS, can achieve a reduction in CO<sub>2</sub> in the range of 25%–45% and the reduction in NO<sub>x</sub> in the range of 32%–98%, depending on the type of vehicle and the considered scenario. The case study of the tolling system in the Republic of Serbia has shown that moving from the existing to an advanced MLFF tolling system allows for annual ecological benefits ranging from €1,349,862 to €1,491,391.

Since one of the main issues of the ineffective toll plaza operation is related to the static configuration of toll lanes, the dissertation developed the model for optimizing toll lane operation in real time. The proposed model involved the minimization of the toll service costs and user costs related to the user travel time, fuel consumption and pollutant emission. The application of Dynamic programming was proposed to address this issue. The method of applying Dynamic programming was demonstrated by means of a case study of a toll plaza in the Republic of Serbia. The result was the appropriate numbers of operating toll lanes for the hourly vehicle flows during a representative day, as well as for the maximum annual hourly vehicle flows at the observed toll plaza in both directions. The paper also included the analysis of traffic flows for a 10-year period in order to define the tolling policy. The conducted analysis showed that for the 10-year period 15% of the users of the manual system should shift to the electronic toll collection system in order to achieve the required level of service with the existing toll plaza capacity. A higher level of service would require an additional increase in the share of the users of advanced toll collection systems.

---

Drivers who use motorways in Europe face two different tolling systems – distance-based (DB) and time-based (TB) road pricing. Therefore, the dissertation includes the analysis of the advantages and disadvantages of these two concepts. The research on user attitudes and experiences was conducted in the area of North Macedonia, since this country is currently undergoing the process of improving its outdated toll collection system and thus represents a good basis for the analysis. The data were collected by means of a questionnaire, while methods of descriptive and analytical statistics, as well as the structural equation modelling (SEM), were applied in the data analysis. The findings show that the TB concept is a better solution for daily users and the DB concept is more suitable for monthly and annual users. In addition, frequency of motorway usage and users' income were the strongest predictors for maximum acceptable price (MAP) values for both the TB and DB concept. MAP values were also influenced by users' previous experience related to pricing technology and consequent understanding of its characteristics. The obtained results can assist decision-makers in defining the suitable toll collection concept.

Finally, the dissertation contains the analysis of the factors affecting the willingness of users to accept congestion pricing, since the successful implementation of this concept primarily depends on public acceptance. In the process, the impact of the following features was considered: demographic and socio-economic characteristics of the users, their habits regarding the use of the central city zone, perception of traffic problems in the central city zone, familiarity with the concept of congestion pricing and its effects, preferences toward different policies, as well as their preferences toward revenue allocation. The research on users' attitudes was conducted in Belgrade. The data were collected using the method of a questionnaire, while the binary logistic regression and SEM analysis were used for developing suitable models. The obtained results represent guidelines for decision-makers when defining the congestion pricing policy.

**Key words:** Commercial exploitation of road infrastructure, Toll collection, Congestion pricing, Traffic demand management, Tariff policy, New technologies

**Scientific field:** Traffic Engineering

**Scientific subfield:** Exploitation and management of roads

**UDC number:**

---

## Садржај

<b>1. Увод</b> .....	<b>1</b>
1.1. Предмет и научни циљ истраживања .....	3
1.2. Основне хипотезе .....	3
1.3. Методе истраживања.....	3
1.4. Приказ садржаја докторске дисертације .....	4
<b>2. Систем за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине</b> .....	<b>5</b>
2.1. Опис проблема .....	5
2.2. Методологија .....	6
2.2.1. Систем за подршку одлучивању .....	6
2.2.1.1. Дефинисање алтернатива и критеријума .....	8
2.2.1.2. Одређивање тежина критеријума.....	8
2.2.1.3. Оцењивање алтернатива .....	9
2.2.1.4. Вредновање алтернатива .....	9
2.2.1.5. Анализа осетљивости решења .....	10
2.3. Примена система за подршку одлучивању .....	10
2.3.1. Опис алтернатива TCS .....	10
2.3.2. SWOT анализа алтернатива система наплате путарине .....	11
2.3.3. Групе и листа критеријума .....	15
2.3.4. Тежине критеријума.....	15
2.3.5. Оцењивање алтернатива и базна матрица улазних података.....	16
2.3.6. PROMETHEE I и II рангирање алтернатива .....	18
2.3.7. Анализа осетљивости решења.....	19
2.4. Дискусија.....	19
<b>3. Утврђивање ефеката система за наплату путарине на животну средину</b>	<b>21</b>
3.1. Опис проблема .....	21
3.2. Преглед литературе .....	23
3.3. Методологија .....	28
3.3.1. Опис мерне опреме и поступка истраживања .....	28
3.3.2. Избор меродавне наплатне станице за спровођење мерења .....	28
3.3.3. Дефинисање меродавних возила.....	29
3.3.4. Дефинисање процеса вожње у утицајним зонама наплатних станица.....	30
3.3.5. Поступак конверзије концентрације полутаната.....	32
3.3.6. Поступак прорачуна емисија полутаната у утицајној зони наплатне станице.....	33
3.3.7. Одређивање јединичних трошкова загађивача.....	34
3.3.8. Обрада података .....	34



---

3.4. Резултати .....	35
3.4.1. Емисија полутаната при коришћењу различитих система за наплату путарине .....	35
3.4.1.1. Емисија возила при процесу уласка у систем наплате путарине .....	35
3.4.1.2. Емисија возила при процесу изласка из система наплате путарине.....	37
3.4.2. Студија случаја емисије полутаната система за наплату путарине у Републици Србији.....	40
3.5. Дискусија.....	43
<b>4. Управљање радом наплатних трака применом система адаптивбилног управљања .....</b>	<b>45</b>
4.1. Опис проблема .....	45
4.2. Преглед литературе .....	46
4.3. Методологија .....	47
4.3.1. Модел минимизације трошкова корисника и службе за наплату путарине .....	47
4.3.2. Теорија масовног опслуживања .....	50
4.3.3. Динамичко програмирање .....	51
4.4. Студија случаја наплатне станице у Републици Србији .....	54
4.5. Дискусија.....	60
<b>5. Анализа временског и просторног тарифирања коришћења аутопута... 62</b>	<b>62</b>
5.1. Опис проблема .....	62
5.2. Преглед литературе .....	65
5.3. Методологија .....	65
5.3.1. Прикупљање података .....	65
5.3.2. Статистичка анализа .....	66
5.4. Резултати .....	67
5.4.1. Карактеристике узорка.....	67
5.4.2. Резултати анализе ДВ концепта наплате путарине.....	67
5.4.2.1. Резултати дескриптивне статистике .....	67
5.4.2.2. Резултати ANOVA .....	68
5.4.2.3. Резултати SEM анализе .....	69
5.4.3. Резултати анализе ТВ концепта наплате путарине .....	70
5.4.3.1. Резултати дескриптивне статистике .....	70
5.4.3.2. Резултати ANOVA анализе .....	71
5.4.3.3. Резултати SEM анализе .....	72
5.4.4. Анализа ДВ у односу на ТВ концепт наплате путарине .....	73
5.4.4.1. ДВ у односу на ТВ концепт на основу анализе ставова корисника .....	73
5.4.4.2. ДВ у односу на ТВ концепт на основу израчунатих MAP вредности.....	74
5.5. Дискусија.....	74

---

---

<b>6. Одређивање фактора који утичу на прихватљивост наплате загушења</b>	<b>76</b>
6.1. Опис проблема .....	76
6.2. Преглед литературе .....	78
6.3. Опис подручја истраживања .....	80
6.4. Методологија .....	81
6.4.1. Прикупљање података .....	81
6.4.2. Статистичка анализа .....	84
6.5. Резултати .....	85
6.5.1. Дескриптивна статистика и примена Хи-квадрат теста независности .....	85
6.5.2. Примена бинарне логистичке регресије.....	89
6.5.3. Примена SEM анализе .....	91
6.6. Дискусија.....	94
<b>7. Закључак.....</b>	<b>97</b>
<b>Литература.....</b>	<b>102</b>
<b>Биографија аутора .....</b>	<b>112</b>
Изјава о ауторству .....	113
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.....	114
Изјава о коришћењу .....	115

---

## Списак табела

<b>Табела 2.1.</b> Лингвистички изрази и одговарајући фази бројеви.....	8
<b>Табела 2.2.</b> Опис алтернатива TCS.....	10
<b>Табела 2.3.</b> SWOT матрица за алтернативе TCS.....	12
<b>Табела 2.4.</b> Групе и опис критеријума.....	15
<b>Табела 2.5.</b> Оцене тежина критеријума изражене лингвистичким изразима.....	16
<b>Табела 2.6.</b> Вредности тежина критеријума.....	16
<b>Табела 2.7.</b> Оцене доносилаца одлука за сваки TCS по критеријуму “Интероперабилност”.....	17
<b>Табела 2.8.</b> Матрица вредности алтернатива по критеријумима.....	17
<b>Табела 2.9.</b> Карактеристике дефинисаних критеријума.....	18
<b>Табела 2.10.</b> Ранг алтернатива на основу PROMETHEE методе.....	18
<b>Табела 2.11.</b> Интервали стабилности решења.....	19
<b>Табела 3.1.</b> Кључне карактеристике и резултати досадашњих истраживања.....	27
<b>Табела 3.2.</b> Техничке карактеристике тестираних путничких аутомобила.....	29
<b>Табела 3.3.</b> Техничке карактеристике тестираних комерцијалних возила.....	30
<b>Табела 3.4.</b> Време опслуге приликом узимања картице и плаћања путарине.....	33
<b>Табела 3.5.</b> Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и MLFF система при процесу уласка у MS систем наплате путарине.....	35
<b>Табела 3.6.</b> Упоредна анализа емисије полутаната применом ETC и MLFF система при процесу уласка у ETC систем наплате путарине.....	36
<b>Табела 3.7.</b> Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и ETC система при процесу уласка у систем.....	36
<b>Табела 3.8.</b> Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и MLFF система при процесу изласка из MS система.....	37
<b>Табела 3.9.</b> Упоредна анализа емисије полутана применом MS и ETC система при процесу изласка из система.....	38
<b>Табела 3.10.</b> Саобраћајно оптерећење и структура тока на наплатним станицама “Шимановци” и “Врчин” у 2018. години.....	40
<b>Табела 3.11.</b> Процентуално учешће разматраних класа путничких аутомобила у Републици Србији.....	40
<b>Табела 3.12.</b> Укупан број возила на наплатној станици у Републици Србији у 2018. години.....	41
<b>Табела 3.13.</b> Емисије укупног саобраћајног тока и уштеде остварене преласком са постојећег на нови систем на годишњем нивоу, на наплатној станици “Шимановци”.....	42
<b>Табела 3.14.</b> Емисије укупног саобраћајног тока и уштеде остварене преласком са постојећег на нови систем на годишњем нивоу, на наплатној станици “Врчин”.....	42
<b>Табела 3.15.</b> Уштеде које је могуће остварити преласком са постојећих на напредни MLFF систем наплате путарине на годишњем нивоу, по разматраним сценаријима.....	43
<b>Табела 4.1.</b> Дескриптивна статистика времена опслуге MS система.....	51

---

<b>Табела 4.2.</b> Вредности параметара који су укључени у модел .....	56
<b>Табела 4.3.</b> Резултати динамичког програмирања за часовни проток возила у току меродавног дана .....	58
<b>Табела 4.4.</b> Оптималан број ETC, MS и MI трака за наплату путарине за часовни проток возила у току меродавног дана .....	59
<b>Табела 4.5.</b> Резултати динамичког програмирања за максимални часовни проток возила .....	59
<b>Табела 4.6.</b> Оптималан број ETC, MS и MI наплатних трака за максимални часовни проток возила у смеру 1 и 2 .....	60
<b>Табела 5.1.</b> Предности и недостаци DB и TB концепта наплате .....	63
<b>Табела 5.2.</b> DB и TB концепти у земљама ЕУ .....	64
<b>Табела 5.3.</b> WTP и MAP вредности за DB концепт наплате путарине .....	67
<b>Табела 5.4.</b> Резултате ANOVA за MAP DB вредности .....	69
<b>Табела 5.5.</b> WTP и MAP вредности за вињете са различитом дужином валидности .....	70
<b>Табела 5.6.</b> Упоредна анализа MAP вињета у Северној Македонији са ценама у осталим земљама .....	71
<b>Табела 5.7.</b> ANOVA резултати за MAP TB вредности .....	72
<b>Табела 5.8.</b> Ставови корисника о TB и DB концепту наплате у односу на учесталост коришћења аутопута .....	73
<b>Табела 5.9.</b> Однос шанси за предиктор учесталост коришћења аутопута код DB и TB концепта наплате путарине .....	74
<b>Табела 5.10.</b> Однос MAP вредности за DB и TB концепт наплате путарине, .....	74
<b>Табела 6.1.</b> Структура упитника .....	82
<b>Табела 6.2.</b> Дескриптивна статистика и резултати Хи - квадрат тест независности .....	86
<b>Табела 6.3.</b> Дескриптивна статистика за WTP и MAP вредности .....	88
<b>Табела 6.4.</b> Модели вишеструке бинарне логистичке регресије .....	90
<b>Табела 6.5.</b> Преглед литературе о утицају изабраних фактора на прихватљивост CP .....	92
<b>Табела 6.6.</b> Оцењени параметри латентних променљивих .....	93
<b>Табела 6.7.</b> Оцењени регресиони коефицијенти .....	94

---

---

---

## Списак графикана

<b>Графикон 3.1.</b> Профил брзине у функцији пређеног пута за MS систем наплате путарине... 31	31
<b>Графикон 3.2.</b> Профил брзине у функцији пређеног пута за ETC систем наплате путарине. 31	31
<b>Графикон 3.3.</b> Профил брзине у функцији пређеног пута за MLFF систем наплате путарине..... 31	31
<b>Графикон 3.4.</b> Компаративна анализа емисија CO <sub>2</sub> приликом коришћења MS система у односу на ETC и MLFF..... 39	39
<b>Графикон 3.5.</b> Компаративна анализа емисија NO <sub>x</sub> приликом коришћења MS система у односу на ETC и MLFF..... 39	39
<b>Графикон 3.6.</b> Емисија CO <sub>2</sub> у функцији брзине за процес успорења ..... 39	39
<b>Графикон 3.7.</b> Емисија NO <sub>x</sub> у функцији брзине за процес успорења..... 39	39
<b>Графикон 3.8.</b> Емисија CO <sub>2</sub> у функцији брзине за процес убрзања ..... 39	39
<b>Графикон 3.9.</b> Емисија NO <sub>x</sub> у функцији брзине за процес убрзања ..... 39	39
<b>Графикон 4.1.</b> Време опслуге MS система у смеру 2..... 51	51
<b>Графикон 4.2.</b> Процентуални удео MS и ETC корисника за период од десет година ..... 60	60
<b>Графикон 5.1.</b> Расподела вредности променљиве MAP – све користи ..... 68	68
<b>Графикон 6.1.</b> Vox-plots за WTP и MAP вредности ..... 88	88
<b>Графикон 6.2.</b> Прихватљивост цена CP од стране корисника путничких аутомобила ..... 88	88

---

---

---

---

## Списак слика

Слика 1.1. Проблеми комерцијалне експлоатације друмске инфраструктуре .....	2
Слика 2.1. Системи наплате путарине .....	5
Слика 2.2. Предложени систем за подршку одлучивању .....	7
Слика 2.3. Графички приказ троугластог фази броја .....	8
Слика 4.1. Граф стања у случају $s$ независних система за наплату путарине .....	53
Слика 4.2. Граф стања у случају када су у смеру 2 поред MS и ETC наплатних трака оперативне и MI наплатне траке .....	54
Слика 4.3. Наплатна станица Шимановци .....	54
Слика 4.4. Граф стања система за наплату путарине на наплатној станици “Шимановци” ...	57
Слика 5.1. Коначан модел за MAP DB .....	69
Слика 5.2. Коначан модел за MAP TB .....	72
Слика 6.1. Макро локација CZ.....	81
Слика 6.2. Микро локација CZ .....	81
Слика 6.3. Шема коначног SEM-MIMIC модела .....	93
Слика 7.1. Методолошки оквир за подршку одлучивању приликом избора TCS.....	97

---

---

---

**Листа коришћених скраћеница**

АБС	Аутоматски бројач саобраћаја
АВ	Ауто-воз
АСМ	Automatic coin machine
АНП	Analytic hierarchy process
ANOVA	Analysis of variance
ANPR	Automated number plate recognition system
АТ	Automatic transmission
БДП	Бруто домаћи производ
БУС	Аутобус
DB	Distance based tolling
DM	Decision maker
DP	Dynamic programming
DPM	Diesel particulate matter
DSF	Decision-support framework
DSRC	Dedicated short range communication
DWLS	Diagonally weighted least squares
CFI	Comparative fit index
CN	Cellular network
COMEAP	Committee on the medical effects of air pollutants
CP	Congestion pricing
CZ	Central zone
EY	Европска унија
EEA	European environment agency
ELECTRA	Elimination et choice translating reality
EPA	Environmental protection agency
ETC	Electronic toll collection system
GE	Grey evaluation method
GENTOPS	Generic toll plaza simulation
GNSS/CN	Global navigation satellite system/cellular network
GPS	Global positioning system
GWP	Global warming potential
ЈПИС	Јавно предузеће „Путеви Србије“
ЈТВ	Лако теретно возило
MADM	Multi-attribute decision making
MAP	Maximum acceptable price
MI	Mixed toll collection lane
MIMIC	Multiple indicators and multiple causes

---

---

ML	Maximum likelihood
MLFF	Multilane free flow
MS	Manual toll collection system
MT	Manual transmission
NNFI	Non-normed fit index
NSGA-II	Non-dominated sorting genetic algorithm II
OBU	On board unit
O&M	Operation & maintenance
ORT	Open road tolling
ПА	Путнички аутомобил
ПГДС	Просечан годишњи дневни саобраћај
PARAMICS	Parallel microscopic simulation
PEMS	Portable emissions measurement system
PPP	Public private partnership
PROMETHEE	Preference ranking organization method for enrichment evaluations
RFID	Radio frequency identification
RMSEA	Root mean square error of approximation
SAW	Simple additive weighting
SC	Stated choice
SEM	Structural equation modelling
SP	Stated preference
СУС	Са унутрашњим сагоревањем
SUV	Sport utility vehicle
SWOT	Strengths-weakness-opportunities-threat
TB	Time based tolling
TCS	Toll collection system
TNCC	Toll network capacity calculator
TOLLSIM	Simulation and evaluation of toll stations
TOPSIS	Technique for order preference by similarity to ideal solution
TPASS	Toll plaza animation/simulation system
TPSIM	Toll plaza simulation model
TTB	Тешко теретно возило
TTC	Travel time costs
UC	Unit cost
VOC	Vehicle operation costs
VPS	Vehicle positioning
WLS	Weighted least squares
WTP	Willingness to pay

---



## 1. Увод

Путарине представљају директне накнаде за коришћење друмске инфраструктуре, као што су накнаде на ванградској мрежи аутопутева које су засноване на пређеној километражи или одређеном временском периоду и наплате загушења у централним градским зонама (Deakin, 1989; Ison, 1996; Главић, 2016; Glavić et al., 2017a,b). Ове накнаде имају два циља. Један циљ се односи на механизам за финансирање изградње путне инфраструктуре, њену експлоатацију и одржавање, док је други циљ управљање саобраћајним захтевима (Yang & Bell, 1997; Odeck & Bråthen, 2002; Glavić et al., 2016; Glavić et al., 2018; Milenković et al., 2018a).

У Европи, тренутно по питању система за наплату путарине, затим по питању цена и тарифирања, као и по тарифним групама возила влада тзв. "хаос у путарини" не само од државе до државе већ и у оквиру једне државе (Главић, 2013; Миленковић и други, 2018; Glavić & Milenković, 2016). Овај проблем је још сложенији јер се у одређеним државама за различите категорије возила наплата путарине врши различитим системима (нпр. Аустрија и Словенија примењују систем вињета за путничке аутомобиле, док за теретна возила користе електронски систем за наплату путарине). Директивама Европске уније покушава се увести ред у ову област, посебно по питању врсте и система наплате.

Сходно претходно наведеном, приликом унапређења постојећег система за наплату путарине или увођења новог, доносиоци одлука се суочавају са бројним изазовима. Како би се обезбедило ефикасно функционисање службе за наплату путарине са једне стране и остварио одговарајући ниво услуге корисника са друге стране неопходно је изабрати одговарајући систем за наплату путарине, оптимизовати рад наплатних станица и дефинисати адекватну тарифну политику.

Једно од кључних питања у наплати путарине односи се на избор одговарајућег система за наплату путарине. Избор одговарајућег система за наплату путарине представља веома важну одлуку имајући у виду чињеницу да захтева велика инвестициона улагања и да лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема како за садашње, тако и за будуће генерације. У пракси, доносиоци одлука се најчешће суочавају са избором једног система, на основу великог броја различитих система који се тренутно користе у свету. Ови системи се разликују по својим карактеристикама, као што су на пример поузданост, ефикасност, инвестициони и оперативни трошкови, интероперабилност система итд. Имајући у виду бројне и различите интересе, сваки од система за наплату путарине има низ предности и недостатака како са аспекта управљача пута тако и са аспекта корисника и друштва у целини. Узимајући у обзир значај система за наплату путарине у ефикасном функционисању наплате путарине, велика инвестициона улагања, као и конфликтне критеријуме који се односе на велики број алтернативних система за наплату путарине, планери, пројектанти и експерти за вредновање се суочавају са изазовом - који систем за наплату путарине би требали изабрати?

Једна од важних карактеристика система за наплату путарине, која је до сада у недовољној мери истражена односи се на ниво емисије штетних гасова. С обзиром да наплатне станице са традиционалним системима за наплату путарине представљају локације са повећаном емисијом штетних гасова, намеће се питање да ли би и у којој мери примена напредних технологија допринела смањењу емисије штетних гасова и остварењу еколошких уштеда. Резултати засновани на емпиријским подацима су од велике важности приликом вредновања различитих система за наплату путарине.

Такође, један од главних проблема неефикасног функционисања наплатне станице огледа се у стационарном режиму рада наплатних трака. С обзиром да се интензитет саобраћаја мења током времена, постоји потреба за њиховим динамичким управљањем. У пракси се јавља повремено управљање радом наплатних трака, али на основу искуства оператора наплате путарине и често се догађа да се ова мера спроводи када је већ дошло до загушења на наплатним станицама. Оптимизацијом рада постојећих наплатних трака кроз повремено отварање/затварање односно промену одређене врсте наплатне траке у појединим периодима, оствариле би се значајне уштеде у трошковима функционисања службе за наплату путарине и трошковима корисника које се односе на трошкове времена путовања, потрошњу горива и емисију штетних гасова.

Са јаком основом у области економије, наплата путарине представља ефикасну политику која у обзир узима екстерне последице коришћења путне инфраструктуре и њено финансирање. Међутим, упркос својим звучним циљевима, наплата путарине је истакнут пример теоријски добро развијене саобраћајне политике, за коју је у пракси установљено да је није лако имплементирати (Sørensen et al., 2014). С обзиром да наплата путарине представља врсту саобраћајне политике која радикално мења расподелу трошкова и користи, она је често необјективна и политизована. Један од кључних аспеката у планирању наплате путарине је прихватљивост од стране јавности. Велики број досадашњих истраживања указује на проблем прихватања наплате путарине од стране јавности, истичући да је њоме нарушена слобода и једнакост корисника (Jakobsson et al., 2000; Jaensirisak et al., 2005; Schade & Baum, 2007; Eriksson et al., 2008). Поред питања прихватљивости од стране јавности, друго кључно питање наплате путарине односи се на политичку прихватљивост и подршку (Pahaut & Sikow, 2006; King et al., 2007; Chorus et al., 2011). Политичари често сматрају да је наплата путарине компликована нова накнада за нешто што је бесплатно (King et al., 2007). Такође, изостанак политичке подршке може потицати од склоности потичке јавности ка политикама које имају јасно видљиве користи и расподељене и мало видљиве трошкове (Oberholzer-Gee & Weck-Hannemann, 2002; Chorus et al., 2011). Без јаке политичке подршке и прихватљивости јавности увођење система наплате загушења је у многим градовима било осуђено на пропаст (Хонг Конг, Единбург, Њујорк итд.).

Сходно претходно наведеном, доносиоцима одлуке је неопходно дати аргументовану подршку при решавању проблема комерцијалне експлоатације друмске инфраструктуре (Слика 1.1). Приликом избора одговарајућег система за наплату путарине, утврђивања еколошких ефеката система и оптимизације рада наплатних трака у реалном времену потребно је узети у обзир како аспект управљача пута, тако и аспект корисника и друштва у целини. Како би се обезбедила успешна имплементација одређеног концепта наплате неопходно је сагледати и ставове корисника.



Слика 1.1. Проблеми комерцијалне експлоатације друмске инфраструктуре

## 1.1. Предмет и научни циљ истраживања

Развој система за наплату путарине представља императив у савременим привредним, друштвеним и еколошким трендовима развоја. Међутим, у досадашњој литератури не постоје примери решавања проблема избора система за наплату путарине на свеобухватан начин. У складу са наведеним, предмет ове дисертације су:

- Дефинисање и развој процедура за спровођење поступка избора одговарајућег система за наплату путарине на начин који ће омогућити свеобухватно сагледавање проблема;
- Моделирање емисије штетних материја при експлоатацији различитих система за наплату путарине;
- Оптимизација рада наплатних трака у реалном времену минимизирањем трошкова службе за наплату путарине и трошкова корисника;
- Дефинисање и анализа фактора који утичу на спремност корисника да прихвате одређен концепт за наплату путарине.

Научни циљеви дисертације су:

- Развој система за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине како би се омогућио адекватан избор изумајући у обзир све аспекте;
- Развој модела нивоа емисије штетних материја при коришћењу различитих система за наплату путарине како би се квантификовали ефекти одређених система за наплату путарине на животну средину;
- Развој модела минимизације трошкова службе за наплату путарине и трошкова корисника који се односе на трошкове времена путовања, потрошње горива и емисије полутаната;
- Развој модела спремности корисника да плате коришћење аутопута/централне градске зоне како би се обезбедила успешна имплементација система наплате.

## 1.2. Основне хипотезе

Докторска дисертација има полазну хипотезу да би се **дефинисањем одговарајућег методолошког оквира могао извршити избор система за наплату путарине**. Помоћне хипотезе ове докторске дисертације су:

- Број и распоред саобраћајних трака опремљених различитим системима за наплату путарине утичу на ниво услуге;
- Ниво емисије штетних материја зависи од примењеног система за наплату путарине;
- Ставови корисника система за наплату путарине се статистички значајно разликују;
- Корисници перципирају различито путарину у виду временске накнаде у односу на накнаду у складу са пређеним километрима;
- Социо-економске карактеристике корисника статистички значајно утичу на спремност корисника да плате коришћење аутопута/централне градске зоне.

## 1.3. Методе истраживања

С обзиром да постоји више система за наплату путарине, са својим предностима и недостацима, као и да постоји низ конфликтних критеријума, проблем избора одговарајућег система за наплату путарине припада групи проблема вишеатрибутивног одлучивања. Стога је у дисертацији приликом избора одговарајућег система коришћена F-PROMETHEE метода вишеатрибутивног одлучивања. Поред ове методе, у дисертацији су коришћене и методе дескриптивне и аналитичке статистике (Chi-квадрат тест, Колмогоров-Смирнов тест, ANOVA,

бинарна логистичка регресија), моделирање структурних једначина (SEM), динамичко програмирање (DP), SWOT анализа, компаративна анализа, анализа осетљивости, као и теорија фази скупова и теорија масовног опслуживања. Приликом прикупљања података неопходних за израду ове докторске дисертације коришћен је метод експеримента, експертска оцена и метод анкете.

#### 1.4. Приказ садржаја докторске дисертације

Структура дисертације обликована је тако да одражава постављене циљеве истраживања. На тај начин, садржај дисертације је организован у седам поглавља. У **првом поглављу** дата су уводна разматрања и дефинисани су предмет и циљеви истраживања, методе које су коришћене у дисертацији, као и основне полазне хипотезе.

У **другом поглављу** разматран је проблем избора одговарајућег система за наплату путарине. Предложен је систем за подршку одлучивању приликом решавања овог проблема, дефинисане су алтернативе система, као и критеријуми који су важни приликом избора. За новоизграђени пут, применом одговарајуће методе, извршено је рангирање алтернатива и утврђено је најбоље решење. На крају је спроведена анализа осетљивости комплетног ранга алтернатива, односно првог места у рангу, на промене у вредностима тежина критеријума.

У **трећем поглављу** анализиран је утицај различитих система за наплату путарине на емисију штетних гасова. Најпре је дефинисана методологија истраживања. Затим су приказани резултати емисија полутаната репрезентативних категорија возила при коришћењу различитих TCS. Добијени резултати су потом примењени у студији случаја наплатних станица у Републици Србији на основу чега су квантификоване еколошке користи које би било могуће остварити преласком са постојећих традиционалних на напредне системе за наплату путарине.

У **четвртном поглављу** описан је проблем статичке конфигурације рада наплатних трака и истакнута потреба за динамичким управљањем у реалном времену. С обзиром на природу проблема, развијен је одговарајући модел оптимизације. Развијени модел је затим примењен у студији случаја наплатне станице у Републици Србији на основу чега је утврђен оптималан број наплатних трака за часовна оптерећења у току меродавног дана, као и за максимална годишња часовна оптерећења на разматраној наплатној станици у оба смера.

У **петом поглављу** анализирани су предности и недостаци два концепта наплате путарине - заснованог на пређеним километрима и заснованог на одређеном временском периоду. На основу ставова и искуства корисника у Северној Македонији развијени су модели спремности корисника да плате путарину засновану на једном, односно другом концепту. На основу добијених резултата предложен је одговарајући концепт наплате путарине.

У **шестом поглављу** анализирани су фактори који утичу на спремност корисника да прихвате увођење наплате загушења и плате одређену суму новца за коришћење централне градске зоне, с обзиром да успешна имплементација овог концепта у великој мери зависи од подршке јавности. На основу ставова корисника централне градске зоне Београда, применом одговарајућих метода развијени су модели спремности корисника да прихвате овај концепт наплате.

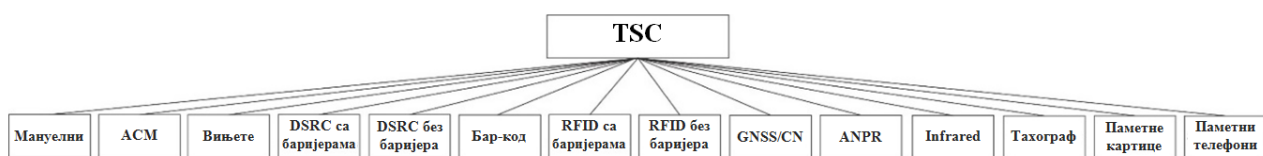
У последњем, **седмом поглављу**, дата су закључна разматрања, ограничења дисертације, као и правци будућих истраживања.

## 2. Систем за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине

### 2.1. Опис проблема

Важан задатак у сложеном процесу планирања наплате путарине представља избор одговарајућег система за наплату путарине. Избор система за наплату путарине представља важну одлуку имајући у виду чињеницу да захтева велика инвестициона улагања и да лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема како за садашње, тако и за будуће генерације. Такође, с обзиром да су различите организационе шеме наплате путарине повезане са различитим циљевима политике (Li et al., 2018), систем наплате путарине (TCS) директно утиче на искуство корисника и сходно томе на прихватање од стране јавности.

У пракси, управљач пута се најчешће суочава са избором једног TCS на основу великог броја система који су тренутно у употреби. TCS који се данас користе у свету обухватају: мануални систем, аутоматску машину за кованице (ACM), вињете, систем заснован на наменској комуникацији кратког домета (DSRC) са баријерама, DSRC систем без баријера, бар-код систем, систем заснован на идентификацији путем радио фреквенције (RFID) са баријерама, RFID систем без баријера, глобални навигациони сателитски систем/мобилна мрежа (GNSS/CN), систем за аутоматско препознавање регистарских таблица (ANPR), систем заснован на инфрацрвеним зрацима (Infrared), тахограф, паметну картицу и паметни телефон (Слика 2.1). Наведени системи се разликују по својим карактеристикама, као што су на пример поузданост система, трошкови имплементације, интероперабилност итд. Имајући у виду различите интересе које управљачи пута могу имати у односу на кориснике, сваки TCS има низ предности и недостатака како са аспекта управљача пута тако и са аспекта корисника. На пример, различитим TCS одговара се различито на потребу да се максимизира приход од наплате путарине, што је често важан критеријум за управљача пута. Са друге стране, различитим TCS одговара се различито на захтеве корисника у погледу смањења временских губитака и трошкова експлоатације пута, односно побољшања нивоа услуге и безбедности саобраћаја.



Слика 2.1. Системи наплате путарине

Претходно је само у једном раду разматрано питање избора одговарајућег TCS (Vats et al., 2014). У студији случаја Индије разматрано је пет алтернатива TCS: Бар-код, RFID, ANPR, GNSS/CN и активни Infrared систем за наплату путарине. Применом вишекритеријумске методе „VIKOR“, Vats et al. (2014) дошли су до налаза да је RFID систем одговарајуће решење. С обзиром на извесну празнину у досадашњим истраживањима на ову тему, у оквиру дисертације предложен је методолошки оквир за подршку одлучивању приликом избора одговарајућег TCS (Milenković et al., 2018a).

## 2.2. Методологија

Узимајући у обзир мноштво конфликтних критеријума са аспекта управљача пута и корисника, као и низ предности и недостатака које карактеришу сваки TCS, доношење одлуке по питању избора одговарајућег система представља изузетно сложен задатак. С обзиром да избор TCS нема конвенционалну математичку формулацију, овај проблем припада групи полуструктурираних проблема одлучивања (Ragsdale, 2014). Са друге стране, имајући у виду да саобраћајни планери и управљачи пута често поседују велико искуство у погледу својих саобраћајних система, њихово знање може бити ресурс од кључне важности приликом избора TCS.

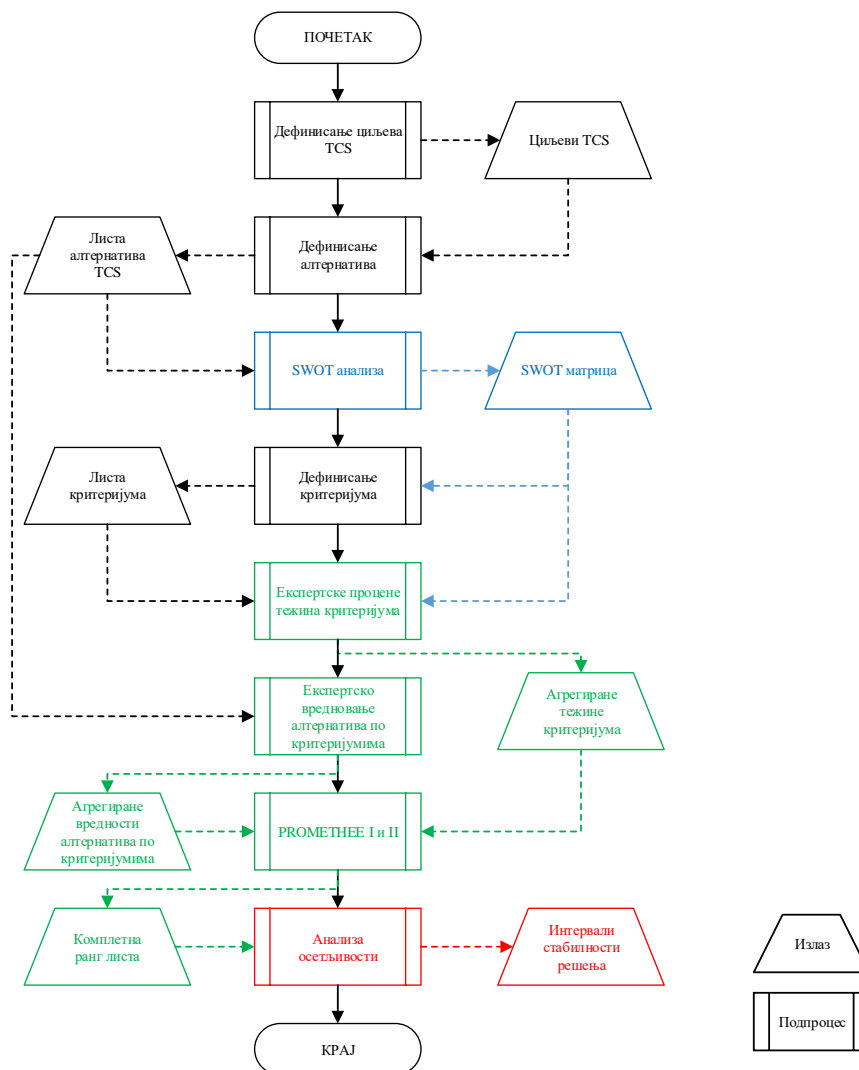
С обзиром на полуструктурирану природу проблема избора TCS, као и велико стручно знање о саобраћајном систему, у дисертацији је предложен оквир за подршку одлучивању (DSF) заснован на методологији вишеатрибутивног одлучивања (MADM). MADM односи се на процес доношења одлука на основу низа алтернатива, дефинисањем критеријума и њихових тежина. Крајњи циљ MADM односи се на рангирање алтернатива и избор одговарајуће. Неке од најчешће коришћених метода у оквиру MADM укључују TOPSIS (Teodorović, 1985; Chen et al., 2014), AHP (Yedla & Shrestha, 2003; Zubaryeva et al., 2012; Kumru & Kumru, 2014), GE (Li et al., 2004; Pai et al., 2007), SAW (Jakimavičius & Burinskiene, 2009) и ELECTRA методу (Rogers & Bruen, 1996). Генерално, MADM методе се често користе за дефинисање DSF приликом избора одговарајућег технолошког система (Gomes, 1989; Oeltjenbruns et al. 1995; Kulak, 2005; Mladenovic et al., 2012; Mladenovic et al., 2017).

DSF који је предложен у дисертацији заснован је на PROMETHEE методи рангирања. У поређењу са осталим MADM методама, PROMETHEE метода је погодна за решавање проблема са великим бројем алтернатива (Brans et al., 1986; Mohamadabadi et al., 2009; Behzadian et al., 2010). PROMETHEE представља групу метода, где PROMETHEE I даје парцијални ранг алтернатива, а PROMETHEE II комплетан ранг алтернатива (Brans et al., 1986). Како би се у процесу избора TCS превазишао проблем непостојања одређених емпиријских података, односно проблем неодређености и непоузданости одређених података, у дисертацији је коришћена метода PROMETHEE у фази окружењу (F-PROMETHEE). У анализи су коришћени фази скупови, односно одговарајући фази бројеви, како би се уз помоћ њих превазишли проблеми субјективних дилема доносиоца одлука приликом коришћења лингвистичких променљивих за представљање проблема (Macharis et al., 2009). Наиме, коришћење фази скупова омогућава да се у обзир узме расплутост, која је својствена овом процесу доношења одлука, кроз једноставно коришћење лингвистичких израза. Интеграција PROMETHEE I и II као и осталих елемената у DSF представљена је у следећем поглављу.

### 2.2.1. Систем за подршку одлучивању

Предложени DSF подразумева процедуру која се спроводи у оквиру стручних радионица (Слика 2.2). Слика 2.2 приказује подпроцесе, као и одговарајуће излазе из сваког подпроцеса. На одржаним радионицама експерти су дискутовали о MADM задатку, могућим TCS, дефинисању критеријума и њихових тежина. Као што је приказано на Слици 2.2, први корак укључује опис MADM проблема и дефинисање циљева TCS. Током радионица, аутори су дефинисали скуп алтернатива односно TCS који се тренутно користе у свету. Затим је спроведена SWOT анализа, у оквиру које су доносиоци одлука дискутовали о предностима, недостацима, могућностима и ризицима сваке алтернативе, и на тај начин боље сагледали разматране алтернативе. Групу експерата је чинило четири експерта, како би се у обзир узела различита мишљења, а истовремено омогућила заједничка дискусија експерата. Поред тога, јако је важно ангажовање експерата из различитих области, како би се дискусијом омогућила

додатна размена знања у конструктивном окружењу уоквиреном SWOT анализом. У оквиру истраживања спроведеног за потребе ове дисертације учествовало је четири експерта из области планирања саобраћаја, експлоатације и управљања путевима, саобраћајне политике и саобраћајне економије. Овакав скуп експерата омогућио је сагледавање проблема са више различитих аспеката. Процеси који се односе на SWOT анализу су на Слици 2.2 означени плавом бојом. Предложени DSF је затим подразумевао дефинисање листе и група критеријума, као и тежине критеријума. Вредности тежина критеријума одређене су субјективним фази оценама експерата. Експерти су потом оценили алтернативе по сваком критеријуму, такође користећи субјективне фази оцене. За рангирање алтернатива коришћена је метода F-PROMETHEE. Процеси који се односе на одређивање тежина критеријума, бодовање алтернатива по критеријумима, као и примену PROMETHEE методе, на Слици 2.2 означени су зеленом бојом. Примена PROMETHEE методе је захтевала дефинисање функције преференције за сваки од посматраних критеријума, као и вредности параметара за изабране функције преференције. Наведеном методом утврђене су вредности позитивних и негативних токова, као и нето тока, чиме је спроведено рангирање алтернатива. Након рангирања алтернатива, спроведена је анализа осетљивости како би се одредио интервал стабилности сваке од разматраних TCS алтернатива. Процеси који се односе на анализу осетљивости на Слици 2.2 означени су црвеном бојом. Детаљан опис сваког од подпроцеса DSF дат је у следећим поглављима.



Слика 2.2. Предложени систем за подршку одлучивању



### 2.2.1.1. Дефинисање алтернатива и критеријума

Први подпроцес укључује дефинисање циља TCS, могућих алтернатива TCS, као и листе критеријума за вредновање алтернатива. Дефинисању критеријума претходи SWOT анализа TCS алтернатива. SWOT анализа је структурирани метод планирања који помаже у дефинисању предности, недостатака, могућности и ризика сваког TCS.

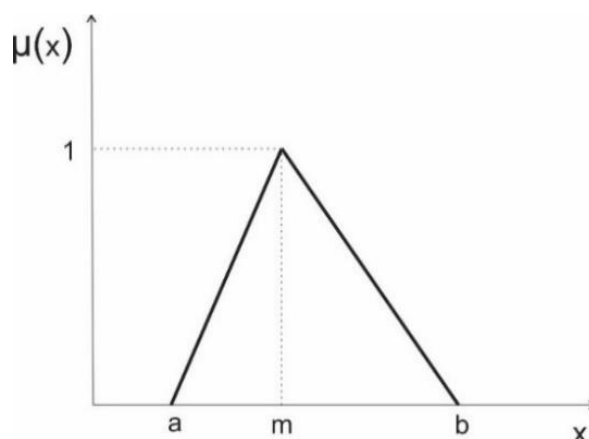
У овом DSF, циљ SWOT анализе је да помогне експертима да боље сагледају алтернативе и њихове карактеристике, као и да дефинишу критеријуме. SWOT је изабрана као техника која има минималну структуру, чиме не оптерећује дискусију својим поступком већ омогућава фокусирање на суштину. Имати дивергентну методу је посебно важно у овом подпроцесу, јер омогућава стицање стручног знања на основу сазнања о саобраћајном систему са различитих аспеката. Поступно, док експерти дискутују о предностима, недостацима, могућностима и ризицима различитих алтернатива TCS, они размењују знање и идентификују проблеме и потенцијалне критеријуме. Сходно томе, иако SWOT анализа сама по себи представља излазни резултат, процес доласка до овог излазног резултата је важан за размену знања међу групом експерата. Као резултат тога, овај DSF подпроцес резултира дефинисањем критеријума.

### 2.2.1.2. Одређивање тежина критеријума

Одређивање тежина критеријума је други подпроцес у оквиру предложеног DSF. SWOT анализа се користи као помоћ приликом одређивања тежина критеријума, проширењем знања о карактеристикама алтернатива за наплату путарине. Током радионица, дефинисани су одговарајући лингвистички изрази како би се уместо поређења по паровима појединачно оценили критеријуми. Дефинисани лингвистички изрази су потом представљени одговарајућим троугластим фази бројевима. Лингвистички изрази за експертску процену тежина критеријума и њихови одговарајући фази бројеви приказани су у Табели 2.1. Графички приказ троугластог фази броја приказан је на Слици 2.3, где је  $a$  доња (лева) граница,  $b$  горња (десна) граница, док је  $m$  вредност којој одговара највећи степен уверености.

Табела 2.1. Лингвистички изрази и одговарајући фази бројеви

Лингвистички изрази	Троугласти фази бројеви
Врло мали (VL)	(0,00; 0,00; 0,15)
Мали (L)	(0,00; 0,15; 0,30)
Средње мали (ML)	(0,15; 0,30; 0,50)
Средњи (M)	(0,30; 0,50; 0,70)
Средње велики (MH)	(0,50; 0,70; 0,85)
Велики (H)	(0,70; 0,85; 1,00)
Веома велики (VH)	(0,85; 1,00; 1,00)



Слика 2.3. Графички приказ троугластог фази броја



Да би се одредиле тежине критеријума, свим експертима је дата листа критеријума дефинисана у претходном кораку. Експерти су оцењивали тежине критеријума у форми лингвистичких израза. Лингвистички изражене оцене експерата се потом трансформишу у одговарајуће фази бројеве. Значај сваког од критеријума ( $i$ ), узимајући у обзир процене свих експерата ( $k$ ), одређује се на следећи начин:

$$\tilde{W}_{ik} = (a_{ik}, m_{ik}, b_{ik}) \rightarrow \tilde{W}_i^A = \left[ \min(a_{ik}), \frac{\sum_{i=1}^k m_{ik}}{k}, \max(b_{ik}) \right] \quad (2.1)$$

Фази бројеви су дефазификовани коришћењем методе минимизације удаљености коју су предложили Asady & Zendehman (Asady & Zendehnam, 2007), као што је наведено у наставку:

$$W_{i,defuzzified} = m + \frac{b - a}{4} \quad (2.2)$$

Дефазификоване вредности су потом нормализоване на следећи начин:

$$W_{i,normalized} = \frac{W_{i,defuzzified}}{\sum_{i=1}^n W_{i,defuzzified}} \quad (2.3)$$

где су:

- $i$  - индекс критеријума ( $i=1,2,\dots,n$ );
- $k$  - индекс доносиоца одлуке ( $k=1,2,\dots,p$ );
- $j$  - индекс алтернативе ( $j=1,2,\dots,m$ );
- $a_{ik}$  - доња граница фази броја процењена од стране експерта  $k$  за критеријум  $i$ ;
- $m_{ik}$  - вредност којој одговара највећи степен уверености процењен од стране експерта  $k$  за критеријум  $i$ ;
- $b_{ik}$  - горња граница фази броја процењена од стране експерта  $k$  за критеријум  $i$ ;
- $\tilde{W}_{ik}$  - процена фази вредности тежине критеријума  $i$  експерта  $k$ ;
- $\tilde{W}_i^A$  - агрегирана фази вредност тежине критеријума  $i$ ;
- $W_{i,defuzzified}$  - дефазификована агрегирана вредност тежине критеријума  $i$ ;
- $W_{i,normalized}$  - нормализована агрегирана вредност тежине критеријума  $i$ ;

### 2.2.1.3. Оцењивање алтернатива

Поред оцена тежина критеријума, експерти су учествовали у оцењивању алтернатива по критеријумима, ослањајући се делом на информације добијене из SWOT анализе. Да би се оцениле алтернативе на основу дефинисаних критеријума, мишљења експерата су прикупљена у виду лингвистичких израза, дефинисаних у Табели 2.1, као последица чињенице да за алтернативе није било могуће аналитички утврдити егзактне вредности. Лингвистички изрази су потом изражени одговарајућим фази бројевима (Табела 2.1). Оцене свих експерата агрегиране су приступом датим Формулом 2.1. Добијени фази бројеви су затим дефазификовани и нормализовани приступима описаним Формулом 2.2 и Формулом 2.3.

### 2.2.1.4. Вредновање алтернатива

Детаљна процедура за рангирање алтернатива коришћењем методе PROMETHEE II састоји се из пет корака (Brans et al., 1986; Behzadian et al., 2010). Подпроцес започиње одређивањем разлика вредности алтернатива по критеријумима, базираним на поређењу по паровима. Други корак подразумева примену одговарајуће функције преференције за сваки критеријум дефинисан у подпроцесу 2. Трећи корак подразумева израчунавање индекса преферентности, док четврти корак укључује израчунавање позитивног и негативног тока за сваку алтернативу

и добијање парцијалног ранга. Подпроцес се завршава у петом кораку, израчунавањем нето тока за сваку алтернативу и добијањем комплетног ранга (Brans et al., 1986; Behzadian et al., 2010).

PROMETHEE метода заснива се на поређењу по паровима, а специфичност ове методе је функција преференције. Њена улога је да разлику у вредностима за сваки пар алтернатива сведе у опсег од 0 до 1, по сваком критеријуму. На овај начин се постиже нормализација вредности и добијање информација о преферентности сваке алтернативе у односу на сваку, према сваком од критеријума (Димитријевић, 2017).

PROMETHEE I парцијално рангирање заснива се на прорачуну два тока преференције.  $\Phi^+$  (позитиван ток) је мера предности алтернативе, док је  $\Phi^-$  (негативни ток) мера слабости алтернативе у односу на остале алтернативе. PROMETHEE I дозвољава некомпарабилност, што се обично дешава када је једна алтернатива добра на подскупу једних критеријума, док је на другим слаба и обрнуто (Macharis et al., 1998). Могућност некомпарабилности искључена је увођењем карактеристике  $\Phi$  (нето ток) која означава разлику између позитивних и негативних токова. Тако је алтернатива  $a$  преферентна у односу на алтернативу  $b$  у PROMETHEE II рангирању, ако је  $a$  преферентна у односу на  $b$  према нето току. У овом конкретном случају,  $aP^Ib$  ако и само ако  $\Phi(a) > \Phi(b)$ . Стога, PROMETHEE II обезбеђује комплетан ранг алтернатива од најбољих ка најлошијим (Macharis et al., 1998).

### 2.2.1.5. Анализа осетљивости решења

Као последњи подпроцес, анализа осетљивости решења је од суштинског значаја јер показује осетљивост ранга алтернатива на промену вредности тежина критеријума. Као део PROMETHEE методе, анализа осетљивости решења може се спровести помоћу модула „Walking Weights“. У оквиру предложеног DSF примењена је анализа стабилности решења, на основу које се може видети како се  $\Phi$  вредности и PROMETHEE II ранг мењају у функцији промене тежина критеријума. На основу ове анализе могу се утврдити интервали стабилности првог места и целокупне ранг листе.

## 2.3. Примена система за подршку одлучивању

Предложени оквир за подршку одлучивању тестиран је на основу четрнаест система наплате, у контексту новоизграђеног аутопута. DSF је примењен у оквиру радионице, уз учешће четири експерта из области планирања саобраћаја, експлоатације и управљања саобраћаја, саобраћајне политике и саобраћајне економије.

### 2.3.1. Опис алтернатива TCS

Системи за наплату путарине мењали су се током времена од мануелне наплате путарине до различитих облика електронске наплате путарине. Развој електронике и електронске технологије последњих година био је изузетно динамичан и проузроковао је примену бројних технологија у наплати путарине. Кратак опис алтернативних TCS дат је у Табели 2.2.

Табела 2.2. Опис алтернатива TCS

TCS	Опис алтернатива TCS
Мануелни	Наплата путарине се код овог система спроводи ручно од стране особља за наплату путарине. Возач мора да заустави своје возило на наплатној станици и плати накнаду службенику који је за то одговоран. Службеник одређује износ који се кориснику наплаћује на основу карактеристика и класификације возила, као и удаљеност коју је возило прешло. С обзиром да време опслуге траје одређено време, чекање у реду је уобичајено за ову врсту наплате (Hensher, 1991; Главић, 2013).

TCS	Опис алтернатива TCS
АСМ	Представља аутомат са делом за убацивање кованица или папирног новца. Возач мора да заустави своје возило и плати одређену своту новца на основу класификације возила и удаљености коју је возило прешло. Ова технологија има краће време опслуге у односу на мануелни TCS, што доводи до мањих временских губитака и трошкова корисника.
Вињета	Представља налепницу чијом је куповином путарина плаћена за одређени временски период. Вињете морају бити залепљене на ветробранско стакло аутомобила и могу важити за период од неколико дана, недељу дана, месец дана или период године. Електронске вињете нису у облику налепница, већ се број регистарске ознаке аутомобила уноси у систем, за дане за које је вињета плаћена. Контрола корисника врши се уз помоћ базе података, традиционалним заустављањем на путу и кажњавањем прекршитеља (Главић, 2013).
DSRC са баријерама	Представља врсту TCS у оквиру ког корисници немају контакт са особљем задуженим за наплату путарине. Возило се не зауставља на наплатној станици, само је потребно да смањи брзину како би се успоставио контакт и остварила идентификација уз помоћ OBU уређаја. У међувремену, сви подаци су забележени у централни систем наплате путарине. Корисници могу да изаберу да им рачун стигне на адресу једном месечно или да изаберу припејд модел плаћања (Главић, 2013).
DSRC без баријера	Код овог система, антене су постављене на порталима, на одређеним локацијама (нпр. између две петље) дуж аутопута са наплатом путарине. Антене детектују пролазак возила и евидентирају употребу OBU, а информације се шаљу у централни систем за наплату путарине ради обраде и плаћања. Технологија која се користи у оквиру овог система пројектована је тако да возила могу да одржавају своју брзину и мењају траке док пролазе испод портала за наплату путарине (Главић, 2013).
Бар-код	У оквиру овог система, бар-код представља налепницу која се поставља на ветробранско стакло возила и читава ласерским скенером док возило пролази кроз наплатну станицу (Sharma & Sharma, 2014).
RFID са баријерама	Овај систем садржи OBU или налепницу постављену на ветробранском стаклу возила. На наплатној станици, читавање се врши RFID читачем (Vats et al., 2014). RFID читач је уређај који се користи за комуникацију са RFID тагом, путем радио таласа (Surendran et al., 2016). Возило се не мора зауставити на наплатној станици, само је потребно да смањи брзину како би се успоставио контакт и остварила идентификација.
RFID без баријера	Овај систем садржи OBU који је инсталиран на предњем делу возила. На наплатном порталу, OBU се читава RFID читачем фреквенција (Vats et al., 2014). Технологија која се користи у оквиру овог система пројектована је тако да возила могу да одржавају своју брзину и мењају траке док пролазе испод портала за прикупљање података.
GNSS/CN	Овај TCS представља интеграцију глобалног сателитског навигационог система и мобилне мреже. Систем функционише тако што користи јединицу глобалног система позиционирања (GPS/Gallileo/Glonas) инсталирану на OBU, која складишти координате руте возила и шаље информације о трансакцији централном систему за прикупљање путарине, путем глобалног система мобилне комуникације (GSM/3G/4G) (Blythe, 1999; Charpentier & Fremont, 2003; Главић, 2013).
ANPR	Овај TCS користи стационарну камеру за снимање и идентификацију регистарских ознака возила која пролазе кроз наплатну станицу. Детектоване регистарске ознаке упарују се у бази података и путарина се наплаћује. Ако се забележени број регистарских ознака не очита тачно или се не налази у бази података, активира се аларм којим се упозоравају надлежне службе. На овај начин се истовремено решавају два питања - идентификација возила за наплату путарине и активирање аларма о прекршајима (Sorensen & Taylor, 2005; Главић, 2013).
Infrared	Овај систем је сличан DSRC систему са баријерама. Једина разлика је у томе што има активну инфрацрвену јединицу инсталирану у возилу која садржи све неопходне информације (Shieh et al., 2005).
Тафграф	У оквиру овог система пређена километража возила се бележи уз помоћ OBU уређаја који је електронски повезан са одометром возила. Тахографски систем који постоји на Новом Зеланду захтева ручно, а не електронско прикупљање података (European Parliament's Committee on Transport and Tourism, 2014).
Паметна картица	Представља меморијску картицу у оквиру које се складиште подаци о особи и одређеном износу новца. Паметне картице се морају допуњавати одређеном свотом новца и приликом сваке наплате путарине картица се мора убацити у систем и са ње скидати одређена свота новца. Овај систем функционише на основу контактне комуникације између паметне картице и читача (Sridhar & Nagendra, 2012; Главић, 2013).
Паметни телефони	Представља TCS који је још увек у фази развоја. Примери овог система су m-Toll, Ptoll, GeoToll и PayTollo пројекти. Овај TCS се ослања на могућности паметних телефона као што су: WiFi, 4G, GSM и NFC веза за потврду, валидацију и наплату путарине не захтевајући да корисник поседује било какав додатни хардвер (Драшковић и Главић, 2019).

### 2.3.2. SWOT анализа алтернатива система наплате путарине

Резултати SWOT анализе, која је спроведена током радионице, приказани су у Табели 2.3. Резултујућа SWOT матрица помогла је експертима у наредим DSF корацима, приликом дефинисања критеријума и бодовања алтернатива по критеријумима.

Табела 2.3. SWOT матрица за алтернативе TCS

TCS	Предности	Недостаци	Могућности	Ризици
<b>Мануелни</b>	Резервни TCS за кориснике који не поседују OBU; Без додатне опреме и трошкова за кориснике	Низак ниво услуге; Велики број возила у реду; Високи оперативни трошкови; Повећана емисија; Опасност по здравље особља задуженог за наплату путарине	-	Могућност злоупотребе
<b>АСМ</b>	Помоћни систем на наплатним станицама; Краће време опслуге у односу на мануелни систем	Заустављање возила; потребан ситан новац	-	Непоседовање тачног износа новца
<b>Вињета</b>	Стимулисање свакодневних корисника да користе аутопут; Смањење буке; Смањење загађења ваздуха; Уштеде у инфраструктурним трошковима	Нефер плаћање за иностране и повремене кориснике; Налепнице на ветробранском стаклу нарушавају изглед возила; Високи трошкови контроле	Привремене накнаде; Додатни TCS за одређене категорије возила	Прихватање од стране шире популације корисника; Честа контрола возача; Знатно скупљи за повремене кориснике; Без могућности интероперабилности
<b>DSRC са баријерама</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања у редовима; Смањење трошкова експлоатације возила (VOC); Смањење трошкова времена путовања (TTC); Смањена деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Велики број DSRC OBU се тренутно користи	Неефикасан за повремене кориснике без OBU; Високи инвестициони трошкови и трошкови одржавања инфраструктуре за наплату путарине; Проблем модификације већ имплементираних система	Једноставна промена са постојећег мануелног система на наведени TCS; Могућност пружања других услуга уз помоћ OBU; Интероперабилност	Мали проценат корисника који поседују OBU
<b>DSRC</b>	Плаћање без смањења брзине; Без временских губитака; Без повећања VOC и TTC; Повећање безбедности саобраћаја; Минимална деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висока поузданост; Ометање сигнала присутно у малој мери; Велики број DSRC OBU корисника; Једноставан за коришћење	Неефикасан за повремене кориснике без OBU; Високи трошкови контроле; Проблеми контроле возила без OBU; Неопходна опрема крај пута; Високи инвестициони трошкови и трошкови одржавања опреме за наплату путарине; Након имплементације тешко је модификовати систем	Све чешћа технологија; Ефикасан за возаче и оператере наплате путарине; Могућност пружања других услуга путем OBU; Интероперабилност	Избегавање плаћања путарине; Мање исплатив на путевима са малим протоком
<b>Бар-код</b>	Технологија која не захтева сложен систем; Плаћање у складу са пређеним километрима	Непоуздан током лоших временских прилика; Недостатак флексибилности; Низак интензитет опслуге; Низак комфор путника	-	Могућност краће баркод налепнице

TCS	Предности	Недостаци	Могућности	Ризици
<b>RFID са баријерама</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања у реду; Смањење VOC; Смањење TTC; Мања деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висок интензитет опслуге	Високи оперативни и инвестициони трошкови; Проблем мешања са фреквенцијама других уређаја; Неефикасан за повремене кориснике без OBU	Све чешћа технологија; Ефикасан за возаче и оператере наплате путарине; Ниска цена RFID налепнице и OBU	Угао инсталације опреме и компатибилност имају важну улогу у поузданости и тачности ових система
<b>RFID без баријера</b>	Плаћање без смањења брзине; Без временских губитака; Без чекања у реду; Смањење VOC; Смањење TTC; Мања деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висок интензитет опслуге	Проблем мешања са другим сигнаlima; Неефикасан за повремене кориснике без OBU	Све чешћа технологија; Ефикасан за возаче и оператере наплате путарине; Ниска цена OBU	Угао инсталације опреме и компатибилност имају важну улогу у поузданости и тачности ових система
<b>GNSS/CN</b>	Плаћање без заустављања; Плаћање без смањења брзине; Без временских губитака и чекања у реду; Без повећања VOC и TTC; Минимум деградације животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Повећање безбедности саобраћаја; Флексибилност у дефинисању и модификовању онога што се и на који начин наплаћује; Једном имплементиран, јефтинији за одржавање; Једноставно се може проширити на друге путеве и регионе	Приватност кретања корисника; Високи оперативни и инвестициони трошкови; Неефикасан за повремене кориснике без OBU; Високи трошкови контроле; Мање коришћена и зрела технологија у односу на друге технологије; Грешке у прецизности у одређеним деловима мреже за наплату, као што су паралелни путеви са слободним режимом коришћења и раскрснице; Потребно је инсталирати додатну опрему поред пута	Могућност навођења; Повећана безбедност саобраћаја и свеукупна сигурност корисника; Способност пружања других услуга путем OBU; Пружање информација о саобраћају, контрола брзине итд.	Интероперабилност; Подршка од стране јавности у погледу политике приватности мобилности корисника
<b>ANPR</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања у реду; Нема ограничења у погледу брзина возила; Смањење VOC; Смањење TTC; Мања деградација животне средине; Без OBU; Могућност уштеде у трошковима због аутоматске обраде података; Најуспешнији у комбинацији са другим технологијама за наплату путарине	Захтева да регистарске таблице буду у добром стању; Осетљивост на лоше осветљење и временске услове; Неопходан приступ подацима о возилима страних регистарских ознака; Трошкови ручне провере могу повећати оперативне трошкове; Погодан као подршка релативно једноставних политика наплате	Константно побољшање квалитета видео камере; Увек неопходан за контролу; Повећана свеукупна сигурност	Могућност крађе и избегавања плаћања путарине; Недостатак стандардизације регистарских таблица; Потребна је ручна верификација за потпуну ефективност

TCS	Предности	Недостаци	Могућности	Ризици
<b>Infrared</b>	Плаћање без заустављања; Без чекања у реду; Смањење VOC; Смањење ТТС; Мања деградација животне средине; Плаћање у складу са пређеним километрима; Висок интензитет опслуге; Висока поузданост; Поуздан у свим временским условима	Проблем мешања са другим сигнаlima; Високи оперативни и инвестициони трошкови	Једноставан прелазак са постојећег мануелног на активни инфрацрвени систем	Проблем мешања са фреквенцијама других уређаја; Недостатак интероперабилности
<b>Тахограф</b>	Одсуство проблема приватности и заштите података; Улагање у инфраструктуру за наплату путарине је релативно независно од мреже на којој се наплаћује путарина у том подручју; Ниски трошкови наплате путарине; Одржавање инфраструктуре за наплату путарине ограничено је на контролне станице на граничним прелазима	Крутост у дефинисању и модификовању онога што се наплаћује и на који начин се наплаћује унутар зоне наплате; Мала прецизност технологије наплате ( $\pm 4\%$ ); Сложен и скуп ОВU; Без интероперабилности; Високи почетни трошкови прекограничних контролних станица; Ретко коришћена технологија	-	Додатне услуге локације возила које се не могу обезбедити преко ОВU; Без интероперабилности
<b>Паметна картица</b>	Смањено време чекања у реду; Мало смањење VOC и ТТС; Деградација животне средине	Плаћање са заустављањем; Поузданост	Смањен број запослених у оквиру службе за наплату путарине	Недовољан број корисних паметних картица
<b>Паметни телефони</b>	Флексибилност у дефинисању и модификовању онога што се наплаћује и на који начин наплаћује; Мало улагање у инфраструктуру крај пута; Нема потребе за уређајем у возилу и скупом инфраструктуром; Једноставна за коришћење; Интероперабилност са другим технологијама за наплату; Ниски трошкови одржавања	Трајање батерије уређаја; Мање коришћена и зрела технологија од других; Неке области немају одговарајућу GSM покривеност; Није у стању да класификује возила; Тренутно нема доступних стандарда	Стална технолошка побољшања у индустрији паметних телефона; Могуће је интегрисати плаћање путарине са другим корисничким услугама; Интероперабилност	Проблем заштите података у погледу мобилне мреже коришћене за праћење положаја корисника



### 2.3.3. Групе и листа критеријума

Током радионица, експерти су дефинисали критеријуме, које су потом груписали у одговарајуће групе. Из Табеле 2.4 може се видети да су групе критеријума подељене на техничке, саобраћајне, финансијске, еколошке и социо-економске критеријуме. Свака група садржи три до пет критеријума, чиме су обухваћене све карактеристике алтернатива TCS. Укупан број критеријума износи двадесет. У Табели 2.4, такође је дат кратак опис сваког критеријума.

**Табела 2.4.** Групе и опис критеријума

Група критеријума	Критеријум	Опис
1. Технички	Интероперабилност	Интероперабилност са осталим системима наплате путарине у земљи и ван ње.
	Флексибилност	Могућност коришћења у друге сврхе (плаћање паркинга, наплате загушења, као и за навигацију, контролу саобраћаја, превенцију крађе возила итд.).
	Ефикасност	Способност система да идентификује више возила истовремено, базиран на брзини преноса података и сложености система.
	Поузданост	Способност система да на одговарајући начин идентификује возила и спроведе наплату, посебно у лошим временским условима.
	Контрола	Количина средстава ангажованих за контролу плаћања путарине. Удео оних који избегавају плаћање.
2. Саобраћајни	Ниво услуге	Утицај система на ниво услуге саобраћајног тока (брзина, однос проток/капацитет).
	Безбедност саобраћаја	Утицај система на безбедност саобраћаја.
	Број заустављања	Број заустављања током плаћања путарине.
	Временски губици	Повећање времена путовања које сваки систем узрокује.
3. Финансијски	Просечан трошак за корисника	Сума новца коју корисник мора да плати за коришћење система.
	Однос приход/трошак	Вредност односа приход/ трошкови за сваки систем.
	Инвестициони трошкови	Вредност инвестиционих трошкова, као износ инвестиционих издатака сваког система.
	Оперативни трошкови	Вредност оперативних трошкова, као износ оперативних издатака сваког система.
4. Еколошки	Визуелно наруживање околине	У којој мери систем визуелно нарушава околину.
	Загађење ваздуха	У којој мери систем доприноси загађењу ваздуха.
	Бука	У којој мери систем доприноси стварању буке.
5. Социо-економски	Фер плаћање	Да ли је систем фер према свим корисницима. Плаћање за оно што се користи.
	Једноставност коришћења	Једноставност коришћења система.
	Визуелно наруживање возила	На који начин опрема коју сваки систем захтева визуелно нарушава изглед возила.
	Могућност крађе и злоупотребе система	Могућност крађе и преваре система генерално.

### 2.3.4. Тежине критеријума

Током радионице, експерти су одредили тежине критеријума коришћењем претходно дефинисаног процеса. У Табели 2.5 приказане су оцене четири експерта која су учествовала у истраживању, изражене лингвистичким изразима. Коначне дефазификоване и нормализоване вредности тежина критеријума приказане су у Табели 2.6.

Табела 2.5. Оцене тежина критеријума изражене лингвистичким изразима

Група критеријума	Критеријум	DM <sub>1</sub>	DM <sub>2</sub>	DM <sub>3</sub>	DM <sub>4</sub>
1. Технички	Интероперабилност	MH	H	H	MH
	Флексибилност	M	ML	H	H
	Ефикасност	VH	H	VH	VH
	Поузданост	VH	VH	VH	VH
	Контрола	MH	ML	H	M
2. Саобраћајни	Ниво услуге	VH	MH	H	H
	Безбедност саобраћаја	H	M	H	H
	Број заустављања	H	M	H	H
	Временски губици	H	H	H	H
3. Финансијски	Просечан трошак за корисника	H	MH	MH	MH
	Однос приход/трошак	ML	M	VH	VH
	Инвестициони трошкови	M	MH	H	VH
	Оперативни трошкови	ML	ML	H	VH
4. Еколошки	Визуелно наруживање околине	L	ML	ML	M
	Загађење ваздуха	M	ML	MH	MH
	Бука	L	L	MH	MH
5. Социо-економски	Фер плаћање	MH	M	H	H
	Једноставност коришћења	MH	MH	MH	MH
	Визуелно наруживање возила	ML	M	M	ML
	Могућност крађе и злоупотребе система	H	H	H	H

Табела 2.6. Вредности тежина критеријума

	Фази тежина (W <sub>i</sub> )	W <sub>defuzzified</sub>	W <sub>normalized</sub>
Интероперабилност	(0,50;0,73;1,00)	0,85	0,05
Флексибилност	(0,15;0,60;1,00)	0,81	0,05
Ефикасност	(0,65;0,95;1,00)	1,04	0,06
Поузданост	(0,80;1,00;1,00)	1,05	0,06
Контрола	(0,15;0,56;1,00)	0,78	0,05
Ниво услуге	(0,50;0,81;1,00)	0,94	0,06
Безбедност саобраћаја	(0,30;0,73;1,00)	0,90	0,06
Број заустављања	(0,30;0,73;1,00)	0,90	0,06
Временски губици	(0,65;0,80;1,00)	0,89	0,05
Просечан трошак за корисника	(0,50;0,69;1,00)	0,81	0,05
Однос приход/трошак	(0,15;0,70;1,00)	0,91	0,06
Капитални трошкови	(0,30;0,74;1,00)	0,91	0,06
Оперативни трошкови	(0,15;0,60;1,00)	0,81	0,05
Визуелно наруживање околине	(0,00;0,31;0,65)	0,48	0,03
Загађење ваздуха	(0,15;0,53;0,80)	0,69	0,04
Бука	(0,00;0,40;0,80)	0,60	0,04
Фер плаћање	(0,30;0,69;1,00)	0,86	0,05
Једноставност коришћења	(0,50;0,65;0,80)	0,73	0,04
Визуелно наруживање возила	(0,15;0,40;0,65)	0,53	0,03
Могућност крађе и злоупотребе система	(0,65;0,80;1,00)	0,89	0,05

### 2.3.5. Оцењивање алтернатива и базна матрица улазних података

Експерти су бодовали алтернативе по сваком критеријуму, али због великог броја критеријума и алтернатива, Табела 2.7 приказује начин бодовања само за један критеријум - „интероперабилност“. Дефазификоване вредности алтернатива по критеријумима, оцењене од стране експерата, приказане су у Табели 2.8.



Табела 2.7. Оцене доносилаца одлука за сваки TCS по критеријуму “Интероперабилност”

Критеријум	Алтернативе (TCS)	DM <sub>1</sub>	DM <sub>2</sub>	DM <sub>3</sub>	DM <sub>4</sub>
Интероперабилност (C <sub>1</sub> )	Мануелни	W	M	MW	W
	АСМ	W	W	MW	W
	Вињета	W	VW	MW	W
	DSRC са баријерама	H	MH	M	MW
	DSRC без баријера	H	MH	MH	M
	RFID са баријерама	W	MW	M	MW
	RFID без баријера	W	MW	MH	M
	Баркод	VW	W	W	W
	GNSS/CN	VH	VH	VH	H
	ANPR	H	M	MH	M
	Infrared	W	MW	MW	W
	Тахограф	VW	W	W	W
	Паметна картица	VW	W	M	M
	Паметни телефони	H	MH	H	VH

Табела 2.8. Матрица вредности алтернатива по критеријумима

Критеријум	Мануелни	АСМ	Вињета	DSRC са баријерама	DSRC без баријера	RFID са баријерама	RFID без баријера	Баркод	GNSS/CN	ANPR	Infrared	Тахограф	Паметна картица	Паметни телефони
Интероперабилност	0,06	0,04	0,04	0,10	0,11	0,06	0,08	0,02	0,14	0,10	0,05	0,02	0,06	0,12
Флексибилност	0,01	0,03	0,00	0,11	0,11	0,09	0,09	0,02	0,11	0,10	0,08	0,05	0,08	0,12
Ефикасност	0,03	0,04	0,04	0,09	0,11	0,08	0,11	0,05	0,11	0,05	0,09	0,06	0,04	0,10
Поузданост	0,09	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,05	0,09	0,05	0,07	0,06	0,08	0,08
Контрола	0,02	0,03	0,13	0,01	0,10	0,01	0,10	0,07	0,10	0,08	0,09	0,10	0,05	0,09
Ниво услуге	0,01	0,03	0,04	0,08	0,10	0,08	0,10	0,06	0,10	0,10	0,08	0,08	0,04	0,09
Безбедност саобраћаја	0,03	0,03	0,07	0,07	0,09	0,07	0,09	0,08	0,10	0,10	0,08	0,09	0,03	0,06
Број заустављања	0,12	0,12	0,11	0,06	0,04	0,06	0,04	0,08	0,04	0,06	0,07	0,06	0,11	0,05
Временски губици	0,15	0,13	0,13	0,06	0,03	0,06	0,03	0,08	0,03	0,04	0,07	0,04	0,10	0,03
Просечан трошак кор.	0,08	0,09	0,12	0,06	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,09	0,05
Приход/трошак	0,03	0,06	0,07	0,08	0,09	0,08	0,09	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,09
Инвестициони трошкови	0,07	0,06	0,05	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	0,09	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07
Оперативни трошкови	0,10	0,07	0,09	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,08	0,07	0,06	0,07	0,06	0,07
Визуелно наруживање окол.	0,10	0,09	0,05	0,09	0,05	0,09	0,05	0,09	0,05	0,05	0,09	0,05	0,08	0,05
Загађење ваздуха	0,12	0,10	0,08	0,07	0,04	0,07	0,04	0,09	0,04	0,06	0,07	0,06	0,10	0,05
Бука	0,10	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07
Фер плаћање	0,08	0,06	0,01	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Једноставност кор.	0,01	0,03	0,02	0,08	0,11	0,08	0,10	0,06	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,11
Визуелно наруж. воз.	0,02	0,02	0,17	0,07	0,07	0,07	0,08	0,13	0,08	0,02	0,08	0,09	0,05	0,05
Могућност крађе	0,13	0,11	0,12	0,03	0,05	0,03	0,05	0,11	0,04	0,08	0,07	0,09	0,07	0,05

Табела 2.9 приказује природу сваког од критеријума, функцију преференције која је изабрана за сваки критеријум, као и вредности сваког параметра за изабрану функцију преференције.

Табела 2.9. Карактеристике дефинисаних критеријума

Критеријум	Природа критеријума (Мин./Макс.)	Тежина	Функција преференције	Вредност параметра $\rho$
Интероперабилност	макс.	0,05	Линеарна	0,12
Флексибилност	макс.	0,05	Линеарна	0,12
Ефикасност	макс.	0,06	Линеарна	0,08
Поузданост	макс.	0,06	Линеарна	0,04
Контрола	мин.	0,05	Линеарна	0,12
Ниво услуге	макс.	0,06	Линеарна	0,09
Безбедност саобраћаја	макс.	0,06	Линеарна	0,07
Број заустављања	мин.	0,06	Линеарна	0,08
Временски губици	мин.	0,05	Линеарна	0,12
Просечан трошак за корисника	мин.	0,05	Линеарна	0,07
Однос приход/трошкови	макс.	0,06	Линеарна	0,06
Инвестициони трошкови	мин.	0,06	Линеарна	0,04
Оперативни трошкови	мин.	0,05	Линеарна	0,04
Визуелно наруживање околине	мин.	0,03	Линеарна	0,05
Загађење ваздуха	мин.	0,04	Линеарна	0,08
Бука	мин.	0,04	Линеарна	0,03
Фер плаћање	макс.	0,05	Линеарна	0,07
Једноставност коришћења	макс.	0,04	Линеарна	0,10
Визуелно наруживање возила	мин.	0,03	Линеарна	0,15
Могућност крађе и злоупотребе система	мин.	0,05	Линеарна	0,10

### 2.3.6. PROMETHEE I и II рангирање алтернатива

У Табели 2.10 приказане су вредности  $\Phi_i$ ,  $\Phi_i^+$  и  $\Phi_i^-$ . Ранг алтернатива је добијен на основу PROMETHEE II.

Табела 2.10. Ранг алтернатива на основу PROMETHEE методе

Ранг	TCS	$\Phi_i$	$\Phi_i^+$	$\Phi_i^-$
1	<b>DSRC без баријера</b>	0,2348	0,2773	0,0425
2	<b>RFID без баријера</b>	0,2297	0,2752	0,0454
3	<b>Паметни телефони</b>	0,2200	0,2708	0,0509
4	<b>GNSS/CN</b>	0,2180	0,2961	0,0781
5	<b>DSRC са баријерама</b>	0,1506	0,2277	0,0770
6	<b>ANPR</b>	0,1148	0,2142	0,0995
7	<b>RFID са баријерама</b>	0,0995	0,1957	0,0962
8	<b>Infrared</b>	0,0172	0,1448	0,1277
9	<b>Тахограф</b>	-0,0148	0,1384	0,1532
10	<b>Паметна картица</b>	-0,1296	0,1163	0,2459
11	<b>Бар-код</b>	-0,1718	0,0861	0,2579
12	<b>АСМ</b>	-0,2721	0,0747	0,3467
13	<b>Вињета</b>	-0,3146	0,0835	0,3981
14	<b>Мануелни</b>	-0,3816	0,0850	0,4666

Анализом нето токова датих у Табели 2.10 може се закључити да су, према PROMETHEE I и PROMETHEE II, две најбоље рангиране алтернативе наплате путарине DSRC без баријера ( $\Phi_i=0.0425$ ) и RFID без баријера ( $\Phi_i=0.0454$ ). Затим следе алтернативе са нешто нижим вредностима нето токова (GNSS/CN и Паметни телефони), док друге алтернативе имају значајно ниже вредности позитивног, негативног и нето тока. Најниже рангирана алтернатива је Мануелни TCS.

### 2.3.7. Анализа осетљивости решења

У Табели 2.11 приказани су резултати анализе осетљивости комплетног ранга односно првог места на листи. Из Табеле 2.11 могу се видети опсежи вредности тежина критеријума неопходни да би комплетан ранг, односно прво место на ранг листи остали непромењени.

**Табела 2.11. Интервали стабилности решења**

Критеријум	Комплетан ранг остаје непромењен (%)	Прво место остаје непромењено (%)
Интероперабилност	3,18-6,03	3,18-10,57
Флексибилност	0,00-7,36	0,00-100,00
Ефикасност	2,86-8,32	2,25-18,44
Поузданост	1,63-6,68	0,00-8,84
Контрола	2,86-7,26	0,00-13,96
Ниво услуге	0,00-7,53	0,00-100,00
Безбедност саобраћаја	3,97-6,30	2,89-15,24
Број заустављања	0,00-7,36	0,00-100,00
Временски губици	0,00-15,10	0,00-100,00
Просечан трошак за корисника	4,39-8,02	0,00-8,02
Однос приход/трошкови	5,48-23,90	1,39-100,00
Капитални трошкови	5,65-7,73	2,98-7,73
Оперативни трошкови	4,30-10,10	0,00-27,62
Визуелно наруживање околине	1,25-6,48	0,00-100,00
Загађење ваздуха	0,00-5,39	0,00-100,00
Бука	0,00-14,18	0,00-100,00
Фер плаћање	0,00-10,56	0,00-100,00
Једноставност коришћења	0,00-11,97	0,00-100,00
Визуелно наруживање возила	2,10-7,20	0,00-12,06
Могућност крађе и злоупотребе	0,00-6,71	0,00-17,80

Имајући у виду да је потребно изабрати најбољи TCS, за доносиоце одлуке су важни интервали стабилности првог места на ранг листи. Из Табеле 2.11 може се видети да су у погледу осетљивости решења најдискутабилније тежине следећих критеријума: интероперабилност, ефикасност, поузданост, контрола наплате путарине, безбедност саобраћаја, просечан трошак за корисника, капитални трошкови, оперативни трошкови, визуелно наруживање возила и могућност злоупотребе и крађе. Тежине критеријума које апсолутно не ремете стабилност решења односе се на флексибилност система, ниво услуге, број заустављања, временске губитке, однос приход/трошкови, визуелно наруживање околине, загађење ваздуха, буку, фер плаћање и једноставност коришћења. На основу спроведене анализе осетљивости решења на промене у вредностима тежина критеријума генерално се може закључити да је прво место на ранг листи стабилно.

## 2.4. Дискусија

Систем за наплату путарине је од кључне важности за ефикасно функционисање наплатних станица, како са аспекта управљача пута тако и са аспекта корисника. Такође, имплементација система за наплату путарине захтева велика капитална улагања и лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема како за садашње, тако и за будуће генерације. Имајући то у виду, избор

одговарајућег система наплате путарине представља веома важну одлуку у процесу планирања наплате путарине. Такође, у пракси се доносиоци одлука често суочавају са избором одговарајућег система, на основу великог броја алтернатива, које често имају конфликтне предности и недостатке. С обзиром на значај одабира одговарајућег система наплате путарине и сложеност проблема, у оквиру докторске дисертације предложен је систем за подршку одлучивању.

Добијени резултати показују да су DSRC без баријера, RFID без баријера, Паметни телефони и GSNN-CN систем груписани на самом врху ранг листе. Важно је истаћи да су наведени системи базирани на слободном вишетрачном протоку и да не захтевају никакву промену брзине. DSRC без баријера има малу предност у односу на RFID без баријера. Систем заснован на паметним телефонима добио је нешто лошију оцену за саобраћајни критеријум – безбедност саобраћаја, док је GSNN-CN систем наплате путарине остварио нижу вредност за финансијске критеријуме (инвестиционе и оперативне трошкове). Упоредном анализом резултата добијених у овој дисертацији са резултатима добијеним у студији Vats et al. (2014), могу се уочити одређене разлике. Vats et al. (2014) утврдили су да је компромисно решење за Индију RFID систем, док су ANPR и GSNN-CN заузели друго и треће место. Треба напоменути да су у оквиру дисертације анализирани додатне технологије које нису укључене у оквиру студије Vats et al. (2014). Поред тога, у дисертацији је укључен већи број критеријума који су значајни како са аспекта управљача пута тако и са аспекта корисника и друштва у целини, као и већи број експерата из различитих области.

Како је објективна имплементација MADM поступка од највеће важности, посебно је важно изабрати релевантне експерте који ће учествовати на радионицама. Сам процес подршке одлучивању треба да има за циљ максимизирање перформанси одлука експерата минимизирањем људских когнитивних грешака. При томе посебну пажњу треба посветити дефинисању тежина критеријума, јер оне имају кључну улогу у аналитичком поступку за одређивање коначног ранга алтернатива. Такође, заједничка дискусија међу експертима током радионица представља важан аспект подршке процесу доношења одлука. Таква расправа је крајње неопходна за транспарентно и усаглашено представљање одлука. Поред тога, експерте би од самог почетка требало охрабрити да схвате процес доношења одлука као процес итеративног учења, где је крајњи циљ избор једне заједничке алтернативе. Стога, приступање процесу доношења одлука итеративно омогућава да се у обзир узме низ аспеката и циљева.

Предложени систем за подршку одлучивању могуће је применити у различитим студијама случаја, уз извесна прилагођавања локалним условима која се односе на избор одговарајуће листе алтернатива и дефинисање одређених вредности тежина критеријума.

### 3. Утврђивање ефеката система за наплату путарине на животну средину

#### 3.1. Опис проблема

Све заступљенији проблем глобалног загревања захтева ургентно и одлучно реаговање у свим сферама живота. За то је одговорна емисија гасова који изазивају ефекат стаклене баште, а који се доминантно састоје од  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{NO}_x$ . Према извештају USEPA (2019), у 2017. години у Сједињеним Америчким Државама (САД) у укупној емисији гасова који изазивају ефекат стаклене баште удео  $\text{CO}_2$  износио је 81,6%,  $\text{CH}_4$  10,2%,  $\text{N}_2\text{O}$  5,6%, док су остали гасови учествовали у укупном уделу од 2.6%.

Повећана мобилност, а пре свега доминантно учешће путничких аутомобила у којима су мотори са унутрашњим сагоревањем и њихов пораст, доприносе повећању зависности од фосилних горива и емисији штетних издувних гасова (Pasaoglu et al., 2012). Тако су се захтеви транспортног сектора за нафтним дериватима повећали за око 26% у земљама Европске Уније (ЕУ) од 1990. године, од чега је удео путничких аутомобила преко 50% (Ghersi & McDonnell, 2007). У погледу емисија  $\text{CO}_2$ , гаса који изазива ефекат “стаклене баште”, друмски транспорт је други највећи извор  $\text{CO}_2$ , са око 22% укупне емисије у 27 земаља ЕУ у 2008. години. Путнички аутомобили емитују више од 12% укупне емисије  $\text{CO}_2$  у ЕУ (Zervas, 2010).

Транспортни сектор један је од најбрже растућих сектора у земљама ЕУ у погледу емисије  $\text{CO}_2$  (са стопом раста од 36%) у последњих 18 година (Pasaoglu et al., 2012). Анализе су показале да ако би се овај раст наставио, емисија  $\text{CO}_2$  би се удвостручила до 2050. године, без технолошког напретка погонских система возила и политика ограничења емисија (Fulton et al., 2009). ЕУ је због тога 2010. године усвојила стратегију по којој би емисија  $\text{CO}_2$  требала да се смањи за 20% до 2020. године и за чак 80% до 2050. године, у односу на ниво из 1990. године (European Council, 2010; European Commission, 2011a). Да би се то постигло, потребно је остварити смањење од око 60% у транспортном сектору (European Commission, 2011b). Поједине анализе показују да би за достизање тог циља било потребно смањити емисију  $\text{CO}_2$  у сектору друмског транспорта за чак 95% до 2050. године с обзиром да су могућности смањења емисије у другим секторима углавном ограничене (Thomas, 2012).

Поред емисије  $\text{CO}_2$ , друмски транспорт је извор и других полутаната као што су  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{HC}$ . Нарочито се издваја у емисији  $\text{NO}_x$ , где са 40% представља доминантан удео емисије штетних гасова у односу на све остале гране привреде земаља ЕУ (Vestreng et al., 2009; ЕЕА, 2014). Оксиди азота ( $\text{NO}_x$ ), који настају пре свега као продукт сагоревања дизел мотора, представљају изузетно опасна једињења за респираторни систем људи, посебно једињења  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  (Krzyżanowski et al., 2005). Истраживања показују да  $\text{NO}_2$  има пет пута већи ниво токсичности у односу на  $\text{NO}$  (Reşitoğlu et al., 2015). Такође, утврђено је да се са повећањем концентрације  $\text{NO}_2$  за  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , стопа смртности људи повећава за 2,5%. Према извештају COMEAP (2015), утврђено је да је изложеност  $\text{NO}_2$  довела до пораста смртности за 4,3% у Уједињеном Краљевству, односно да је око 23.500 смрти у току године било повезано са емисијом  $\text{NO}_2$ . Иако је у Европи ниво  $\text{NO}_x$  опао у односу на максималну вредност из 1990. године, проблем раста емисије  $\text{NO}_2$  емитованог од стране дизел мотора и даље захтева примену напредних технологија ради постизања континуираних смањења (Uherek et al., 2010).

С обзиром на претходно наведено, изузетно штетне емисије полутаната које настају као продукт сагоревања тренутно доминантних погонских система (СУС мотори), уз свакодневни пораст мобилности и броја возила, захтевају што ранију имплементацију нових технологија са циљем смањења негативних утицаја на животну средину. Емисија штетних материја знатно се повећава у случајевима саобраћајних загушења, која могу настати на градским улицама, путевима са интензивним саобраћајним протоком, као и у зонама наплатних станица (Azeez et al., 2019).

Зоне станица за наплату путарине представљају критичан елемент саобраћајне инфраструктуре са еколошког аспекта. Наплата путарине је најраспрострањенији начин прикупљања надокнаде за коришћење путне инфраструктуре и као таква присутна је на појединим деловима путне мреже, у великом броју земаља широм света. Традиционални начин наплате путарине огледа се у мануелном прикупљању накнаде, односно захтева заустављање возила и потенцијално чекање у реду. Претходно наведено узрокује нагле промене брзине, односно појаву стани-крени процеса, што доводи до пораста временских губитака, потрошње горива, као и емисије издувних гасова возила.

Временом, уочавањем недостатака мануелног система, дошло је до развоја електронских система наплате путарине, са циљем побољшања услова у саобраћајном току. Побољшања се односе на смањење трошкова корисника (времена проведеног на наплатним станицама и потрошње горива), трошкова управљача пута (функционисања система за наплату путарине) и друштва у целини, пре свега кроз смањење негативних еколошких ефеката.

Системи за наплату путарине који се тренутно користе у свету могу се поделити у три основне групе у зависности од тога да ли захтевају заустављање возила, смањење брзине или слободан проток возила, односно кретање возила без икаквих промена у брзини вожње (Главић и други, 2017; Glavić et al., 2017a). Прва група обухвата системе који захтевају заустављање (нпр. мануелни систем, АСМ итд.), друга група се састоји од система који захтевају успоравање (нпр. DSRC са баријерама, RFID са баријерама итд.), док трећа група укључује системе који не захтевају никакву промену брзине возила (нпр. ANPR, GNSS/CN итд.). Ради лакше интерпретације резултата, прва група система ће у даљем тексту бити означена као Мануелни систем (MS), друга као ETC са баријерама (ETC), а трећа као ETC без баријера (MLFF).

Због присуства неповољног режима рада мотора у утицајним зонама наплатних станица, намеће се потреба за анализом ефеката различитих система наплате путарине на животну средину. Стога је у оквиру дисертације спроведено следеће (Milenković et al., 2020):

- Квантификовање емисије различитих полутаната (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и HC) при коришћењу различитих система за наплату путарине (MS, ETC и MLFF) од стране различитих врста возила (путничких и комерцијалних) са дизел и бензинским погонским горивом;
- Квантификовање емисије полутаната за различите фазе вожње у утицајним зонама наплатних станица (фазу успорења, убрзања, чекања на опслугу и чекања у реду), за MS, ETC и MLFF систем;
- Утврђивање разлика у емисијама разматраних полутаната при коришћењу MS, ETC и MLFF система;
- Квантификовање емисија разматраних полутаната за укупан годишњи ток возила на наплатним станицама у Републици Србији;
- Квантификовање еколошких уштеда које је могуће остварити преласком са постојећих на напредни (MLFF) систем наплате путарине у Републици Србији.

Пре него што се започело са процедуром мерења емисије на терену, било је неопходно урадити следеће: извршити преглед досадашњих истраживања из наведене области, дефинисати карактеристике мерне опреме и поступка мерења, дефинисати системе за наплату путарине који ће бити предмет анализе, изабрати деонице аутопута са наплатним станицама приближно идеалних геометријских карактеристика, утврдити репрезентативне термине за меродавне протоке, репрезентативна возила и дефинисати меродавне брзине возила.

Научни допринос овог истраживања огледа се у свеобухватном приступу анализе еколошког ефекта различитих система за наплату путарине. Посебна предност овог истраживања огледа се у начину мерења емисије полутаната. Наиме, у дисертацији је анализирана емисија полутаната у реалним саобраћајним условима, уз помоћ анализатора издувних гасова. У досадашњој литератури из ове области, свега је неколико радова базирано на мерењу емисије у реалним условима и то на узорку од најчешће једног путничког аутомобила (нпр. Song et al., 2008), док је највећи број радова базиран на коришћењу већ постојећих микросимулационих програма и софтвера (нпр. Bartin et al., 2007) или мерењу емисије у лабораторијским условима (нпр. Weng et al., 2015). Директним мерењем емисије на терену узети су у обзир бројни утицајни фактори који се јављају у реалности (нпр. отпори возила, метеоролошки услови, геометријске карактеристике пута итд.), а које је тешко или немогуће узети у обзир приликом анализе у лабораторијским условима. Свеобухватност приступа огледа се и у томе што је у дисертацији анализирана емисија четири полутанта ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{HC}$ ) при коришћењу сва три система за наплату путарине (MS, ETC и MLFF), од стране пет врста путничких аутомобила и две врсте комерцијалних возила, са бензинским или дизел погонским горивом. Такође, у дисертацији су одвојено разматране емисије полутаната за различите фазе вожње (фаза успоравања, убрзавања, као и фазе кретања возила и празног хода) при уласку и изласку из система, а у случају MS система емисија је квантификована и за различите дужине редова. На крају су, добијене вредности емисије полутаната, коришћене за прорачун уштеда које је могуће остварити на годишњем нивоу, преласком са постојећих на MLFF систем за наплату путарине у Републици Србији. Предложена методологија може се применити и у другим земљама, уз одређена прилагођавања локалним условима. Другим речима, основни кораци предложене методологије су неопходни за спровођење истраживања овог типа, али се морају узети у обзир одређени подаци који су карактеристични за конкретну наплатну станицу односно подручје истраживања. Имајући у виду да негативни еколошки утицај представља један од важних критеријума приликом избора одговарајућег система за наплату путарине (Vats et al., 2014; Milenković et al., 2018a), предложена методологија пружа подршку доносиоцима одлуке у том процесу.

### 3.2. Преглед литературе

Емисија полутаната у утицајним зонама наплатних станица била је предмет истраживања у значајном броју радова. Међутим, узорак и методологија истраживања умногоме су се разликовали. На пример, у највећем броју радова емисија полутаната утврђена је применом одговарајућих симулација и софтвера (Klodzinski et al., 1998; Saka et al., 2001; Lin & Yu, 2008; Liu et al., 2011; Bartin et al., 2007). Поједини аутори, емисију су анализирали у лабораторијским условима уз помоћ одговарајуће опреме (Weng et al., 2015), док је у неколико радова емисија полутаната мерена на терену, у реалним условима (Coelho et al., 2005; Song et al., 2008; Yan et al., 2017). Разлике у истраживањима постоје у односу на системе за наплату путарине који су разматрани у раду, односно у односу на системе чији су еколошки ефекти анализирани. Наиме, највећи број аутора анализирао је ефекте примене ETC система у односу на MS систем за наплату путарине (Washington & Guensler, 1994; Saka et al., 2001; Coelho et al., 2005; Song et al., 2008; Liu et al., 2011; Yan et al., 2017), док су у свега неколико радова разматрана сва три система - MS, ETC и MLFF (Pérez-Martínez, 2011; Hernandez et al., 2013). Такође, у различитим радовима анализирани су различите врсте полутаната. Поједини аутори анализирали су само емисију  $\text{CO}$  (Washington & Guensler, 1994; Lin & Yu, 2008), други само емисију  $\text{CO}_2$  (Pérez-Martínez, 2011; Hernandez et al., 2013), док је у појединим радовима анализирана емисија полутаната  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{CO}_2$ , (Coelho et al., 2005; Yan et al., 2017) или емисија полутаната  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{PM}$  (Liu et al., 2011; Bartin et al., 2007). Важно је истаћи и то да је у појединим радовима разматрана емисија при различитим модовима вожње – успоравању возила, времену опслуге, чекању у реду и убрзавању возила (Washington & Guensler, 1994; Coelho et al., 2005; Weng et al., 2015). У наставку су детаљније описана претходно наведена истраживања.

Washington & Guensler (1994) квантификовали су разлике у емисији CO између MS и ETC система за наплату путарине. За емисију полутаната коришћен је статистички „Modal“ модел, који представља модификовани „CALINE“ модел. Washington & Guensler (1994) анализирали су удео CO емисије који настаје као резултат процеса убрзања, успорења, фазе кретања возила и фазе празног хода. На саобраћајној деоници, симулирана су кретања возила при коришћењу MS и ETC система у случају „агресивне вожње“ и „просечне вожње“ возача. Меродаван возни парк добијен је на основу опсервације саобраћајног тока на наплатној станици, на основу узорка од 460 забележених возила. Добијени резултати показали су да смањена емисија CO, услед примене ETC система, зависи од режима вожње возила. Наиме, наведено смањење налази се у границама од 7 g/voz до 650 g/voz.

Klodzinski et al. (1998) анализирали су еколошке ефекте примене ETC система у односу на MS систем, на наплатној станици у Орланду, Флорида (САД). Ниво емисије полутаната HC, CO и NO<sub>x</sub> процењен је коришћењем програма „MOBILE5a“. Подаци о брзини, успоравању и убрзавању возила у утицајној зони наплатне станице прикупљени су коришћењем опреме за мерење пређених растојања. Добијени резултати показали су да је ETC систем на наплатној станици у Орланду довео до смањења емисије HC и CO за 7,2% и 7,3%, редом, и повећања емисије NO<sub>x</sub> за 33,7%.

Saka et al. (2001) анализирали су смањење емисија HC, CO и NO<sub>x</sub>, које настају као последица примене ETC технологије у Мериленду (САД), комбиновањем података са терена и коришћењем микросимулације за утврђивање емисије. Прикупљање података на терену обухватило је анализирање времена опслуге и времена путовања. Подаци о времену опслуге добијени су коришћењем видео камера, док су подаци о времену путовања прикупљени случајним одабиром и праћењем возила у утицајној зони наплатне станице. Резултати емисије, процењени коришћењем емисионих модела „MOBILE5b“ и „CMEM“, показали су да је примена ETC технологија смањила емисију разматраних полутаната до 41% на разматраној наплатној станици.

Coelho et al. (2005) анализирали су утицаје MS и ETC система за наплату путарине на три примарна приступна коридора у Лисабону, Португал. Емисиони модел заснован је на мерењима емисије у реалним условима (CO, NO, HC и CO<sub>2</sub>) једног лако теретног возила, опремљеног бензинским погонским агрегатом. Наиме, мерења емисије спроведена су са циљем квантификовања зависности између процеса кроз која возила пролазе на наплатној станици и емисија. Да би се описали „стани-крени“ процеси, присутни на наплатној станици, коришћен је радар заснован на технологији микроталасних Доплер сензора за мерење брзине и удаљености. Добијени резултати показали су да време опслуге и дужина реда директно утичу на ниво емисије возила, да је највећи проценат емисија за возило MS система путарине последица његовог убрзања (при повратку на крајњу брзину кретања) и да се преласком са MS на ETC систем наплате путарине може остварити смањење емисије CO за 61%–84%.

Lin & Yu (2008) показали су да се применом MLFF система могу остварити значајне користи у погледу квалитета ваздуха, у односу на MS систем за наплату путарине. У раду су упоређени утицаји конвенционалних система (MS и ACM) и система слободног тока (MLFF), на емисију издувних гасова. Параметри саобраћајног тока добијени су употребом видео камера. За процену емисије CO и дизел партикуларних честица (DPM) на наплатној станици у Илиноису (САД), коришћен је модификовани модел дисперзије („CAL3QHC Gaussian plume“ модел). У раду је анализирано седам сценарија који су се односили на различите уделе ETC возила у саобраћајном току. Добијени резултати показали су да нивои концентрација CO и DPM могу бити смањени до 37% и 58%, редом.



Song et al. (2008) спровели су истраживање на терену, коришћењем путничког аутомобила марке “Volkswagen Jetta”, како би утврдили емисију  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{CO}$  полутаната ЕТС система у односу на  $\text{MS}$  систем за наплату путарине. Наиме, наведено возило прошло је кроз наплатну станицу 48 пута. Емисије возила и брзине путовања прикупљени су при сваком пролазу за оба система наплате, коришћењем преносивог уређаја за мерење емисије (PEMS). Добијени резултати показали су да су забележене средње вредности  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{CO}$  за 16,4%, 71,2% и 71,3% мање на ЕТС наплатним тракама у односу на наплатне траке  $\text{MS}$  система, редом.

Liu et al. (2011) користили су микросимулациони модел како би утврдили утицај ЕТС трака у односу на траке са  $\text{MS}$  системом за наплату путарине. У раду је употребљен микросимулациони модел (“PARAMICS” интегрисан са “СMEM”) за симулирање саобраћајног тока и процену емисије. Просечни временски губици, потрошња горива и емисије возила ( $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{PM}$ ) изабрани су за параметре вредновања. Функционисање траке  $\text{MS}$  система и ЕТС система упоређени су у условима различитих пропусних капацитета, различитих брзина проласка возила и у условима различите процентуалне заступљености ЕТС возила. Добијени резултати показују да када се брзина проласка повећа са 0 на 30 km/h, остварује се смањење емисије до 51.78%. Такође, еколошке користи достижу највећу вредност само када је број ЕТС трака у складу са одговарајућом стопом коришћења ЕТС система. Прецизније, утврђено је да се емисије  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{PM}$  смањују за 46,27%, 53,65%, 55,95% и 51,26%, редом.

Vartin et al. (2007) спровели су микросимулацијски процес вредновања промена нивоа штетних материја у ваздуху, као резултат имплементације ЕТС система наплате путарине на мрежи аутопутева у Њу Џерзију (САД). “PARAMICS” софтвер коришћен је за симулирање тока, док су резултати емисије процењени коришћењем “MOBILE6.2”. Основни циљ је био да се утврде тренутни утицаји примене ЕТС система без промена у саобраћајним захтевима и дугорочни утицаји коришћења ЕТС система, са променама у саобраћајним захтевима. У раду је анализирана емисија  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{PM}_{10}$ , односно за сваки временски интервал утврђена је емисија сваког од наведених елемената у зависности од типа возила и брзине кретања. Добијени резултати показују да је применом ЕТС система наплате путарине могуће остварити смањење нивоа загађености у краткорочном периоду, међутим, анализа дугорочних утицаја указује да примена овог система није довољна да се компензује пораст саобраћајних захтева.

Perez – Martinez et al. (2011) су у свом раду, поред процене потрошње енергије, анализирали и емисију  $\text{CO}_2$  за три различита система наплате путарине ( $\text{MS}$ , ЕТС и  $\text{MLFF}$  систем), за четири категорије возила: путнички аутомобил, лако теретно возило, аутобус и тешко теретно возило. Студија је подразумевала испитивање услова у саобраћајном току на аутопуту у Шпанији, на деоници између Толеда и Мадрида, док је за прорачун захтеване потрошње енергије за три сценарија, односно три система за наплату путарине, коришћен “BOTOM-UP” механички модел. Такође, утврђен је интензитет емисије  $\text{CO}_2$  у зависности од количине потрошеног горива за сваку од категорија возила. Добијени резултати показују да су потрошња енергије и емисија  $\text{CO}_2$  у јакој корелацији са масом возила, ефикасношћу мотора, утицајем ветра и степеном убрзања. Потрошња енергије као и емисија  $\text{CO}_2$  у случају  $\text{MLFF}$  система чине само 7,4% укупне потрошње и емисије  $\text{MS}$  система, док је у случају употребе ЕТС система  $\text{CO}_2$  емисија редукована за само 4%, у односу на  $\text{MS}$  систем.

Hernandez et al. (2013) предложили су интегрисану „AD НОС“ методологију базирану на „СОРЕРТ IV“ за процену емисије CO<sub>2</sub> различитих система наплате, на мрежи аутопутева у Шпанији. Основни циљ њиховог рада огледао се у упоредној анализи потрошње енергије, односно емисијама CO<sub>2</sub> применом MS, ETC и MLFF система, при различитим процесима возње на наплатној станици. Као и у претходној студији и у овој је коришћен "БОТТОМ-UP" модел за фазе убрзања и успорења и мерење емисије. На основу модела је, након утврђивања утрошене енергије, утврђен интензитет угљеника у зависности од количине потрошеног горива за свако возило. Експандирањем резултата на целокупан саобраћајни ток, одређене су емисије CO<sub>2</sub> сваког од система. Возни парк Шпаније подељен је у неколико категорија: на путничке аутомобиле, комби возила, мотоцикле, аутовозове и аутобусе. Анализа је спроведена за радне дане и дане викенда, на две наплатне станице. Резултати показују да је применом савремених система наплате путарине могуће остварити уштеде у погледу смањења емисије CO<sub>2</sub> на годишњем нивоу, преко 70% применом MLFF система, односно преко 20% применом ETC система.

Weng et al. (2015) развили су практични модел за процену ефеката ETC система на ефикасност потрошње горива и емисију издувних гасова возила. Лабораторијски емисиони тест седам типова путничких возила, при различитим сценаријима наплате путарине, спроведен је помоћу анализатора издувних гасова, који бележи емисионе вредности СН, СО и NO<sub>x</sub>. За сваки сценарио спроведено је по пет поновљених експеримената. Претходно је спроведено теренско истраживање саобраћајних параметара на различитим наплатним станицама. Радарским детекторима бележене су тренутне брзине возила у утицајној зони наплатне станице. На крају су предложени модели за израчунавање индикатора који се заснивају на различитим типовима возила и различитим дужинама редова чекања, а који се могу користити и за процену еколошких користи од потрошње горива и емисија, као што је приказано у студији случаја из Пекинга (Кина). Резултати су показали да ће примена ETC система у Пекингу довести до уштеда у потрошњи горива од 12,5 милиона литара, смањене емисије возила за 2.230,20 тона, а и еколошких користи изражених у новчаним јединицама од око 18,52 милиона \$ у периоду од 2009. године до 2013 године.

Yan et al. (2017) анализирали су ниво емисије путничког аутомобила, у реалним условима, у случају MS и ETC система за наплату путарине у Кини. На основу АУТОплус анализатора издувних гасова аутомобила мерене су тренутне запреминске концентрације СО, НС, NO<sub>x</sub> и CO<sub>2</sub> са подацима о брзинама које су прикупљене уз помоћ GPS. Карактеристике саобраћајног тока путничког возила у ETC и MS тракама у различитим временским периодима анализирани су на основу теренског истраживања. Подаци о саобраћајном току прикупљени су уз помоћ дрона. Т-тест је спроведен како би се испитало да ли ETC систем статистички значајно доприноси повећању брзине, смањењу временских губитака и дужине реда, као и смањењу емисије. Добијени резултати јасно показују да ETC систем доприноси значајном побољшању нивоа услуге путева и унапређењу заштите животне средине.

У Табели 3.1 сумиран је приказ најзначајнијих карактеристика представљених радова, као што су методологија истраживања, подручје истраживања, узорак, предмет, циљ и кључни резултати истраживања.

Табела 3.1. Кључне карактеристике и резултати досадашњих истраживања

Аутори рада	Методологија	Узорак	Предмет	Циљ	Кључни резултати
Washington & Guensler (1994)	Резултати емисије процењени су коришћењем статистичког „Modal“ модела	Укупан ток возила	MS; ETC;	CO	Смањење емисије CO у опсегу од 7 g/voz до 650 g/voz, у зависности од режима војње, код ETC у поређењу са MS
Klodzinski et al. (1998)	Резултати емисије процењени су коришћењем програма „MOBILE5a“	Укупан ток возила	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC;	Смањење емисије HC и CO за 7,2% и 7,3%, редом и повећање емисије NO <sub>x</sub> за 33,7%, код ETC у поређењу са MS
Saka et al. (2001)	Резултати емисије процењени су коришћењем емисионих модела „MOBILE5b“ и „CMEM“	Укупан ток возила	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC;	Смањење емисије око 11% (0,85 kg) за NO <sub>x</sub> , више од 40% за HC (3,77 kg) и CO (36,04 kg)
Coelho et al. (2005)	Теорија редова коришћена је за процену дужине реда Емисије полутаната измерене су на терену, у реалним условима	Једно лако теретно возило са бензинским погонским агрегатом 100 мерења за „крени-стани“ процес и 10 за сваки од преосталих модела	MS; ETC;	CO; CO <sub>2</sub> ; NO <sub>x</sub> ; HC;	99% емисије CO повезано је са убрзањем возила након напуштања MS; Убрзање возила такође је доминантно и у NO и HC емисијама али у мањој мери; MS доприноси повећању емисије CO, NO, HC и CO <sub>2</sub> за 154%, 117%, 12% и 11%, редом, у односу на ETC;
Lin & Yu (2008)	Модификован модел дисперзије „CAL3QHC Gaussian plume“ коришћен је за предвиђање концентрације полутаната	Укупан ток за седам различитих сценарија – седам различитих удела ЕТЦ возила у саобраћајном току	MS; ACM; MLFF;	CO; DPM;	Ниво концентрације емисије CO у околини пута може бити смањен до 37%, а DPM 58%
Song et al. (2008)	Мерење емисије на терену коришћењем преносивог уређаја за мерење емисије	Једно путничко возило: Модел: Volkswagen Jetta (48 пролазака кроз HC)	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC;	Средње вредности емисије полутаната NO <sub>x</sub> , HC, и CO су за 16,4%, 71,2% и 71,3% редом мање за ETC у односу на MS
Liu et al. (2011)	Микросимулациони модел „PARAMICS“ интегрисан са „CMEM“ коришћен је за симулирање саобраћајног тока и процену емисије	Укупан ток возила	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC; PM;	Емисије CO, HC, NO <sub>x</sub> и PM смањују се код ETC у односу на MS за 46,27%, 53,65%, 55,95% и 51,26%, редом
Bartin et al. (2007)	Микросимулациони модел „PARAMICS“ коришћен је за симулирање тока Резултати емисије процењени су коришћењем „MOBILE6.2“	Укупан ток возила	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC; PM <sub>10</sub> ;	Краткорочне користи ETC у односу на MS јасно су видљиве; Користи нису очигледне током дужег периода, због повећања саобр. захтева;
Perez-Martinez (2011)	У раду је коришћен „BOTTOM-UP“ механички модел за прорачун потрошње енергије и емисије полутаната	Укупан ток Четири категорије возила: путнички аутомобил, лако теретно возило, аутобус и тешко теретно возило Дизел Бензин	MS; ETC; MLFF;	CO <sub>2</sub> ;	CO <sub>2</sub> емисија MLFF система чини само 7,4% емисије MS, док примена ETC система смањује само 4% CO <sub>2</sub> емисију, у односу на MS
Hernandez et al. (2013)	У раду је предложена интегрисана методологија „BOTTOM-UP“ модел је коришћен за фазе убрзања и успорења и мерење емисије Развијена је „AD HOC“ методологија за процену емисије, која је базирана на „COPERT IV“	Укупан ток возила Шест категорије возила За фазу убрзања, фазу успорења и фазу „крени-стани“	MS; ETC; MLFF;	CO <sub>2</sub> ;	Уштеде у погледу смањења емисије CO <sub>2</sub> на годишњем нивоу и преко 70% применом MLFF система, и преко 20% применом ETC система са баријерама, у односу на MS
Weng et al. (2015)	Спроведена је лабораторијска анализа емисије полутаната помоћу анализатора издувних гасова	Седам врста путничких аутомобила	MS; ETC;	CO; NO <sub>x</sub> ; HC;	Применом ETC система у Пекингу очекивало се смањење емисије полутаната за 730,89 t у 2013. год. у односу на MS
Yan et al. (2017)	Подаци о емисији прикупљени су у реалним условима уз помоћ анализатора	Један путнички аутомобил Модел: Lavidia	MS; ETC;	CO; CO <sub>2</sub> ; NO; HC;	Резултати показују да ETC систем доприноси значајном побољшању нивоа услуге и заштити животне средине

### 3.3. Методологија

#### 3.3.1. Опис мерне опреме и поступка истраживања

Мерење емисије издувних гасова у реалним условима вршено је анализатором AVL DiCom 4000, који има способност читавања резултата различитих параметара ( $\lambda$ , CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC и NO<sub>x</sub>) са фреквенцијом од 1 s. Апаратура за мерење емисије полутаната састоји се од сонде која се монтира на крај издувног система возила, црева које доводи издувне гасове до уређаја, филтера за гориво између сонде и црева и самог уређаја (Слика 3.1). Уређај читава податке и приказује их на екрану, док на меморијској картици памти податке и исписује их на траци односно преноси на рачунар (Слика 3.2).

Да би се утврдила емисија полутаната при различитим брзинама возила истовремено је коришћена мобилна апликација за мерење брзине, која је развијена од стране Саобраћајног факултета, Универзитета у Београду. Апликација је креирана у Eclipse интегрисаном окружењу за развој апликација и ради на андроид оперативном систему уз помоћ система за глобално позиционирање (GPS) пријемника. Прорачун положаја, а самим тим и брзине возила, врши се са фреквенцијом од 1 s. Приликом тестирања емисије издувних гасова, телефон са апликацијом за мерење брзине постављен је уз екран анализатора AVL DiCom 4000 (Слика 3.2). Свако мерење снимано је видео камером да би на основу видео снимка подаци о вредностима брзина, координата и параметара издувних гасова, били прецизно упарени. На тај начин добијена је вредност свих параметара емисије ( $\lambda$ , CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, HC и NO<sub>x</sub>) за сваку промену брзине, односно у свакој секунди.



Слика 3.1. Изглед инсталиране апаратуре на аутомобилу



Слика 3.2. Уређај за мерење емисије издувних гасова са апликацијом за мерење брзине

Потребно је напоменути да су мерења спроведена при сличним атмосферским условима (без значајног интензитета ветра, падавина, спољне температуре у опсегу од +6° C до +10° C), при радној температури мотора и уз коришћење горива са исте станице за снабдевање горивом.

#### 3.3.2. Избор меродавне наплатне станице за спровођење мерења

Имајући у виду чињеницу да су на наплатној станици у Републици Србији заступљена два система за наплату путарине, MS и ЕТС, емисије ових система утврђене су директним проласком возила кроз наплатну станицу. Трећи систем наплате путарине, односно MLFF, није заступљен у Републици Србији. Реч је о систему који не захтева никакву промену брзине, односно омогућава вожњу константном брзином, због чега је утицај овог система анализиран на деоницама аутопута, ван утицајне зоне наплатне станице.

Тестирање емисије издувних гасова у функцији различитих система наплате путарине спроведено је на наплатној станици “Шимановци”, у близини Београда (Република Србија), са приближно идеалним геометријским карактеристикама пута. Реч је о деоници профила аутопута са ширином саобраћајних трака од 3,75 m, у правцу, без уздужног нагиба. Посматрајући све карактеристике, може се закључити да је одабиром наплатне станице “Шимановци” избегнут утицај геометријских карактеристика пута на потрошњу горива и емисију издувних гасова.

### 3.3.3. Дефинисање меродавних возила

Један од најважнијих корака целокупне анализе утицаја примене различитих система за наплату путарине на емисију издувних гасова односи се на дефинисање репрезентативног узорка возила на којима је потребно спровести мерења. С обзиром да је реч о деоницама аутопута, у дисертацији је пре свега анализирана структура саобраћајног тока на аутопутевима. Подаци добијени са аутоматских бројача саобраћаја показују следећу расподелу: путнички аутомобили 84,26%, аутобуси 1,87%, лака теретна возила 1,16%, тешка теретна возила 2,45% и ауто-возови 10,25%. Имајући у виду да путнички аутомобили представљају доминантну категорију, у дисертацији је детаљна анализа посвећена управо овој категорији возила. На основу података о продаји нових возила и података се техничких прегледа у десетогодишњем периоду у Републици Србији, добијена су возила меродавних карактеристика (врста погонског горива, годиште, емисиона класа мотора итд.) најзаступљенијих класа путничких возила. Реч је о класама В, С, Д и Ј, са уделом у укупном току путничких аутомобила од 37,87%, 30,79%, 12,91% и 7,62%, редом. На основу утврђених карактеристика, одабрана су меродавна возила наведених класа путничких аутомобила на којима је вршено мерење (Табела 3.2).

**Табела 3.2. Техничке карактеристике тестираних путничких аутомобила**

Класа аутомобила	В сегмент	С сегмент	Д сегмент	Ј компакт	Ј компакт
Марка и тип	FIAT Punto	FORD Focus	BMW 320d	MAZDA CX-5	HONDA CRV
Погонско гориво	бензин	дизел	дизел	дизел	бензин
Запремина (ccm <sup>3</sup> )	1,242	1,560	1,995	2,191	1,997
Снага мотора (KW)	44	85	135	129	113
Трансмисија	MT 5	MT 6	AT 6	MT 6	MT 6
Годиште	2001	2011	2011	2014	2013
Емисиона класа	EURO III	EURO V	EURO V	EURO VI	EURO V
Километража (km)	89.000	161.000	46.000	81.000	101.000

Као што се може видети из Табеле 3.2, одабрана су по два возила из класе Ј (класа SUV и теренских возила). Разлог за избор два возила класе Ј огледа се пре свега у трендовима изузетног раста ове класе у укупном уделу путничких возила у целом свету. У Европи је само у периоду од 10 година (2007-2017) удео SUV порастао са 8% на 24,5% (укупан удео SUV и теренских возила свих величина), са скоро 15% раста продаје између 2016. и 2017. године. С обзиром на претходно наведено, уз очекивање даљег тренда раста ове класе возила у укупном току у Републици Србији, одабрана су два аутомобила SUV средње величине, од којих је један опремљен дизел, а други бензинским агрегатом.

Анализа структуре саобраћајног тока показала је да је друга најзаступљенија категорија возила у току категорија ауто-возова, са просечних 10,25%. Имајући то у виду, као и чињеницу да је мало пажње у досадашњим истраживањима на ову тему посвећено овој категорији возила, изабран је један репрезентативни представник чије су карактеристике приказане у Табели 3.3. Тестирање је такође спроведено и на једном представнику категорије лаких теретних возила, чије су техничке карактеристике такође приказане у Табели 3.3.

**Табела 3.3.** Техничке карактеристике тестираних комерцијалних возила

Класа аутомобила	Ауто-воз	Лако теретно возило
Марка и тип	IVECO STRALIS	MERCEDES-BENZ (MB) SPRINTER 313
Погонско гориво	дизел	дизел
Запремина (cm <sup>3</sup> )	10.308	2.148
Снага мотора (KW)	316	95
Трансмисија	АТ 12	МТ 5
Годиште	2006	2005
Емисиона класа	EURO IV	EURO III
Километража (km)	750.000	198.000
Маса (t)	19 t + полуприколица са 3 осовине и 15 т робе	2 t + без оптерећења

### 3.3.4. Дефинисање процеса вожње у утицајним зонама наплатних станица

Брзина возила, као и интензитет убрзања и успорења, који се реализују у зони наплатне станице, значајно се разликују код разматраних система за наплату путарине. Код затвореног MS система за наплату путарине, присутан је процес 120-0-120 km/h, због процедуре ручног узимања картице приликом уласка и обављања плаћања приликом изласка из система. Овај систем подразумева три фазе: фазу успоравања, опслуживања (чекања) и убрзавања. Уколико на наплатној станици постоји формирана ред возила јавља се и фаза чекања у реду, као и стани-крени процес померања возила у реду. У дисертацији је претпостављена могућност формирања реда при процесу плаћања путарине, па је тестирање при овом процесу обављено за три сценарија. Сценарио I подразумева потпуно одсуство реда, сценарио II присуство једног, а сценарио III два возила у реду.

ЕТС систем наплате путарине не захтева потпуно заустављање возила већ успоравање на одређену брзину којом је могућ пролазак зоне рампе читавањем тага при уласку и изласку из система. Стога су код ЕТС система заступљене фазе успоравања, убрзавања, као и вожње константном брзином приликом проласка кроз зону рампе. Просечна брзина проласка зоне рампе ЕТС система мерена је радаром на наплатној станици “Шимановци”. Истраживањем на узорку од 539 путничких возила добијена је просечна вредност брзине од 39,6 km/h (при прорачунима заокружено на 40 km/h). На основу добијених резултата, процес тестирања ЕТС система подразумевао је мерење емисије приликом процеса 120-40-120 km/h.

Такође, важно је истаћи да је симулирање коришћења MLFF система подразумевало мерење емисије приликом процеса вожње константном брзином од 120 km/h.

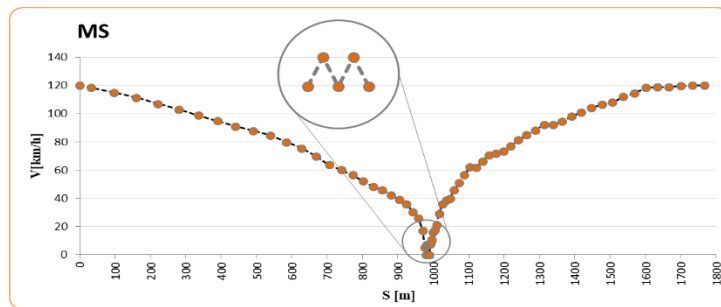
Потребно је напоменути да се претходно наведене вредности брзина у свим процесима односе на путничке аутомобиле. Приликом тестирања комерцијалних возила (лако теретног возила и ауто-воза), због специфичности возно-динамичких карактеристика и законских ограничења ових категорија возила, коришћене су следеће брзине:

- Брзина при вожњи константном брзином: 80 km/h,
- Брзина проласка кроз наплатну рампу: 40 km/h за лако теретно возило, односно 20 km/h за ауто-воз (утврђена на узорку од 103 комерцијална возила идентичном методом као код путничких возила).

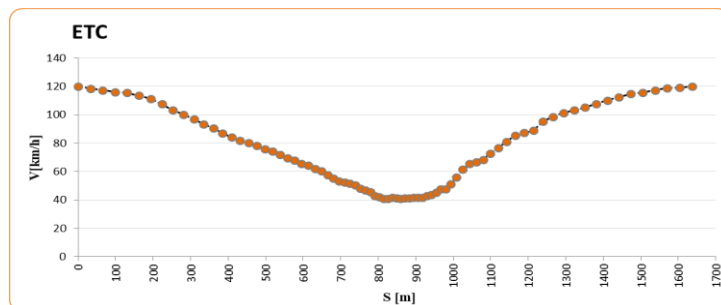
Стога је мерење емисије лаких комерцијалних возила спроведено при процесу 80-0-80 km/h код MS, односно 80-40-80 km/h код ЕТС система. Мерење емисије полутаната код ауто-возова подразумевало је процес 80-0-80 km/h код MS, односно 80-20-80 km/h код ЕТС система. Симулирање коришћења MLFF система подразумевало је мерење емисије приликом вожње константном брзином од 80 km/h.

Возачи возила која су учествовала у истраживању имали су задатак да у максималној мери опонашају реални саобраћајни ток, односно да њихов процес кретања у утицајној зони наплатне станице буде у складу са кретањем меродавног возила.

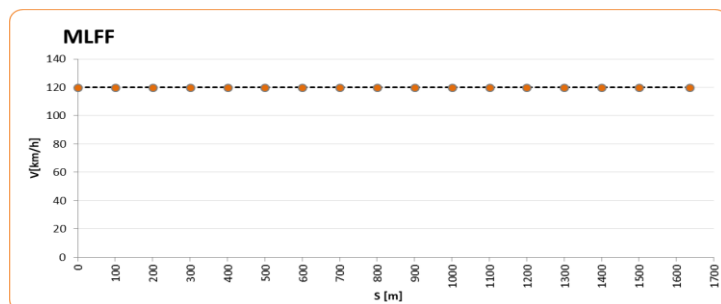
Приликом обраде резултата мерења, уочене су одређене разлике у дужинама зона између MS и ETC система. Као што је очекивано, утицајна зона MS система наплате већа је код свих возила због веће редукције брзине (процес 120-0-120 km/h) у односу на ETC систем (процес 120-40-120 km/h). Као што је већ наглашено, за разлику од MS и ETC система, код којих се јасно може уочити укупна дужина утицајних зона наплатних станица (зона одступања од константне брзина кретања возила), код MLFF система она не постоји. Разлог томе огледа се у технологији функционисања овог система која не захтева никакво смањење приближно константне брзине ради обављања наплате путарине. Стога, приликом поређења емисија полутаната MLFF система са MS системом коришћена је дужина утицајне зоне MS, док је приликом упоредне анализе емисије MLFF система са ETC системом коришћена утврђена дужина утицајне зоне ETC система. Следећи графикони (3.1-3.3), на примеру једног од возила које је учествовало у истраживању (возило марке “FORD”), приказују упоредну анализу процеса кретања возила у утицајним зонама разматраних система.



**Графикон 3.1.** Профил брзине у функцији пређеног пута за MS систем наплате путарине



**Графикон 3.2.** Профил брзине у функцији пређеног пута за ETC систем наплате путарине



**Графикон 3.3.** Профил брзине у функцији пређеног пута за MLFF систем наплате путарине

### 3.3.5. Поступак конверзије концентрације полутаната

Анализатор издувних гасова коришћен за потребе мерења емисије у реалном току приказује концентрацију полутаната у % Vol и ppmVol. Да би се извршила конверзија измерених концентрација загађивача, у количинске/квантитативне јединице gpoll/s или gpoll/km, у току мерења, сваке секунде, читавани су: брзина возила, потрошња горива и број обртаја мотора. У првом кораку, на основу познатих стехиометријских једначина (Ленаси и други, 1995; Неуууд, 2018), израчунате су масе угљен-диоксида ( $G_{CO_2}$ ), угљен-моноксида ( $G_{CO}$ ), кисеоника ( $G_{O_2}$ ) и азота ( $G_{N_2}$ ) које се продукују сагоревањем једног килограма горива. Променљиве  $G_{CO_2}$ ,  $G_{CO}$ ,  $G_{O_2}$  и  $G_{N_2}$  зависе од услова сагоревања ( $\lambda < 1$  или  $\lambda \geq 1$ ) и састава горива. У другом кораку, на основу пропорционалности, прорачуната количина загађивача по килограму сагорелог горива пројектује се на потрошњу горива која се остварује током сваке секунде мерења концентрације загађивача. Пошто се издувни гасови могу третирати као идеални гасови (Неуууд, 2018), посредством Клапејронове једначине, добијају се емисије изражене у gpoll/s према следећој изведеној формули:

$$\left[ \frac{g_{poll}}{s} \right] = \frac{\%Vol_{poll}}{100} \left( \frac{G_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{G_{N_2}}{M_{N_2}} + b \right) \cdot \frac{FC \cdot \rho_{fuel}}{100} \cdot M_{poll} \cdot \frac{S}{1000} \cdot \frac{1}{t} \quad (3.1)$$

Где је % Volpoll - измерена концентрација карактеристичног загађивача ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $HC$  или  $NO_x$ ) помоћу анализатора;  $G_{CO_2}$ ,  $G_{N_2}$  - количина угљен-диоксида односно азота која се емитује сагоревањем једног килограма горива [g];  $b$  - за  $\lambda < 1$ ,  $b = G_{CO}/M_{CO}$ ; за  $\lambda \geq 1$ ,  $b = G_{O_2}/M_{O_2}$ ;  $G_{CO}$  и  $G_{O_2}$  - количина угљен-моноксида односно кисеоника која се емитује сагоревањем једног килограма горива;  $M_{CO_2}$ ,  $M_{N_2}$ ,  $M_{CO}$  и  $M_{O_2}$  - молекулске масе угљен-диоксида, азота, угљен-моноксида и кисеоника, редом;  $M_{poll}$  - молекулска маса загађивача чија се емисија прорачунава;  $FC$  - очитана потрошња горива сваке секунде [l/100km];  $\rho_{fuel}$  - густина горива [kg/l];  $s$  - растојање које возило пређе за једну секунду [m];  $t$  - временски интервал од 1 секунде; При раду возила у празном ходу, Формула (3.1) дата је у облику Формуле (3.2):

$$\left[ \frac{g_{poll}}{s} \right] = \frac{\%Vol_{poll}}{100} \left( \frac{G_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{G_{N_2}}{M_{N_2}} + b \right) \cdot \frac{FC_{(l/h)} \cdot \rho_{fuel}}{3600} \cdot M_{poll} \quad (3.2)$$

Формулу (3.1) није увек могуће користити у процесу кочења јер су тада вредности  $\lambda$  углавном веће од 10 тј. анализатор их не региструје. Због тога је према (González et al., 2016), везано за процес кочења, иницијално коришћена формула која даје емитовану количину издувних гасова у зависности од броја обртаја мотора ( $n$ ), волуметријске ефикасности ( $\eta_v$ ), запремине мотора ( $V_d$ ), густине усисног ваздуха ( $\rho_{a,0}$ ) и односа мешавине горива и ваздуха ( $m_{fuel}/m_{air}$ ), Формула (3.3):

$$m_{exh} = \frac{1}{2} \cdot \eta_v \cdot V_d \cdot n \cdot \rho_{a,0} \cdot \left( 1 + \frac{m_{fuel}}{m_{air}} \right) \quad [kg/s] \quad (3.3)$$

Пошто се ради о кочењу, однос мешавине горива и ваздуха може се занемарити због система прекида дотока горива. Остале усвојене вредности су:  $\eta_{vdiesel} = 0.9$ ;  $\eta_{vgasoline} = 0.8$ ;  $\rho_{a,0} = 1.146$  kg/m<sup>3</sup>. Емисије загађивача изражене у gpoll/s, посредством Клапејронове једначине, добијају се према изведеној формули (3.4):

$$\left[ \frac{g_{poll}}{s} \right] = M_{poll} \cdot \frac{\%Vol_{poll}}{100} \cdot \frac{m_{exh} \cdot 1000}{\left( \frac{\%Vol_{CO} \cdot M_{CO}}{100} + \frac{\%Vol_{N_2} \cdot M_{N_2}}{100} + \frac{\%Vol_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{100} + \frac{ppmVol_{HC} \cdot M_{HC}}{1000000} + \frac{ppmVol_{NO_x} \cdot M_{NO_x}}{1000000} \right)} \quad (3.4)$$



### 3.3.6. Поступак прорачуна емисија полутаната у утицајној зони наплатне станице

Као што је већ напоменуто, процеси заустављања возила односе се само на MS систем за наплату путарине, односно ови процеси нису присутни при коришћењу ETC и MLFF система, због одсуства потребе за заустављањем.

Наиме, у случају затвореног MS система за наплату путарине, возила се морају регистровати приликом уласка у систем, што подразумева узимање картице. Такође, возачи ових возила морају да плате коришћење аутопута приликом изласка из система. Код отвореног MS система за наплату путарине присутан је само процес плаћања. Оба наведена процеса трају извесно време, при чему возило стоји у месту, односно налази се у режиму празног хода (рад на леру).

Просечно време опслуге процеса наплате путарине и узимања картице измерено је штоперицом на каналима MS система за наплату путарине, на узорку од 642 возила, и износи 23,8 s, односно 4,4 s, редом (Табела 3.4). Добијене вредности времена узимања картице (заокружено на 4,5 s) и времена плаћања услуге (заокружено на 24 s) коришћене су при прорачуну емисије издувних гасова у случају коришћења MS система за наплату путарине.

**Табела 3.4.** Време опслуге приликом узимања картице и плаћања путарине

	Аритметичка средина	Стандардно одступање	Минимум	Максимум
Време узимања картице (s)	4,41	0,56	3,00	6,00
Време плаћања (s)	23,81	13,09	9,00	130,00

Емисија возила  $i$  приликом процеса узимања картице и процеса плаћања, утврђена је коришћењем следећих формула:

$$E_{(card)i} = t_{card} \times E_{(idle)i} \quad (3.5)$$

$$E_{(paym)i} = t_{paym} \times E_{(idle)i} \quad (3.6)$$

Где је  $i$  - возило одређене категорије и марке;  $E_{(card)i}$  - емисија возила  $i$  приликом узимања картице (g);  $E_{(paym)i}$  - емисија возила  $i$  приликом плаћања путарине (g);  $E_{(idle)i}$  - емисија возила  $i$  приликом рада возила у празном ходу (g/s);  $t_{card}$  - време потребно за узимање картице (s);  $t_{paym}$  - време потребно за плаћање путарине (s).

Емисија возила  $i$  приликом чекања у реду и стани-крени процесу, при процесу плаћања, утврђена је на следећи начин:

$$E_{(queue)i} = n \times t_{paym} \times E_{(idle)i} + n \times E_{(stop\&go)i} \quad (3.7)$$

Где је  $E_{(queue)i}$  - емисија возила  $i$  приликом чекања у реду и стани-крени процесу (g);  $E_{(stop\&go)i}$  - емисија возила  $i$  при стани-крени процесу (g);  $n$  - број возила који чекају у реду (за I сценарио  $n=0$ ; II сценарио  $n=1$ ; и III сценарио  $n=2$ ).

Емисија возила при процесима успоравања (Формуле 3.8-3.9), убрзавања (Формуле 3.10-3.11), као и при вожњи константном брзином (Формуле 3.12-3.13) добијена је сумирањем измерених вредности емисије возила у свакој секунди (g/s) вожње утицајном зоном система за наплату, за целокупан процес успоравања/убрзавања односно кретања возила константном брзином.

$$E_{(120-0)i} = \sum_{j=1}^{t_{(120-0)}} E_{(120-0)j} \text{ за MS; односно } E_{(120-40)i} = \sum_{j=1}^{t_{(120-40)}} E_{(120-40)j} \text{ за ETC;} \quad (3.8 - 3.9)$$

$$E_{(0-120)i} = \sum_{j=1}^{t_{(0-120)}} E_{(0-120)j} \text{ за MS; односно } E_{(40-120)i} = \sum_{j=1}^{t_{(40-120)}} E_{(40-120)j} \text{ за ETC;} \quad (3.10 - 3.11)$$

$$E_{(con40)i} = \sum_{j=1}^{t_{(con40)}} E_{(con40)j} \text{ за ETC; односно } E_{(con120)i} = \sum_{j=1}^{t_{(con120)}} E_{(con120)j} \text{ за MLFF;} \quad (3.12 - 3.13)$$

Укупна емисија полутаната сваког возила при коришћењу затвореног MS система (Формула 3.14) (узимање картице при улазу + плаћање при излазу из система), ETC система (Формула 3.15) (очитавање тага при улазу + очитавање тага при излазу из система) и MLFF система (Формула 3.16) утврђена је на следећи начин:

$$E_{(MS)i} = (E_{(120-0)i} + E_{(card)i} + E_{(0-120)i}) + (E_{(120-0)i} + E_{(queue)i} + E_{(paym)i} + E_{(0-120)i}) \quad (3.14)$$

$$E_{(ETC)i} = (E_{(120-40)i} + E_{(con40)i} + E_{(40-120)i}) + (E_{(120-40)i} + E_{(con40)i} + E_{(40-120)i}) \quad (3.15)$$

$$E_{(MLFF)i} = E_{(con120)i} \quad (3.16)$$

Где је  $E_{(120-0)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу 120-0 km/h;  $E_{(0-120)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу 0-120 km/h;  $E_{(120-40)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу 120-40 km/h;  $E_{(40-120)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу 40-120 km/h;  $E_{(con120)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу војње константном брзином од 120 km/h;  $E_{(con40)i}$  - емисија возила  $i$  при процесу војње константном брзином од 40 km/h;  $E_{(MS)i}$  - емисија возила  $i$  при коришћењу MS система;  $E_{(ETC)i}$  - емисија возила  $i$  при коришћењу ETC система;  $E_{(MLFF)i}$  - емисија возила  $i$  при коришћењу MLFF система.

### 3.3.7. Одређивање јединичних трошкова загађивача

Пре спровођења прорачуна укупних трошкова емисије издувних гасова, неопходно је одредити јединичне трошкове загађивача изражених у €/t. Јединични трошкови за загађиваче HC и NO<sub>x</sub> добијени су према Preiss et al. (2008). Према овом документу, у првом кораку, за сваку од земаља у Европи, одређени су базни јединични трошкови загађивача NO<sub>x</sub> и HC у 2000. години. При томе, узете су у обзир социо-економске карактеристике земаља и њихов географски положај. Имајући у виду процењен просечан раст бруто домаћег производа (БДП) на европском нивоу од 2% у периоду до 2030. године и 1% у периоду од 2030. године до 2050. године, према методологији наведеној у Preiss et al. (2008), могуће је одредити вредност трошкова поменутих загађивача за било коју годину у распону од 2000. године до 2050. године. У 2018. години, за потребе овог истраживања, добијени су јединични трошкови за NO<sub>x</sub> и HC у износу од 10.215 [€/t] и 572 [€/t], редом.

Према тренду промене екстерних трошкова климатских промена (Maibach et al., 2008), усвојена је вредност јединичног трошка CO<sub>2</sub> у 2018. години у износу од 37 €/t. Пошто се CO у транзитном саобраћају може третирати као полутант који утиче на климатске промене (USEPA, 2002), и на основу GWP вредности CO (GWPCO=3, IPCC, 2013), усвојен је јединични трошак CO у 2018. години у износу од 111 €/t (UCCO, 2018=3\*UCCO<sub>2</sub>).

### 3.3.8. Обрада података

База прикупљених података формирана је у Microsoft Office Excel v. 2017, где су спроведени прорачуни емисија полутаната за изабране системе наплате путарине и еколошке користи у оквиру Студије случаја. Криве које приказују промене емисија полутаната CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> током

процеса успорења и убрзања, на примеру једног возила „FORD” фитоване су коришћењем софтвера TableCurve 2D v. 5.01. Изабране CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> криве емисија добро одговарају подацима (у погледу вредности Adj. R<sup>2</sup> и Fit SE).

### 3.4. Резултати

У овом поглављу најпре су приказане добијене вредности емисија полутаната сваког појединачног возила, сумиране по разматраним процесима различитих система наплате путарине, са циљем њихове упоредне анализе. На тај начин, могуће је уочити смањење емисије полутаната применом савремених система за наплату путарине, по сваком појединачном возилу. Након тога су, кроз студију случаја система за наплату путарине у Републици Србији, приказане еколошке уштеде саобраћајног тока које је могуће остварити на годишњем нивоу преласком са постојећих на напредни систем наплате путарине (Milenković et al., 2020).

#### 3.4.1. Емисија полутаната при коришћењу различитих система за наплату путарине

Укупна емисија сваког појединачног возила код затвореног система наплате путарине обухвата емисију при процесу уласка у систем (узимање картице/очитавање тага) и процесу изласка из система (плаћање путарине). Због тога су у наставку дате вредности емисија полутаната сваког појединачног возила за оба наведена процеса.

##### 3.4.1.1. Емисија возила при процесу уласка у систем наплате путарине

У Табелама 3.5-3.7 приказане су вредности емисије полутаната (CO, CO<sub>2</sub>, HC и NO<sub>x</sub>) по сваком разматраном возилу при процесу уласка у систем, у случају коришћења MS и ETC система, односно проласка кроз MLFF систем за наплату путарине. Посматрајући једно возило из Табеле 3.5, на пример возило марке „FORD“, може се видети да би при коришћењу MS система (процес узимања картице), наведено возило емитовало 1,31g CO, 328,40g CO<sub>2</sub>, 0,11g HC и 1,88g NO<sub>x</sub>, док би при коришћењу MLFF система, наведено возило емитовало 0,30g CO, 254,89g CO<sub>2</sub>, 0,046g HC и 0,622g NO<sub>x</sub>. Преласком са MS на MLFF систем ово возило би остварило смањење емисије CO за 77%, CO<sub>2</sub> за 22%, HC за 58% и NO<sub>x</sub> за 67%.

**Табела 3.5.** Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и MLFF система при процесу уласка у MS систем наплате путарине

ПУТНИЧКИ АУТОМОБИЛИ													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	FORD	1,308	328,395	0,111	1,884	0,299	254,891	0,046	0,622	77	22	58	67
	BMW	0,000	353,823	0,039	2,369	0,000	234,193	0,011	0,518	0	34	71	78
	MAZDA	0,415	479,570	0,051	1,841	0,227	350,040	0,024	0,904	45	27	53	51
Бензин	FIAT	18,959	461,329	0,063	0,550	10,048	266,870	0,023	0,309	47	42	63	44
	HONDA	0,818	470,387	0,105	0,084	0,259	333,263	0,003	0,002	68	29	97	98
ЛАКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	MB	1,227	547,694	0,045	3,754	0,843	403,753	0,037	2,411	31	26	19	36
ТЕШКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	IVECO	2,187	1.481,985	0,299	15,028	0,995	1.131,441	0,121	10,894	55	24	59	28

У Табели 3.6 приказана је упоредна анализа емисије полутаната разматраних возила при уласку у ЕТС систем, односно проласку кроз MLFF систем наплате путарине. Коришћење ЕТС система, који подразумева читавање тага, код возила марке „FORD“ узроковало би следећу емисију полутаната: 0,95g CO, 274,31g CO<sub>2</sub>, 0,05g HC и 1,70g NO<sub>x</sub>, док би у овом случају коришћење MLFF система довело до емисије 0,28g CO, 237,80g CO<sub>2</sub>, 0,04g HC и 0,58g NO<sub>x</sub>. Коришћење MLFF уместо ЕТС система довело би до смањења емисије CO за 71%, CO<sub>2</sub> за 13%, HC за 15% и NO<sub>x</sub> за 66%.

**Табела 3.6.** Упоредна анализа емисије полутаната применом ЕТС и MLFF система при процесу уласка у ЕТС систем наплате путарине

ПУТНИЧКИ АУТОМОБИЛИ													
Врста горива	Марка возила	ЕТС (g)				MLFF (g)				Смањење емисије ЕТС-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	FORD	0,953	274,313	0,050	1,703	0,279	237,799	0,043	0,581	71	13	15	66
	BMW	0,000	276,927	0,017	2,118	0,000	233,132	0,011	0,516	0	16	32	76
	MAZDA	0,367	310,559	0,036	1,331	0,188	289,961	0,020	0,749	49	7	46	44
Бензин	FIAT	10,356	379,434	0,049	0,450	9,218	244,812	0,021	0,283	11	35	56	37
	HONDA	0,474	376,467	0,047	0,050	0,242	311,313	0,003	0,002	49	17	93	97
ЛАКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	ЕТС (g)				MLFF (g)				Смањење емисије ЕТС-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	MB	0,610	389,309	0,030	2,551	0,592	279,070	0,026	1,636	3	28	11	36
ТЕШКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	ЕТС (g)				MLFF (g)				Смањење емисије ЕТС-MLFF (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	IVECO	1,964	1.340,692	0,275	12,868	0,986	1.121,584	0,120	10,799	50	16	56	16

Упоредна анализа емисије полутаната разматраних возила при коришћењу MS и ЕТС система приказана је у Табели 3.7, из које се може видети да би применом ЕТС уместо MS система дошло до смањења емисије CO за 27%, CO<sub>2</sub> за 16%, HC за 54% и NO<sub>x</sub> за 10%.

**Табела 3.7.** Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и ЕТС система при процесу уласка у систем

ПУТНИЧКИ АУТОМОБИЛИ													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				ЕТС (g)				Смањење емисије MS-ЕТС (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	FORD	1,308	328,395	0,111	1,884	0,953	274,313	0,050	1,703	27	16	54	10
	BMW	0,000	353,823	0,039	2,369	0,000	276,927	0,017	2,118	0	22	57	11
	MAZDA	0,415	479,570	0,051	1,841	0,367	310,559	0,036	1,331	12	35	28	28
Бензин	FIAT	18,959	461,329	0,063	0,550	10,356	379,434	0,049	0,450	45	18	23	18
	HONDA	0,818	470,387	0,105	0,084	0,474	376,467	0,047	0,050	42	20	55	40
ЛАКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				ЕТС (g)				Смањење емисије MS-ЕТС (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	MB	1,227	547,694	0,045	3,754	0,610	389,309	0,030	2,551	50	29	34	32
ТЕШКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО													
Врста горива	Марка возила	MS (g)				ЕТС (g)				Смањење емисије MS-ЕТС (%)			
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	IVECO	2,187	1.481,985	0,299	15,028	1,964	1.340,692	0,275	12,868	10	10	8	14

### 3.4.1.2. Емисија возила при процесу изласка из система наплате путарине

Измерене вредности емисије полутаната по сваком разматраном возилу, при процесу изласка из MS и ETC система, односно проласка кроз MLFF систем за наплату путарине, за три дефинисана сценарија, приказане су у Табелама 3.8-3.9. Узимајући за пример исто возило („FORD“), из Табеле 3.8 може се уочити да би при коришћењу MS система, у случају без возила у реду (сценарио I), емисија CO износила 1,38g, CO<sub>2</sub> 339,05g, HC 0,12g и NO<sub>x</sub> 1,91g, док би при коришћењу MLFF система, наведено возило емитовало 0,30g CO, 255,89g CO<sub>2</sub>, 0,05g HC и 0,62g NO<sub>x</sub>. Преласком са MS на MLFF систем ово возило би остварило смањење емисије CO за 78%, CO<sub>2</sub> за 25%, HC за 62% и NO<sub>x</sub> за 67%. Смањење емисије се повећава са формирањем реда на наплатној станици, односно у случају II и III сценарија (Табела 3.8).

**Табела 3.8.** Упоредна анализа емисије полутаната применом MS и MLFF система при процесу изласка из MS система

ПУТНИЧКИ АУТОМОБИЛИ														
Врста горива	Марка возила	Сц.	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS - MLFF (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	FORD	I	1,381	339,050	0,120	1,908	0,299	254,891	0,046	0,622	78	25	62	67
		II	1,522	353,494	0,132	1,941	0,299	254,891	0,046	0,622	80	28	65	68
		III	1,662	367,938	0,145	1,975	0,299	254,891	0,046	0,622	82	31	68	68
	BMW	I	0,000	365,818	0,040	2,378	0,000	234,193	0,011	0,518	0	36	71	78
		II	0,000	382,173	0,042	2,393	0,000	234,193	0,011	0,518	0	39	72	78
		III	0,000	398,529	0,043	2,407	0,000	234,193	0,011	0,518	0	41	73	78
	MAZDA	I	0,415	497,147	0,052	1,852	0,227	350,040	0,024	0,904	45	30	54	51
		II	0,417	520,731	0,054	1,868	0,227	350,040	0,024	0,904	45	33	56	52
		III	0,420	544,314	0,056	1,884	0,227	350,040	0,024	0,904	46	36	57	52
Бензин	FIAT	I	18,980	467,884	0,065	0,552	10,048	266,870	0,023	0,309	47	43	64	44
		II	19,007	476,865	0,066	0,556	10,048	266,870	0,023	0,309	47	44	65	44
		III	19,034	485,846	0,068	0,559	10,048	266,870	0,023	0,309	47	45	66	45
	HONDA	I	0,818	483,922	0,105	0,084	0,259	333,263	0,003	0,002	68	31	97	98
		II	0,818	504,467	0,107	0,085	0,259	333,263	0,003	0,002	68	34	97	98
		III	0,819	525,013	0,108	0,085	0,259	333,263	0,003	0,002	68	37	97	98
ЛАКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО														
Врста горива	Марка возила	Сц.	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS - MLFF (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	MB	I	1,309	567,262	0,048	3,928	0,843	403,753	0,037	2,411	36	29	24	39
		II	1,444	596,474	0,053	4,189	0,843	403,753	0,037	2,411	42	32	30	42
		III	1,579	625,687	0,057	4,450	0,843	403,753	0,037	2,411	47	35	36	46
ТЕШКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО														
Врста горива	Марка возила	Сц.	MS (g)				MLFF (g)				Смањење емисије MS - MLFF (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	IVECO	I	2,472	1.518,646	0,310	15,938	0,995	1.131,441	0,121	10,894	60	25	61	32
		II	7,392	1.646,550	0,403	17,233	0,995	1.131,441	0,121	10,894	87	31	70	37
		III	12,312	1.774,453	0,496	18,528	0,995	1.131,441	0,121	10,894	92	36	76	41

\* Напомена: I сценарио подразумева случај без возила у реду, II сценарио једно возило у реду, III сценарио два возила у реду

С обзиром да је процес војње при уласку и изласку из ETC система исти, односно да су емисије полутаната једнаке, упоредна анализа емисија ETC и MLFF система приказана је у Табели 3.6. Важно је истаћи да ETC систем не подразумева заустављање возила односно формирање реда на наплатној станици, па су вредности емисија при свим разматраним сценаријима исте.

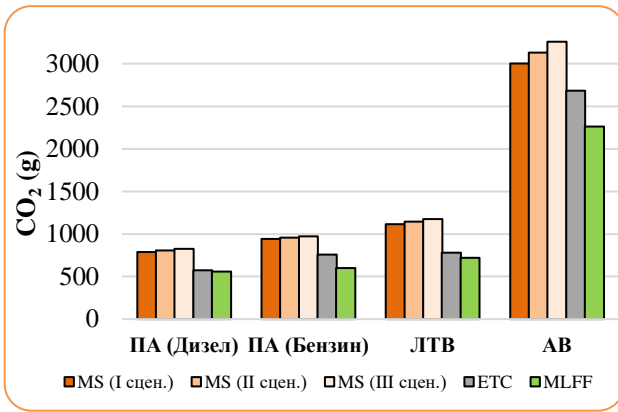
У Табели 3.9 приказана је упоредна анализа емисије полутаната разматраних возила при изласку из MS и ETC система за наплату путарине. Из Табеле 3.9 може се видети да би применом ETC уместо MS система дошло до смањења емисије CO за 31%, CO<sub>2</sub> за 19%, HC за 58% и NO<sub>x</sub> за 11%.

Табела 3.9. Упоредна анализа емисије полутана применом MS и ETC система при процесу изласка из система

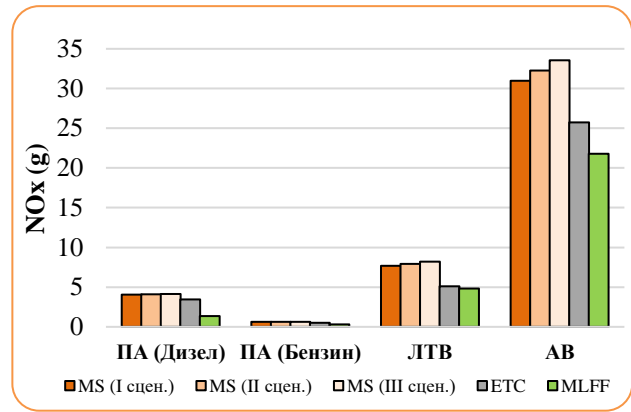
ПУТНИЧКИ АУТОМОБИЛИ														
Врста горива	Марка возила	Сц.	MS (g)				ETC (g)				Смањење емисије MS- ETC (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	FORD	I	1,381	339,050	0,120	1,908	0,953	274,313	0,050	1,703	31	19	58	11
		II	1,522	353,494	0,132	1,941	0,953	274,313	0,050	1,703	37	22	62	12
		III	1,662	367,938	0,145	1,975	0,953	274,313	0,050	1,703	43	25	65	14
	BMW	I	0,000	365,818	0,040	2,378	0,000	276,927	0,017	2,118	0	24	58	11
		II	0,000	382,173	0,042	2,393	0,000	276,927	0,017	2,118	0	28	59	11
		III	0,000	398,529	0,043	2,407	0,000	276,927	0,017	2,118	0	31	61	12
	MAZDA	I	0,415	497,147	0,052	1,852	0,367	310,559	0,036	1,331	12	38	30	28
		II	0,417	520,731	0,054	1,868	0,367	310,559	0,036	1,331	12	40	32	29
		III	0,420	544,314	0,056	1,884	0,367	310,559	0,036	1,331	13	43	34	29
Бензин	FIAT	I	18,980	467,884	0,065	0,552	10,356	379,434	0,049	0,450	45	19	25	18
		II	19,007	476,865	0,066	0,556	10,356	379,434	0,0489	0,450	46	20	27	19
		III	19,034	485,846	0,068	0,559	10,356	379,434	0,0489	0,450	46	22	29	19
	HONDA	I	0,818	483,922	0,105	0,084	0,474	376,467	0,047	0,050	42	22	56	40
		II	0,818	504,467	0,107	0,085	0,474	376,467	0,047	0,050	42	25	56	40
		III	0,819	525,013	0,108	0,085	0,474	376,467	0,047	0,050	42	28	57	41
ЛАКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО														
Врста горива	Марка возила	Сцен.	MS (g)				ETC (g)				Смањење емисије MS-ETC (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	MB	I	1,309	567,262	0,048	3,928	0,610	389,309	0,030	2,551	53	31	38	35
		II	1,444	596,474	0,053	4,189	0,610	389,309	0,030	2,551	58	35	44	39
		III	1,579	625,687	0,057	4,450	0,610	389,309	0,030	2,551	61	38	48	43
ТЕШКО ТЕРЕТНО ВОЗИЛО														
Врста горива	Марка возила	Сцен.	MS (g)				ETC (g)				Смањење емисије MS-ETC (%)			
			CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>
Дизел	IVECO	I	2,472	1.518,646	0,310	15,938	1,964	1.340,692	0,275	12,868	21	12	11	19
		II	7,392	1.646,550	0,403	17,233	1,964	1.340,692	0,275	12,868	73	19	32	25
		III	12,312	1.774,453	0,496	18,528	1,964	1.340,692	0,275	12,868	84	24	44	31

\*Напомена: I сценарио подразумева случај без возила у реду, II сценарио једно возило у реду, III сценарио два возила у реду

Графикони 3.4 и 3.5 приказују компаративну анализу емисије полутаната (CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, редом) различитих категорија возила приликом коришћења MS у односу на ETC и MLFF систем. Приказана емисија полутаната возила укључује укупну емисију приликом коришћења система за наплату путарине, како приликом уласка тако и приликом изласка из система. На пример, са Графикона 3.4 и 3.5 може се видети да тешко теретно возило емитује већу емисију приликом коришћења MS система (за сва три сценарија) него приликом коришћења ETC и MLFF система. Ово возило емитује највећу количину полутаната у случају MS система са два возила у реду (3.256 g CO<sub>2</sub> и 33 g NO<sub>x</sub>), док је најмања емисија забележена у случају MLFF система (2.263 g CO<sub>2</sub> и 22 g NO<sub>x</sub>), што представља уштеду од 30,5% за CO<sub>2</sub> и 33,3% за NO<sub>x</sub>. Са графикона се такође може уочити однос емисија полутаната различитих категорија возила – у просеку, путнички аутомобил са дизел мотором емитује најмању емисију CO<sub>2</sub>, док путнички аутомобил са бензинским мотором емитује најмању емисију NO<sub>x</sub>.

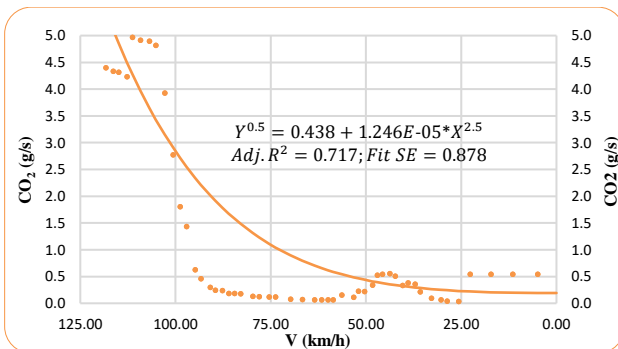


**Графикон 3.4.** Компаративна анализа емисија CO<sub>2</sub> приликом коришћења MS система у односу на ETC и MLFF

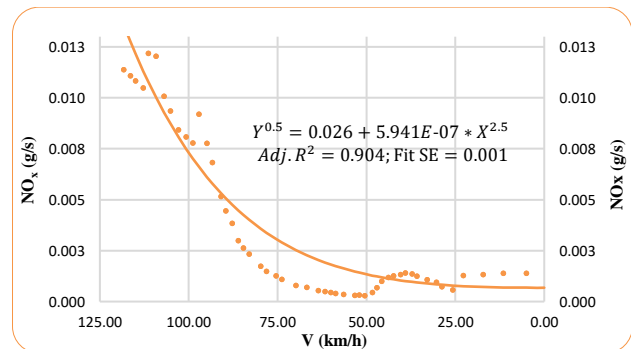


**Графикон 3.5.** Компаративна анализа емисија NO<sub>x</sub> приликом коришћења MS система у односу на ETC и MLFF

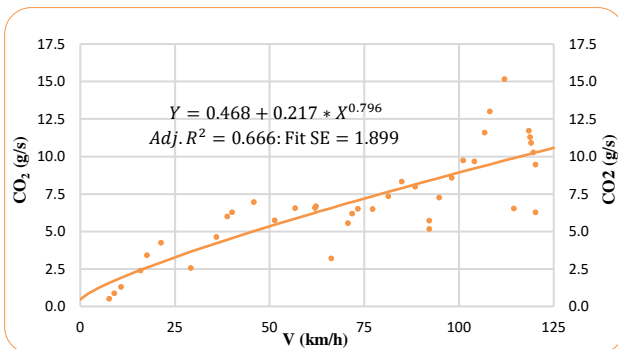
На примеру једног од возила „FORD“ приказана је емисија полутаната CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> (изражена у g/s) измерена током процеса успорења и убрзања (Графикони 3.6-3.9). Изабране криве емисија CO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> имају добро фитовање (у погледу вредности Adj. R<sup>2</sup> и Fit SE). Графикони 3.6 и 3.7 указују на то да се током процеса успорења емисије полутаната нагло смањују и теже нули због прекида дотока горива, уз могуће благе скокове који се могу објаснити благим притискањем папучице гаса приликом смањења степена преноса. Насупрот томе, код процеса убрзања (Графикони 3.8-3.9) долази до раста емисије уз изражене падове, који се јављају приликом сваке промене степена преноса. Емисија CO<sub>2</sub> директно зависи од потрошње горива, док емисија NO<sub>x</sub> зависи и од услова сагоревања, температуре, примењеног уређаја за мерење издувних гасова и сл.



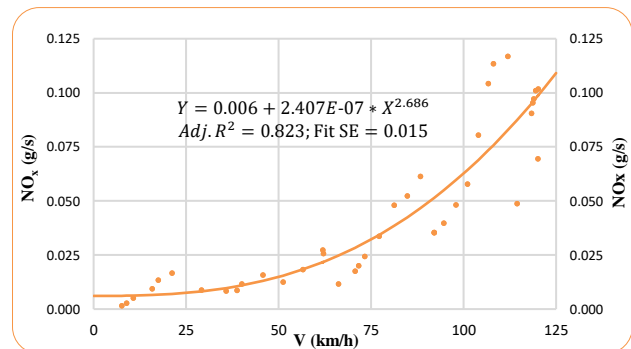
**Графикон 3.6.** Емисија CO<sub>2</sub> у функцији брзине за процес успорења



**Графикон 3.7.** Емисија NO<sub>x</sub> у функцији брзине за процес успорења



**Графикон 3.8.** Емисија CO<sub>2</sub> у функцији брзине за процес убрзања



**Графикон 3.9.** Емисија NO<sub>x</sub> у функцији брзине за процес убрзања



### 3.4.2. Студија случаја емисије полутаната система за наплату путарине у Републици Србији

С обзиром да кроз систем наплате путарине у току године прође велики број возила различитих категорија, спроведена је студија случаја емисије издувних гасова система наплате путарине у Републици Србији. У Републици Србији заступљени су затворени MS и ETC систем наплате путарине који подразумевају процесе узимања картице/читавања тага при уласку у систем као и процес наплате/трансакције приликом изласка из система. Имајући то у виду, студија случаја обухватила је прорачун трошкова емисије за оба процеса. Такође, важно је истаћи и да постојећи систем наплате путарине у Републици Србији тренутно подразумева расподелу корисника у односу 65%-35% у поређењу MS и ETC система, што је узето у обзир приликом анализе укупних трошкова емисије.

Детаљно су анализирани две наплатне станице у близини Београда – “Шимановци”, на којој су претходно спроведена мерења емисије возила и “Врчин”, ради утврђивања утицаја саобраћајног оптерећења и структуре тока на еколошке уштеде. Поред детаљне анализе наведених наплатних станица извршен је прорачун укупних трошкова на нивоу године за све наплатне станице у Републици Србији (Milenković et al., 2020).

Прорачун трошкова емисије издувних гасова система за наплату путарине спроведен је за 2018. годину, анализом података са аутоматских бројача саобраћаја на аутопутевима и података са наплатних станица. Структура саобраћајног тока на поменутих наплатним станицама приказана је у Табели 3.10.

**Табела 3.10.** Саобраћајно оптерећење и структура тока на наплатним станицама “Шимановци” и “Врчин” у 2018. години

Наплатна станица	ПГДС (воз/дан)	Структура саобраћајног тока на наплатној станици (%)				
		ПА	БУС	ЛТВ	ТТВ	АВ
Шимановци	17.514	83,28	1,80	1,08	2,14	11,70
Врчин	37.221	79,90	5,03	2,33	4,62	8,12

Као што је споменуто у претходном делу дисертације, испитивање емисије је спроведено за меродавна возила категорије путничких аутомобила (ПА), лаког теретног возила (ЛТВ) и аутовоза (АВ). Анализом укупног броја возила која су прошла кроз све наплатне станице у Републици Србији током 2018. године, показано је да три наведене категорије чине 95,67% укупног тока. Потребно је још једном нагласити да мерење издувних гасова категорије ПА није спроведено за све, већ за четири најзаступљеније класе возила у току (В, С, D и J). На основу анализе података о продаји нових возила у периоду од десет година и података са техничких прегледа у Републици Србији, ове четири класе обухватају 89,19% свих класа путничких аутомобила (Табела 3.11). На основу претходно изнетог, а ради прецизних резултата анализе, за прорачун трошкова емисије издувних гасова система за наплату путарине Републике Србије, обухваћено је 86,66% укупног протока.

**Табела 3.11.** Процентуално учешће разматраних класа путничких аутомобила у Републици Србији

Путнички аутомобили (%)					УКУПНО (%)
Класа В (%)	Класа С (%)	Класа D (%)	Класа J		
			J бензин (%)	J дизел (%)	
37,87	30,79	12,91	3,95	3,67	89,19



С обзиром на процентуалну расподелу корисника система за наплату путарине (65% MS-35% ЕТС) и података о процентуалном учешћу категорија возила у саобраћајном току, добијен је број возила сваке разматране категорије на годишњем нивоу (Табела 3.12). Како се на наплатној станици затвореног система наплате путарине разликује емисија по возилу у случају уласка и изласка из система, анализа је обухватила и расподелу возила по смеровима.

**Табела 3.12.** Укупан број возила на наплатној станици у Републици Србији у 2018. години

НАПЛАТНА СТАНИЦА ШИМАНОВЦИ										
Варијанте	% учешће корисника		В класа	С класа	Д класа	Ј дизел	Ј бензин	ЛТВ	АВ	УКУПНО
Постојећи систем	MS (65%)	Узимање картице	656.187	533.509	223.696	63.591	68.443	22.664	243.454	1.811.543
		Плаћање	654.226	531.915	223.028	63.401	68.238	22.596	242.726	1.806.130
	ЕТС (35%)	Узимање картице	353.331	287.274	120.452	34.241	36.854	12.246	131.048	975.446
		Плаћање	352.275	286.416	120.092	34.139	36.744	12.209	130.657	972.532
Нови систем	MLFF (100%)	Оба смера	2.016.019	1.639.113	687.267	195.373	210.279	69.715	747.885	<b>5.565.652</b>
НАПЛАТНА СТАНИЦА ВРЧИН										
Варијанте	% учешће корисника		В класа	С класа	Д класа	Ј дизел	Ј бензин	ЛТВ	АВ	УКУПНО
Постојећи систем	MS (65%)	Узимање картице	1.324.137	1.076.583	451.403	128.323	138.113	102.015	355.243	3.575.816
		Плаћање	1.347.900	1.095.903	459.503	130.626	140.592	103.845	361.617	3.639.986
	ЕТС (35%)	Узимање картице	712.997	579.698	243.063	69.097	74.369	54.887	191.314	1.925.425
		Плаћање	725.792	590.101	247.425	70.337	75.703	55.872	194.747	1.959.977
Нови систем	MLFF (100%)	Оба смера	4.110.826	3.342.285	1.401.393	398.382	428.776	316.619	1.102.921	<b>11.101.203</b>
СВЕ НАПЛАТНЕ СТАНИЦЕ У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ										
Варијанте	% учешће корисника		В класа	С класа	Д класа	Ј дизел	Ј бензин	ЛТВ	АВ	УКУПНО
Постојећи систем	MS (65%)	Узимање картице	9.283.162	7.547.625	3.164.659	899.636	968.273	337.472	2.981.968	25.182.794
		Плаћање	9.264.614	7.532.545	3.158.336	897.838	966.338	336.797	2.976.010	25.132.479
	ЕТС (35%)	Узимање картице	4.998.626	4.064.106	1.704.047	484.419	521.378	181.715	1.605.675	13.559.966
		Плаћање	4.988.638	4.055.986	1.700.642	483.451	520.336	181.352	1.602.467	13.532.873
Нови систем	MLFF (100%)	Оба смера	28.535.040	23.200.261	9.727.683	2.765.345	2.976.325	1.037.337	9.166.121	<b>77.408.112</b>

На основу претходно наведеног броја возила по категоријама и добијених јединичних трошкова по возилу, спроведена је трошкова анализа укупне емисије издувних гасова (Milenković et al., 2020). Анализа подразумева поређење трошкова постојећег система наплате путарине и потенцијалног преласка целокупног саобраћајног тока на MLFF систем наплате путарине, на годишњем нивоу. Испитивање је обухватило три претходно описана сценарија, ради разматрања утицаја броја возила у реду на трошкове емисије. Резултати емисије издувних гасова, изражени у тонама, као и упоредна анализа уштеда разматраних система наплате у случају различитих сценарија, приказани су у Табели 3.13 за наплатну станицу “Шимановци”, односно у Табели 3.14 за наплатну станицу “Врчин”.

Табела 3.13. Емисије укупног саобраћајног тока и уштеде остварене преласком са постојећег на нови систем на годишњем нивоу, на наплатној станици “Шимановци”

Класа	Сп.	ПОСТОЈЕЋИ СИСТЕМ								НОВИ СИСТЕМ				Уштеда (€)
		MS (65% тока) (t)				ETC (35% тока) (t)				MLFF (100% тока) (t)				
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	
B	I	24,858	608,820	0,084	0,722	7,307	267,731	0,034	0,318	19,672	522,450	0,046	0,604	18,975
	II	24,876	614,695	0,085	0,724	7,307	267,731	0,034	0,318	19,672	522,450	0,046	0,604	19,218
	III	24,893	620,571	0,086	0,726	7,307	267,731	0,034	0,318	19,672	522,450	0,046	0,604	19,461
C	I	1,432	355,547	0,123	2,020	0,547	157,371	0,029	0,977	0,479	407,990	0,074	0,996	24,533
	II	1,507	363,230	0,129	2,038	0,547	157,371	0,029	0,977	0,479	407,990	0,074	0,996	25,012
	III	1,582	370,913	0,136	2,056	0,547	157,371	0,029	0,977	0,479	407,990	0,074	0,996	25,490
D	I	0,000	160,736	0,018	1,060	0,000	66,613	0,004	0,510	0,000	160,698	0,008	0,356	14,877
	II	0,000	164,384	0,018	1,064	0,000	66,613	0,004	0,510	0,000	160,698	0,008	0,356	15,046
	III	0,000	168,032	0,018	1,067	0,000	66,613	0,004	0,510	0,000	160,698	0,008	0,356	15,215
J бенз.	I	0,112	62,935	0,014	0,011	0,035	27,707	0,003	0,004	0,053	68,463	0,001	0,000	1,078
	II	0,112	64,337	0,014	0,011	0,035	27,707	0,003	0,004	0,053	68,463	0,001	0,000	1,130
	III	0,112	65,739	0,014	0,011	0,035	27,707	0,003	0,004	0,053	68,463	0,001	0,000	1,182
J диз.	I	0,053	62,016	0,007	0,235	0,025	21,236	0,002	0,091	0,042	64,280	0,004	0,166	2,337
	II	0,053	63,512	0,007	0,236	0,025	21,236	0,002	0,091	0,042	64,280	0,004	0,166	2,403
	III	0,053	65,007	0,007	0,237	0,025	21,236	0,002	0,091	0,042	64,280	0,004	0,166	2,469
ЛТВ	I	0,057	25,231	0,002	0,174	0,015	9,521	0,001	0,062	0,053	25,099	0,002	0,149	1,249
	II	0,060	25,891	0,002	0,180	0,015	9,521	0,001	0,062	0,053	25,099	0,002	0,149	1,334
	III	0,063	26,551	0,002	0,186	0,015	9,521	0,001	0,062	0,053	25,099	0,002	0,149	1,419
AB	I	1,133	729,410	0,148	7,527	0,514	350,866	0,072	3,368	0,742	843,608	0,090	8,122	37,249
	II	2,327	760,456	0,171	7,841	0,514	350,866	0,072	3,368	0,742	843,608	0,090	8,122	41,754
	III	3,521	791,501	0,193	8,156	0,514	350,866	0,072	3,368	0,742	843,608	0,090	8,122	46,259

Табела 3.14. Емисије укупног саобраћајног тока и уштеде остварене преласком са постојећег на нови систем на годишњем нивоу, на наплатној станици “Врчин”

Класа	Сп.	ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ								БУДУЋЕ СТАЊЕ				Уштеда (€)
		MS (65% тока) (t)				ETC (35% тока) (t)				MLFF (100% тока) (t)				
		CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	HC	NO <sub>x</sub>	
B	I	50,687	1,241,524	0,171	1,472	14,900	545,926	0,070	0,648	40,112	1,065,318	0,093	1,232	38,696
	II	50,724	1,253,629	0,173	1,477	14,900	545,926	0,070	0,648	40,112	1,065,318	0,093	1,232	39,196
	III	50,760	1,265,735	0,175	1,481	14,900	545,926	0,070	0,648	40,112	1,065,318	0,093	1,232	39,696
C	I	2,921	725,110	0,251	4,119	1,115	320,891	0,059	1,992	0,977	831,925	0,150	2,031	50,033
	II	3,075	740,939	0,264	4,156	1,115	320,891	0,059	1,992	0,977	831,925	0,150	2,031	51,018
	III	3,230	756,768	0,278	4,193	1,115	320,891	0,059	1,992	0,977	831,925	0,150	2,031	52,004
D	I	0,000	327,811	0,036	2,162	0,000	135,829	0,008	1,039	0,000	327,676	0,016	0,725	30,339
	II	0,000	335,327	0,037	2,169	0,000	135,829	0,008	1,039	0,000	327,676	0,016	0,725	30,686
	III	0,000	342,842	0,037	2,176	0,000	135,829	0,008	1,039	0,000	327,676	0,016	0,725	31,033
J бенз.	I	0,228	133,002	0,029	0,024	0,071	56,497	0,007	0,008	0,108	139,601	0,001	0,001	2,198
	II	0,228	135,890	0,029	0,024	0,071	56,497	0,007	0,008	0,108	139,601	0,001	0,001	2,305
	III	0,228	138,779	0,030	0,024	0,071	56,497	0,007	0,008	0,108	139,601	0,001	0,001	2,412
J диз.	I	0,107	126,480	0,013	0,478	0,051	43,302	0,005	0,186	0,085	131,073	0,009	0,339	4,767
	II	0,108	129,561	0,014	0,480	0,051	43,302	0,005	0,186	0,085	131,073	0,009	0,339	4,902
	III	0,108	132,641	0,014	0,482	0,051	43,302	0,005	0,186	0,085	131,073	0,009	0,339	5,038
ЛТВ	I	0,261	114,780	0,010	0,791	0,068	43,120	0,003	0,283	0,239	114,026	0,010	0,677	5,679
	II	0,275	117,814	0,010	0,818	0,068	43,120	0,003	0,283	0,239	114,026	0,010	0,677	6,070
	III	0,289	120,847	0,011	0,845	0,068	43,120	0,003	0,283	0,239	114,026	0,010	0,677	6,461
AB	I	1,671	1,075,633	0,218	11,102	0,758	517,588	0,106	4,968	1,094	1,244,084	0,133	11,978	54,968
	II	3,450	1,121,885	0,252	11,570	0,758	517,588	0,106	4,968	1,094	1,244,084	0,133	11,978	61,679
	III	5,229	1,168,138	0,286	12,038	0,758	517,588	0,106	4,968	1,094	1,244,084	0,133	11,978	68,390

Поређењем трошкова постојећег система наплате путарине (MS + ETC) и хипотетичког преласка целог тока на MLFF, уочавају се значајне уштеде на обе наплатне станице, по свим разматраним категоријама возила. Очекивано, уштеде су највеће код C и B класе путничких аутомобила због највеће заступљености ових класа возила у саобраћајном току, односно код аутовозова пре свега због веће емисије полутаната, али и њиховог значајног учешћа у саобраћајном току.

Сумарна анализа уштеда које је могуће остварити за сваки од три разматрана сценарија на наплатној станици “Шимановци” и наплатној станици “Врчин” приказана је у Табели 3.15. Поред наведеног, у Табели 3.15 приказана је и уштеда која би се могла остварити када би се на свим наплатним станицама у Републици Србији постојећи систем (MS+ETC) заменио новим (MLFF) системом.

**Табела 3.15.** Уштеде које је могуће остварити преласком са постојећих на напредни MLFF систем наплате путарине на годишњем нивоу, по разматраним сценаријима

Сценарио	Полутанти	Наплатна станица Шимановци		Наплатна станица Врчин		Све наплатне станице у Србији	
		Смањења емисије (t)	Уштеда (€)	Смањења емисије (t)	Уштеда (€)	Смањења емисије (t)	Уштеда (€)
I	CO	15,047	100.299	30,223	186.679	211,274	1.349.862
	CO <sub>2</sub>	815,435		1.553,792		11.099,665	
	HC	0,317		0,574		4,235	
	NO <sub>x</sub>	6,684		12,286		89,408	
II	CO	16,337	105.896	32,207	195.857	227,275	1.420.627
	CO <sub>2</sub>	867,244		1.644,496		11.774,836	
	HC	0,347		0,625		4,629	
	NO <sub>x</sub>	7,029		12,832		93,694	
III	CO	17,627	111.494	34,191	205.034	243,276	1.491.391
	CO <sub>2</sub>	919,053		1.735,201		12.450,006	
	HC	0,378		0,676		5,023	
	NO <sub>x</sub>	7,373		13,377		97,980	

Може се уочити да би се на наплатној станици “Шимановци”, преласком са MS на MLFF, остварила смањења емисије CO за 15,05 t, CO<sub>2</sub> за 815,44 t, HC за 0,32 t и NO<sub>x</sub> за 6,68 t на годишњем нивоу, у случају I сценарија, док би у случају осталих сценарија смањење емисије било још веће. На тај начин би уштеде у трошковима емисије износиле од 100.299 € до 111.494 €, у зависности од посматраног сценарија (Табела 3.15).

На наплатној станици “Врчин”, преласком са MS на MLFF, остварила би се смањења емисије CO за 30,22 t, CO<sub>2</sub> за 1.553,79 t, HC за 0,57 t и NO<sub>x</sub> за 12,29 t на годишњем нивоу, у случају I сценарија, док би у случају осталих сценарија смањење емисије било још веће. Смањење емисије на наплатној станици “Врчин” значајно је веће у односу на наплатну станицу “Шимановци” због већег броја возила и другачије структуре саобраћајног тока, што за последицу има веће уштеде са еколошког аспекта, које износе од 186.679 € до 205.034 € у зависности од разматраног сценарија (Табела 3.15).

Спровођењем истоветне анализе на нивоу целог система наплате путарине у Републици Србији, на узорку од 77.408.112 возила, утврђено је да би смањења емисије износила 211,27 t за CO, 11.099,67 t за CO<sub>2</sub>, 4,24 t за HC и 89,41 t за NO<sub>x</sub> на годишњем нивоу посматрајући сценарио I, док би у случају осталих сценарија смањење емисије било још веће. Тиме би се постигле уштеде у трошковима емисије у распону од 1.349.862 € до 1.491.391 €, у зависности од посматраног сценарија (Табела 3.15).

### 3.5. Дискусија

Велики удео друмског транспортног сектора у укупној емисији штетних полутаната доприноси бројним негативним последицама по здравље људи и стање екосистема. Станице за наплату путарине представљају места на путној мрежи где интензивни саобраћајни токови условљени процесом наплате узрокују велике количине нежељене емисије штетних гасова, које би се применом нових технологија могле значајно смањити. Имајући то у виду, у дисертацији је спроведено квантификовање користи са еколошког аспекта преласком са традиционалних на напредне системе наплате путарине.

У оквиру дисертације спроведено је експериментално мерење емисије штетних гасова (CO, CO<sub>2</sub>, HC и NO<sub>x</sub>) у реалним условима, за меродавна возила најзаступљенијих класа путничких аутомобила (B, C, D и J), лако теретно возило и ауто-воз, ради што реалнијег описа процеса

кретања возила у утицајним зонама наплатних станица. Тиме је могуће прецизније утврдити емисију разматраних штетних гасова при коришћењу MS, ETC и MLFF система. Такође, у дисертацији су разматрана три сценарија која се најчешће јављају при процесу плаћања, у случају коришћења MS система за наплату путарине, везано за број возила која чекају у реду. Први сценарио подразумевао је одсуство возила, док је у случају сценарија два и три постојала претпоставка присуства једног односно два возила у реду.

Добијени резултати показују да се могу остварити значајна смањења емисије издувних гасова по возилу преласком са MS на ETC систем, а посебно преласком на MLFF систем за наплату путарине. Тако је, на пример, мерење показало да би имплементацијом MLFF у односу на MS систем, само при процесу плаћања путарине, било могуће остварити смањење емисије CO<sub>2</sub> у опсегу од 25% до 45%, односно NO<sub>x</sub> у опсегу од 32% до 98%, у зависности од врсте возила и погонског горива, као и разматраног сценарија. Преласком са ETC на MLFF систем наплате путарине, при процесу плаћања, долази до смањења емисије CO<sub>2</sub> у опсегу од 7% до 35%, односно NO<sub>x</sub> у опсегу 16% до 97%. Најмање, али и даље значајне уштеде, оствариле би се преласком са MS на ETC систем (CO<sub>2</sub> у опсегу од 12% до 43%, односно NO<sub>x</sub> у опсегу од 11% до 43%). Важно је истаћи да разлике у емисијама при уласку и изласку из система за наплату путарине нису велике, с обзиром на исте процесе убрзавања и успоравања. Разлике у емисији се јављају само због разлика у временима опслуге и “стани-крени” процесима. Посебан значај добијених резултата огледа се у јединичним вредностима емисије полутаната разматраних класа меродавних возила. Применом јединичних емисија полутаната добијених у овој дисертацији, могуће је прорачунати ефекте смањења емисије полутаната као и трошкове са еколошког аспекта било које наплатне станице узимањем у обзир вредности параметара као што су саобраћајно оптерећење, структура саобраћајног тока и конфигурација канала опслуге. На тај начин, добијени резултати представљају својеврсни основ методологије за квантификавање еколошких утицаја приликом израда студија оправданости различитих пројектних варијаната наплатних станица. Такође, добијени резултати се могу користити као подршка доносиоцима одлука приликом избора одговарајућег система за наплату путарине.

На примеру наплатне станице у Републици Србији, приказане су уштеде са еколошког аспекта, које је могуће остварити на годишњем нивоу, преласком са постојећег система (MS+ETC) на MLFF систем. Резултати су потврдили да трошкови односно уштеде зависе од саобраћајног оптерећења, заступљености различитих класа и категорија возила у току и процентуалног удела корисника одређеног система наплате. На наплатној станици “Шимановци”, хипотетичким преласком саобраћајног тока са постојећег система на MLFF систем наплате путарине, дошло би до смањења емисије у распону од 815,43 t до 919,05 t за CO<sub>2</sub> и од 6,68 t до 7,37 t за NO<sub>x</sub> на годишњем нивоу, односно изражено у монетарним вредностима од 100.299 € до 111.494 €, у зависности од посматраног сценарија. Применом MLFF система на наплатној станици “Врчин” дошло би до смањења емисије CO<sub>2</sub> у распону од 1.553,79 t до 1.735,20 t и NO<sub>x</sub> од 12,29 t до 13,38 t, односно до уштеда у опсегу од 186.679 € до 205.034 €, на годишњем нивоу. Спровођењем истоветне анализе на нивоу целог система наплате путарине у Републици Србији, на укупном узорку од 77.408.112 возила, остварила би се смањења емисије CO<sub>2</sub> у опсегу од 11.099,67 t до 12.450,01 t и NO<sub>x</sub> од 89,41 t до 97,98 t, односно еколошке уштеде од 1.349.862 € до 1.491.391 €, на годишњем нивоу.

## 4. Управљање радом наплатних трака применом система адаптивбилног управљања

### 4.1. Опис проблема

Наплатне станице на којима функционишу системи наплате путарине који су засновани на баријерама (MS, АСМ и ЕТС) располажу одговарајућим бројем наплатних трака. Рад ових трака углавном је базиран на принципу статичке конфигурације. У пракси се јавља повремено отварање/затварање наплатних трака, односно промена одређених врста наплатних трака током времена, али на основу искуства оператора наплате путарине и често се догађа да се ова мера спроводи када је већ дошло до загушења на наплатним станицама.

Због временских неравномерности саобраћајних токова, на наплатним станицама се у различитим временским периодима јавља потреба за различитим бројем трака одређених система за наплату путарине. Како би се постигла одговарајућа ефикасност наплатне станице, а самим тим остварио одговарајући ниво услуге корисника, неопходно је управљати радом наплатних трака у реалном времену применом система адаптивбилног управљања. Примена система адаптивбилног управљања подразумевала би прикупљање и слање података о броју возила која су ушла и изашла на свим претходним наплатним станицама разматраног путног правца, како би се предвидео поток клијената на разматраној наплатној станици.

Динамичка конфигурација наплатних трака применом система адаптивбилног управљања обезбедила би бројне користи како за управљача пута, тако и за кориснике и друштво у целини. Наиме, адаптивбилним управљањем радом наплатних трака смањили би се временски губици корисника, трошкови потрошње гориве, емисије полутаната итд. Са друге стране, управљачи пута имали би одређене користи по питању броја радне снаге ангажоване на пословима наплате путарине. Имајући то у виду, у дисертацији је развијен модел минимизације трошкова службе за наплату путарине, времена путовања путника, потрошње горива и емисије полутаната, како би се оптимизовао рад наплатних трака применом система адаптивбилног управљања. На тај начин, могуће је планирати распоређивање радне снаге и превентивно деловати на потенцијална загушења на наплатним станицама.

У овом поглављу, најпре је описан проблем статичке конфигурације трака за наплату путарине и истакнута потреба за динамичким управљањем применом система адаптивбилног управљања. Затим је урађен детаљан преглед литературе како би се сагледали досадашњи приступи решавању проблема. Потом је дефинисана методологија решавања проблема, с обзиром на природу проблема, и предложен је модел оптимизације рада наплатних трака. Предложени модел оптимизације, поред трошкова службе за наплату путарине и трошкова корисника који се односе на временске губитке и потрошњу горива, укључује и екстерне трошкове емисије полутаната. За прорачун трошкова неопходно је располагати и подацима о временима чекања возила и њиховог опслуживања, као и о средњем броју возила који се налази у реду у сваком од система наплате путарине. Као погодна техника за одређивање ових вредности коришћена је Теорија масовног опслуживања. Узимајући у обзир начин прорачуна трошкова у критеријумској функцији, предложени модел спада у проблеме нелинеарног програмирања. За његово решавање у дисертацији је коришћено Динамичко програмирање. Начин примене Динамичког програмирања приказан је у студији случаја наплатне станице у Београду (Србија). Као излазни резултат утврђен је одговарајући број оперативних наплатних трака за просечна часовна оптерећења у току меродавног дана, као и за максимална часовна оптерећења у једном и другом смеру. На крају је спроведена прогноза саобраћајног оптерећења за период од десет година како би се утврдио проценат корисника који би са MS

требао прећи на коришћење ЕТС система, како би се у наведеном периоду са постојећим капацитетом наплатне станице остварио захтевани ниво услуге. Већи ниво услуге корисника у будућем периоду подразумевао би додатно смањење учешћа корисника традиционалних система, односно повећање учешћа корисника напредних система за наплату путарине.

## 4.2. Преглед литературе

С обзиром да наплата путарине представља систем масовног опслуживања где су процеси наиласка возила и времена опслуге корисника стохастичке природе, проблеми оптимизације функционисања наплатних станица најчешће су описивани Теоријом масовног опслуживања. Zarrillo et al. (1997) једни су од првих аутора који су у свом раду анализирали оптималну конфигурацију трака за наплату путарине. Међутим, они су у свом раду претпоставили константне стопе наиласка возила и времена опслуге. У реалности, ни интензитет наиласка возила, ни време опслуге система нису константне вредности. Како би се утврдила оптимална конфигурација наплатних трака, мора се узети у обзир стохастичка природа наиласка возила и времена опслуге система.

Boronico & Siegel (1998) развили су модел планирања капацитета наплатне станице којим се минимизирају очекивани трошкови корисника и службе за наплату путарине. Трошкови службе за наплату путарине односили су се на трошкове ангазоване радне снаге која је неопходна у случају мануелног система за наплату путарине, док су трошкови корисника засновани на временским губицима корисника на наплатној станици. Boronico & Siegel (1998) дошли су до налаза да поток клијената прати стандардну претпоставку Поасоновог процеса са одговарајућим експоненцијалним временима између наиласка возила. Иако су дошли до налаза да је варијанса времена опслуге мања од оне која би се добила под претпоставком експоненцијалног времена опслуге, Boronico & Siegel (1998) претпоставили су експоненцијалну расподелу времена опслуге и користили М/М/1 модел система масовног опслуживања. Сматрали су да је ова претпоставка оправдана јер се њоме обезбеђују горње границе за средње време чекања, односно остварује одговарајући ниво услуге.

Busam (2005) је у свом раду развила математички модел за утврђивање оптималне конфигурације трака за наплату путарине минимизирањем временских губитака корисника. За развој модела коришћена је Теорија масовног опслуживања. Наиме, Busam (2005) је систем наплате путарине посматрала као М/Г/1 модел масовног опслуживања са насумичним наиласком возила који прати Поасонов процес, и општом расподелом времена опслуге. За развој математичког модела коришћено је нелинеарно целобројно програмирање.

Kim (2009) је у свом раду имао за циљ да утврди одговарајући број трака одређеног система наплате путарине током времена како би се минимизирали укупни трошкови функционисања службе за наплату путарине и трошкови временских губитака корисника. У раду је развијен модел нелинеарног целобројног програмирања који је интегрисан са М/Г/1 моделом Теорије масовног опслуживања. При томе је претпостављено да процес наиласка возила прати Поасонов процес јер је претходно установљено да су наиласци возила на наплатној станици у складу са стандардном претпоставком Поасоновог процеса са експоненцијалним временима наиласка возила. Такође, у раду је извршена анализа времена опслуге возила на различитим врстама наплатних трака, на основу које је утврђено да времена опслуге имају општу расподелу са просечним интензитетом наиласка возила ( $\mu_i$ ) и стандардним одступањем времена опслуге ( $\sigma_i$ ), за врсту наплатне траке  $i$ .

Weng et al. (2015) су у раду прогнозирали број возила у реду на наплатној станици, у одређеним временским периодима, на основу модела Теорије масовног опслуживања. При томе су за описивање процедуре чекања на наплатним станицама користили модел  $M/M/C$  са бесконачним бројем возила у реду. У раду су претпоставили да наиласки возила прате Поасонову расподелу ( $M$ ), да време опслуге следи негативну експоненцијалну расподелу ( $M$ ) и да у различитим временским периодима ради различит број канала ( $C$ ).

Wang (2017) је развио унапређен модел заснован на  $M/M/1$  Теорији масовног опслуживања, за оптимизацију пројектовања наплатних трака узимајући у обзир различите системе за наплату путарине ( $MS$ ,  $ACM$  и  $ETC$ ). За оптимизацију пројектовања броја и врста трака коришћен је *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)*.

Главић и други (2018) су применом Теорије масовног опслуживања оптимизовали рад наплатних трака на конкретној наплатној станици, за садашње и будуће стање (период од 10 година). При томе је претпостављено неколико сценарија у погледу процентуалног учешћа корисника одређених система за наплату путарине. У раду је коришћен  $M/M/1$  модел Теорије масовног опслуживања, где је претпостављено да наиласки возила прате Поасонов процес са одговарајућим експоненцијалним временима између наиласка возила, а да време опслуге следи експоненцијалну расподелу. Оптимизација је спроведена на основу критеријума да време чекања у реду није веће од 10 s.

За решавање проблема загушења на наплатним станицама развијен је низ специфичних симулационих модела као што су *TPASS* симулациони модел дискретних догађаја (Redding & Junga, 1992; Mohamed, 1995), *TPSIM* стохастички микроскопски модел дискретних догађаја (Al-Deek et al., 2000), *TOLLSIM* објектно орјентисани симулациони модел (Correa et al., 2004), *TNCC* аналитички модел (Zarrillo et al., 2002; Zarrillo et al., 2004), *SHAKER* детерминистички модел система масовног опслуживања (Zarrillo et al., 2004; Zarrillo & Radwan, 2009), *GENTOPS* стохастички микроскопски модел (Aycin, 2006) итд. Поред коришћења модела који су развијени искључиво за потребе симулирања рада наплатних станица, микроскопски симулациони софтвери као што су *PARAMICS* (нпр. Ozbay et al., 2005), *AIMSUN* (нпр. Poon & Dia, 2005), и *VISSIM* (нпр. Ceballos & Curtis, 2004) се такође користе у великој мери за моделовање рада наплатних станица.

### 4.3. Методологија

#### 4.3.1. Модел минимизације трошкова корисника и службе за наплату путарине

Како би се извршила оптимизација рада наплатних трака, у дисертацији је развијен модел којим се минимизирају трошкови корисника и трошкови функционисања службе за наплату путарине. Трошкови корисника обухватају трошкове времена путовања путника, потрошње горива и емисије штетних гасова, док се трошкови функционисања службе за наплату путарине односе на трошкове радне снаге ангазоване у наплати путарине. С обзиром да се на наплатној станици истовремено врше процеси уласка и изласка возила из система наплате путарине, развијени модел се састоји из два дела. Први део модела, односи се на процес уласка возила у систем тј. процес узимања картице у случају корисника  $MS$  и  $ACM$  система односно читавања тага у случају корисника  $ETC$  система (смер 1). Други део модела подразумева процес изласка возила из система тј. процес плаћања путарине (смер 2). С обзиром да у смеру 2, приликом плаћања путарине, свака наплатна трака  $MS$  система захтева ангажовање радне снаге, други део модела садржи и трошкове радне снаге ангазоване на наплати путарине.

Због разлика које постоје у функционисању различитих система за наплату путарине потребно је прорачунати трошкове сваког од система, при процесу уласка и изласка из система, а потом их сумирати у коначном моделу. Наиме, коришћење MS и АСМ система захтева заустављање возила, а у случају постојања реда у наплатној траци може се јавити и процес чекања возила у реду. Сходно томе, јављају се одређени временски губици корисника и трошкови времена путовања путника. Током времена проведеног у систему, возило MS и АСМ система налази се у празном ходу, што за последицу има одређену потрошњу горива и емисију полутанта. Ако постоји ред, јавља се и тзв. стани-крени процес односно додатна потрошња горива и емисија полутаната. ЕТС систем за наплату путарине подразумева читавање тага приликом уласка и изласка возила из система, при чему се возила не заустављају већ је потребно да кроз зону рампе прођу одређеном брзином која у просеку износи око 40 km/h. При режиму вожње приближно константном брзином од око 40 km/h возила имају одређену потрошњу горива и емитују извесну емисију полутаната, која се разликује од оне када је возило у празном ходу (у случају MS и АСМ система). Такође, у моделу је потребно узети у обзир и процентуалну заступљеност одређене категорије возила у укупној структури тока, с обзиром да потрошња горива и емисија полутаната у великој мери зависе од категорије возила.

Имајући у виду претходно наведено, формулација модела гласи:

Минимизирати

$$Z = Z_1 + Z_2 \quad (4.1)$$

при ограничењима:

$$\sum_{i=1}^s n_{1i} + \sum_{i=1}^s n_{2i} + n_0 = N \quad (4.2)$$

$$a_{1i} \leq n_{1i} \leq b_{1i} \quad \forall i = 1, \dots, s \quad (4.3)$$

$$a_{2i} \leq n_{2i} \leq b_{2i} \quad \forall i = 1, \dots, s \quad (4.4)$$

$$n_{1i} \geq 0 \text{ и целобројно} \quad \forall i = 1, \dots, s \quad (4.5)$$

$$n_{2i} \geq 0 \text{ и целобројно} \quad \forall i = 1, \dots, s \quad (4.6)$$

$$n_0 \geq 0 \text{ и целобројно} \quad (4.7)$$

где су:

- $Z_1$  – укупан трошак за смер 1;
- $Z_2$  – укупан трошак за смер 2;
- $s$  – број система за наплату путарине;
- $n_{1i}$  – целобројне променљиве које представљају број оперативних трака система путарине  $i$  у смеру 1;
- $n_{2i}$  – целобројне променљиве које представљају број оперативних трака система путарине  $i$  у смеру 2;
- $n_0$  – целобројна променљива која означава број трака које се не користе у посматраном тренутку;
- $a_{1i}$  и  $a_{2i}$  – минималан број трака за 1. и 2. смер за систем наплате путарине  $i$ ;
- $b_{1i}$  и  $b_{2i}$  – максималан број трака за 1. и 2. смер за систем наплате путарине  $i$ ;
- $N$  – укупан број трака;



Критеријумска функција (4.1) представља укупне трошкове система за наплату путарине. Ове трошкове је потребно минимизирати. Ограничењем (4.2) дефинише се да је збир броја трака по сваком систему наплате путарине и по сваком смеру, увећан за број трака које се у датом тренутку не користе, једнак укупном расположивом броју трака. Доње и горње вредности броја наплатних трака по системима наплате путарине дате су ограничењима (4.3) и (4.4). Ограничењима (4.5), (4.6) и (4.7) дефинишу се променљиве као целобројне.

Трошкови  $Z_1$  и  $Z_2$  израчунавају се на следећи начин:

$$Z_1 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^m \lambda_{1i} * P_j * \left[ W_{1i}(n_{1i}) * C_{tj} + (F_{wij} * W_{1i}(n_{1i}) + F_{s\&gj} * L_{q1i}(n_{1i})) * C_f + \sum_{k=1}^p (E_{wijk} * W_{1i}(n_{1i}) + E_{s\&gjk} * L_{q1i}(n_{1i})) * C_{ek} \right] \quad (4.8)$$

$$Z_2 = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^m \lambda_{2i} * P_j * \left[ W_{2i}(n_{2i}) * C_{tj} + (F_{wij} * W_{2i}(n_{2i}) + F_{s\&gj} * L_{q2i}(n_{2i})) * C_f + \sum_{k=1}^p (E_{wijk} * W_{2i}(n_{2i}) + E_{s\&gjk} * L_{q2i}(n_{2i})) * C_{ek} \right] + n_{2MS} * C_s \quad (4.9)$$

где су:

- $\lambda_{1i}$  – интензитет наиласка возила система путарине  $i$  у смеру 1 (voz/h);  $i=1, \dots, s$ ;
- $\lambda_{2i}$  – интензитет наиласка возила система путарине  $i$  у смеру 2 (voz/h);  $i=1, \dots, s$ ;
- $P_j$  – процентуални удео возила категорије  $j$  у укупној структури тока;  $j=1, \dots, m$ ;
- $W_{1i}(n_{1i})$  – време проведено у систему путарине  $i$  у смеру 1 (s);
- $W_{2i}(n_{2i})$  – време проведено у систему путарине  $i$  у смеру 2 (s);
- $L_{q1i}(n_{1i})$  – број возила у реду система путарине  $i$  у смеру 1;
- $L_{q2i}(n_{2i})$  – број возила у реду система путарине  $i$  у смеру 2;
- $F_{wij}$  – потрошња горива током времена проведеног у систему путарине  $i$  од стране возила категорије  $j$  (l/s);
- $F_{s\&gj}$  – потрошња горива при "стани-крени" процесу од стране возила категорије  $j$  (l);
- $E_{wijk}$  – емисија полутанта  $k$  током времена проведеног у систему путарине  $i$  од стране возила категорије  $j$  (g/s);  $k=1, \dots, p$ ;
- $E_{s\&gjk}$  – емисија полутанта  $k$  при "стани-крени" процесу од стране возила категорије  $j$  (g);
- $C_{tj}$  – јединична цена времена путовања путника возилом категорије  $j$  (€/h);
- $C_f$  – јединична цена горива (€/l);
- $C_{ek}$  – јединична цена емисије полутанта  $k$  (€/t);
- $C_s$  – јединична цена рада службеника ангажованог на наплати путарине (€/h);
- $n_{2MS}$  – број оперативних трака MS система путарине у смеру 2;

Да би се одредиле вредности  $W_{1i}(n_{1i})$ ,  $W_{2i}(n_{2i})$ ,  $L_{q1i}(n_{1i})$  и  $L_{q2i}(n_{2i})$  у дисертацији је коришћена Теорија масовног опслуживања, а за решавање комплетног проблема коришћено је Динамичко програмирање. Више детаља о примени Теорије масовног опслуживања за разматрани проблем дато је у поглављу 4.3.2, а о начину примене Динамичког програмирања у поглављу 4.3.3.

#### 4.3.2. Теорија масовног опслуживања

Да би се за описивање реалног система дефинисао модел Теорије масовног опслуживања, морају се усвојити одређене претпоставке о расподели вероватноћа интервала наиласка возила и времена опслуге. Модел би са једне стране требало што реалније да описује проблем, а са друге да не представља превише сложен математички проблем.

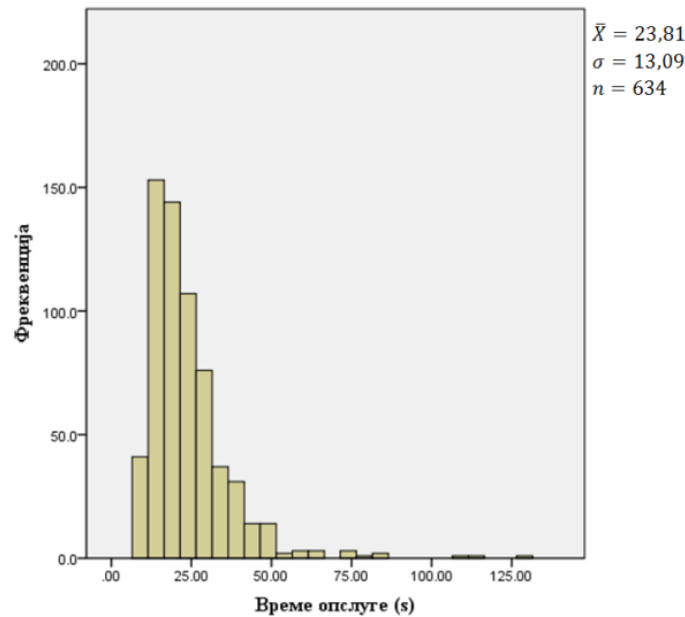
Претпоставка да поток клијената на наплатним станицама прати Поасонов процес са одговарајућим експоненцијалним временима наиласка возила у потпуности је подржана у досадашњој литератури (нпр. Nasofer, 1964; Schwartz, 1974; Green, 1985). Процес наиласка возила је Поасонов процес из следећих разлога: 1) број наилазака у тренутку 0 износи 0; 2) стопе наиласка возила су независне, и 3) процес наиласка возила има просечну стопу наиласка  $\bar{X}$ , у временском периоду  $(t, t + I)$ . Boronico & Siegel (1998) су анализирајући податке о наиласку возила на наплатним станицама дошли до налаза да је међу наплатним тракама одређеног система за наплату путарине процентуални удео наиласка возила приближно исто распоређен, односно да су разлике у наиласку возила међу истим врстама наплатних трака занемарљиве. Имајући у виду да сваки возач покушава да пронађе и да се придружи најкраћем реду, у траци која омогућава плаћање путарине возача на одговарајући начин, просечан интензитет наиласка возила по траци може се добити дељењем интензитета наиласка возила одређеног система за наплату путарине са бројем трака намењеним том систему  $(\frac{\lambda_i}{n_i})$ .

Време опслуге обухвата само време трансакције (плаћања) путарине на наплатној станици, без времена чекања у реду. Процес опслуге је стохастичке природе јер на време опслуге могу утицати бројни фактори, као што су искуство и припремљеност возача за плаћање путарине, начин плаћања, искуство особља наплате путарине у случају MS система за наплату путарине, врста возила итд. Ако је време опслуге експоненцијално расподељено, „математика“ Теорије масовног опслуживања је „најприлагодљивија“. Поједини аутори су за описивање процеса чекања на наплатним станицама користили управо моделе који подразумевају експоненцијално расподељено време опслуге (Weng et al., 2015; Wang, 2017). Међутим, одређени аутори су у својим радовима показали да у реалности време опслуге на наплатним станицама не прати експоненцијалну расподелу (Busam, 2005; Kim, 2009). Boronico & Siegel (1998) су у свом раду такође дошли до налаза да расподела времена опслуге одступа од експоненцијалне расподеле. Међутим, због једноставности решавања проблема и чињенице да би применом модела који подразумева експоненцијално расподељено време опслуге обезбедили строжије решење, односно више стандарде нивоа услуге, Boronico & Siegel (1998) су користили управо модел са експоненцијалном расподелом времена опслуге. Kim (2009) у свом раду наводи да експоненцијална расподела времена опслуге није одговарајућа, с обзиром да она подразумева да стандардно одступање буде једнако аритметичкој средини времена опслуге, што није случај у пракси. Имајући то у виду, у дисертацији је спроведено мерење времена опслуге корисника система за наплату путарине, на основу којег је установљено да времена опслуге имају општу расподелу са просечним интензитетом опслуге ( $\mu_i$ ), и стандардним одступањем времена опслуге ( $\sigma_i$ ), за врсту траке  $i$ . У Табели 4.1 дата је дескриптивна статистика времена опслуге MS система за наплату путарине, приликом уласка возила у систем односно узимања картице (смер 1) и изласка возила из система односно плаћања путарине (смер 2). Анализом времена опслуге 634 возила MS система наплате

путарине утврђено је да просечно време опслуге приликом узимања картице износи 4,4 s, а плаћања путарине 23,8 s (Табела 4.1). Расподела времена опслуге корисника MS система у смеру 2 приказана је на Графикону 4.1.

**Табела 4.1.** Дескриптивна статистика времена опслуге MS система

Време опслуге MS система (s)	$n$	Аритметичка средина	Стандардно одступање	Варијанса
Смер 1	634	4,41	0,56	0,31
Смер 2	634	23,81	13,09	171,25



**Графикон 4.1.** Време опслуге MS система у смеру 2

Сходно претходном, у дисертацији је коришћен одговарајући M/G/1 модел. Коришћењем Pollaczek–Khinchine формуле за M/G/1 модел (Gross & Harris, 1998), на следећи начин се могу утврдити вредности просечног броја возила у реду ( $L_{qi}$ ) (Формула 4.10) и просечног времена проведеног у систему ( $W_i$ ) (Формула 4.11).

$$L_{qi} = \frac{\lambda_i^2 (\mu_i^2 \sigma_i^2 + 1)}{2n_i^2 \mu_i (\mu_i - \frac{\lambda_i}{n_i})} \quad (4.10)$$

$$W_i = \frac{\lambda_i (\mu_i^2 \sigma_i^2 + 1)}{2n_i \mu_i (\mu_i - \frac{\lambda_i}{n_i})} + \frac{1}{\mu} \quad (4.11)$$

На основу формула (4.10) и (4.11) врши се одређивање  $W_{1i}(n_{1i})$ ,  $W_{2i}(n_{2i})$ ,  $L_{q1i}(n_{1i})$  и  $L_{q2i}(n_{2i})$  из формула (4.8) и (4.9). При израчунавању у формулама (4.10) и (4.11) уместо  $n_i$  користе се одговарајуће вредности  $n_{1i}$  и  $n_{2i}$ .

### 4.3.3. Динамичко програмирање

С обзиром да је потребно оптимизовати рад наплатних трака одређених система за наплату путарине у различитим временским периодима, у једном и другом смеру, у дисертацији је предложена примена Динамичког програмирања (DP) као одговарајућег приступа за решавање

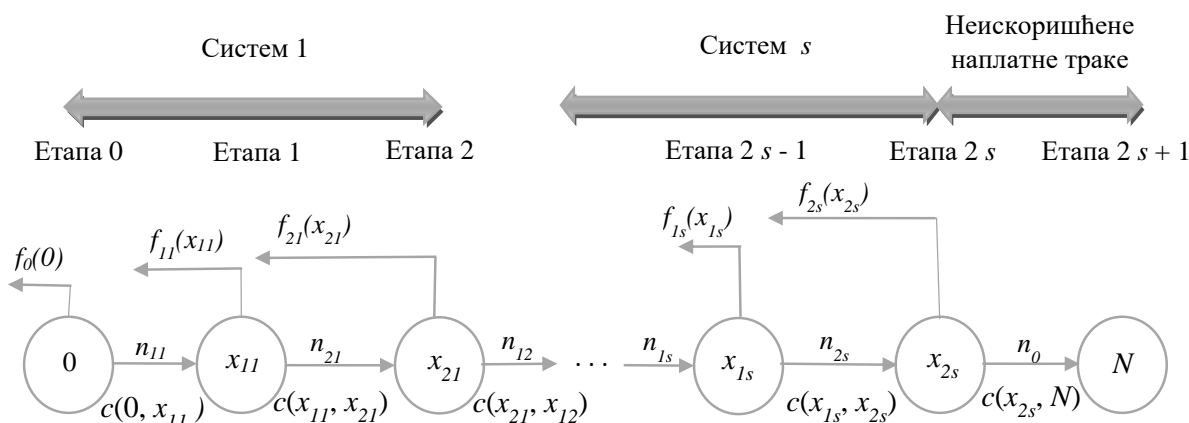
овог проблема. DP је предложен од стране Bellman (1957). Овим приступом одређује се оптимално решење вишеструког проблема тако што се проблем дели на етапе, при чему свака етапа садржи појединачни подпроблем. DP модел је у основи рекурзивна једначина која повезује различите етапе проблема на начин који гарантује да је оптимално изводљиво решење сваке етапе такође оптимално и изводљиво за целокупан проблем (Таћа, 2007). DP проблем може се решити рекурзијом унапред или уназад с обзиром да обе рекурзије дају исто решење. У дисертацији је коришћена рекурзија унапред у којој се прорачуни одвијају од прве до последње етапе. У општем облику рекурентна формула динамичког програмирања у кретању унапред може се приказати на следећи начин:

$$f_i(x_i) = \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{i-1}, x_i) \text{ links}}} \{c(x_{i-1}, x_i) + f_{i-1}(x_{i-1})\}, i = 1, \dots, n \quad (4.12)$$

Где:  $x_i$  представља стање у етапи  $i$ ;  $f_i(x_i)$  најмањи трошак до чвора  $x_i$  у етапи  $i$ ;  $c(x_{i-1}, x_i)$  представља трошак од чвора  $x_{i-1}$  до чвора  $x_i$ ;  $f_{i-1}(x_{i-1})$  представља најмањи трошак до чвора  $x_{i-1}$  у етапи  $i-1$ , и  $n$  је број последње етапе.

Ако претпоставимо да на наплатној станици постоји  $s$  независних система наплате путарине са баријерама, при чему ће корисници увек користити само један систем. Тада, ако је укупан интензитет доласка возила у једном смеру једнак  $\lambda$ , онда бисмо по сваком од система у том смеру имали интензитете  $\lambda_1, \dots, \lambda_s$ , при чему би важило да је:  $\lambda_1 + \dots + \lambda_s = \lambda$  и да интензитети  $\lambda_1, \dots, \lambda_s$  не зависе од броја трака по системима. Број етапа који бисмо имали у динамичком програмирању једнак је  $2 \cdot s + 2$  (Слика 4.1). Рекурентна формула (4.12) сада би се користила на следећи начин:

$$\begin{aligned} f_{11}(x_{11}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (0, x_{11}) \text{ links}}} \{c(0, x_{11}) + f_0(0)\} \\ f_{21}(x_{21}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{11}, x_{21}) \text{ links}}} \{c(x_{11}, x_{21}) + f_{11}(x_{11})\} \\ f_{12}(x_{12}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{21}, x_{12}) \text{ links}}} \{c(x_{21}, x_{12}) + f_{21}(x_{21})\} \\ f_{22}(x_{22}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{12}, x_{22}) \text{ links}}} \{c(x_{12}, x_{22}) + f_{12}(x_{12})\} \\ &\vdots \\ f_{1s}(x_{1s}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{2,s-1}, x_{1s}) \text{ links}}} \{c(x_{2,s-1}, x_{1s}) + f_{2,s-1}(x_{2,s-1})\} \\ f_{2s}(x_{2s}) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{1s}, x_{2s}) \text{ links}}} \{c(x_{1s}, x_{2s}) + f_{1s}(x_{1s})\} \\ f_N(N) &= \min_{\substack{\text{all feasible} \\ (x_{2s}, N) \text{ links}}} \{c(x_{2s}, N) + f_{2s}(x_{2s})\} \end{aligned}$$

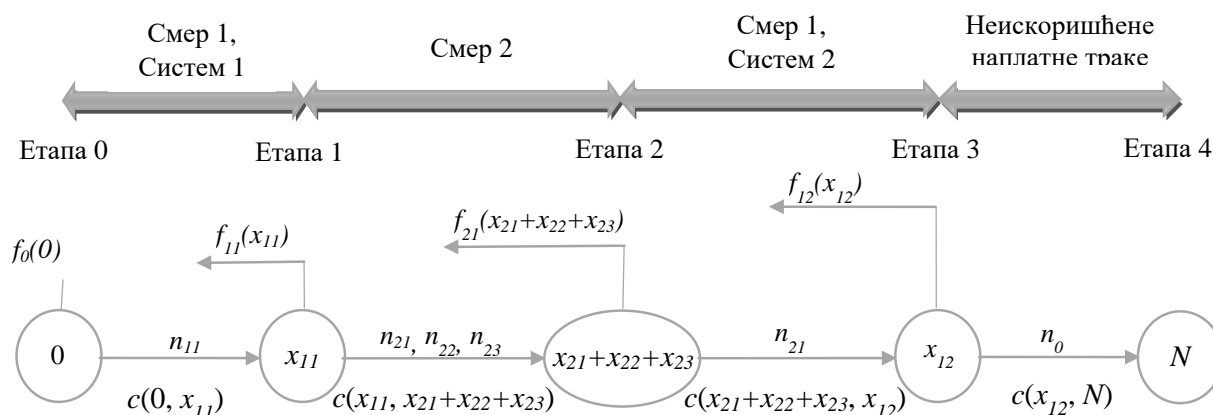


Слика 4.1. Граф стања у случају  $s$  независних система за наплату путарине

Када се одреди  $f_N(N)$  врши се идентификација пута којим се дошло од 0 до  $N$ , односно утврђују се вредности броја трака по системима. У зависности од тога кроз која стања ( $x_{ij}$ ) у етапама се пролази, вредности променљивих су једнаке:

$$\begin{aligned}
 n_{11} &= x_{11} - 0 = x_{11} \\
 n_{21} &= x_{21} - x_{11} \\
 &\vdots \\
 n_{1i} &= x_{1i} - x_{2,i-1} \\
 n_{2i} &= x_{2i} - x_{1,i} \\
 &\vdots \\
 n_{1s} &= x_{1s} - x_{2,s-1} \\
 n_{2s} &= x_{2s} - x_{1,s} \\
 n_0 &= N - x_{2s}
 \end{aligned}$$

У пракси се могу јавити следеће комбинације система заснованих на наплатним тракама: АСМ+МС, АСМ+ЕТС, МС+ЕТС или МС+АСМ+ЕТС. Како су АСМ и МС, као и АСМ и ЕТС системи независни, проблеми оптимизације се у овим случајевима решавају коришћењем претходно наведеног графа. Међутим, у случају МС и ЕТС система, у смеру 2 (приликом плаћања путарине) трака опремљена ЕТС опремом, додатним ангажовањем службеника за наплату путарине, може се користити као мешовита (МІ) трака – трака намењена како корисницима МС тако и корисницима ЕТС система. У том случају, у смеру 1 (приликом уласка у систем) имали бисмо интензитете наиласка возила  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  за ЕТС и МС системе респективно, при чему ови интензитети не зависе од броја трака које су додељене по сваком од система. У смеру 2 (приликом изласка из система) постоје интензитети  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , за ЕТС, МІ и МС наплатне траке респективно. У овом случају очигледно је да број МІ наплатних трака директно утиче на вредности интензитета  $\lambda_1$  и  $\lambda_3$ . Такође, промена броја МС наплатних трака утиче и на интензитете  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , али индиректно утиче и на промену интензитета  $\lambda_1$ . Слично томе и промена броја ЕТС наплатних трака утиче на промену интензитета  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , али доводи и до промене вредности  $\lambda_3$ . Због претходно наведеног, оперативне наплатне траке у смеру 2 неопходно је приказати у облику једне етапе у динамичком програмирању, при чему сваком стању у овој етапи одговарају конкретне вредности броја искоришћених трака за сваки од система. За овакав случај граф је неопходно приказати као на Слици 4.2.



**Слика 4.2.** Граф стања у случају када су у смеру 2 поред MS и ETC наплатних трака оперативне и MI наплатне траке

#### 4.4. Студија случаја наплатне станице у Републици Србији

Развијени модел оптимизације примењен је на једној од наплатних станица у Републици Србији („Шимановци“) (Слика 4.3). Укупан број наплатних трака на разматраној наплатној станици износи тринаест, од којих је четири намењено возилима која улазе у систем (смер 1), а девет возилима која излазе из система односно онима који плаћају путарину (смер 2) (Слика 4.3). Иако су наплатне траке реверзибилне по смеру (постоји могућност њиховог коришћења у оба смера), њихова употреба је до сада била ограничена само на један смер.

На наплатној станици „Шимановци“, као и на осталим наплатним станицама у Републици Србији, присутна су два система наплате путарине – MS и ETC систем. У смеру 1, заступљене су две MS и две ETC траке. У смеру 2, пет трака се користи као MS траке, док су преостале четири опремљене ETC опремом. Међутим, важно је истаћи да се тренутно само две користе као ETC траке, а преостале две као MI траке, односно траке намењене коришћењу како корисницима ETC система тако и корисницима MS система.

Разматрана наплатна станица највећим делом времена функционише према наведеном режиму рада. У пракси се јавља повремено отварање/затварање одређених трака MS система, на основу искуства оператора наплате путарине. Такође, често се догађа да се ова мера спроводи последично, тј. након што дође до појаве загушења.



**Слика 4.3.** Наплатна станица Шимановци

Подаци о саобраћајном оптерећењу у смеру 1 ( $\lambda_1$ ) и смеру 2 ( $\lambda_2$ ) прикупљени су уз помоћ аутоматског бројача саобраћаја (АБС), који се налази у непосредној близини наплатне станице. Важно је истаћи да између АБС и наплатне станице не постоје уливне и изливне рампе, односно број возила на наплатној станици једнак је оном са АБС. Да би се утврдили интензитети наиласка возила корисника ЕТС и MS система у смеру 1 ( $\lambda_{1ETC}$  и  $\lambda_{1MS}$ ) и смеру 2 ( $\lambda_{2ETC}$  и  $\lambda_{2MS}$ ) били су неопходни подаци о процентуалном уделу корисника једног и другог система наплате путарине. Према годишњем извештају Јавног Предузећа Путеви Србије (ЈППС, 2018) реализован приход од ЕТС наплате путарине заступљен је са 45%. Имајући то увиду, интензитети наиласка корисника MS и ЕТС система по смеровима вожње добијени су на следећи начин:

$$\lambda_{1ETC} = 0,45 \cdot \lambda_1; \lambda_{1MS} = 0,55 \cdot \lambda_1 \quad (4.13)$$

$$\lambda_{2ETC} = 0,45 \cdot \lambda_2; \lambda_{2MS} = 0,55 \cdot \lambda_2 \quad (4.14)$$

С обзиром да у смеру 2, поред одређеног броја ЕТС трака ( $n_{2ETC}$ ) и MS трака ( $n_{2MS}$ ) може бити оперативан и одређени број MI трака ( $n_{2MI}$ ), потребно је одредити нове вредности интензитета наиласка корисника ЕТС ( $\lambda_{2ETC}'$ ), MS ( $\lambda_{2MS}'$ ) и MI ( $\lambda_{2MI}'$ ) наплатних трака. Истраживање на терену је показало да само око 5% корисника ЕТС система користи MI наплатну траку (Једначина 4.15). На основу тога добија се да је интензитет  $\lambda_{2ETC}'$  једнак:

$$\lambda_{2ETC}' = \lambda_{2ETC} \cdot \frac{n_{2ETC}}{n_{2ETC} + 0,05 \cdot n_{2MI}} \quad (4.15)$$

У зависности од удела корисника MS система који ће користити MI наплатну траку (означимо га са  $p$ ) интензитет  $\lambda_{2MS}'$  је једнак:

$$\lambda_{2MS}' = \lambda_{2MS} \cdot \frac{n_{2MS}}{n_{2MS} + p \cdot n_{2MI}} \quad (4.16)$$

Интензитет  $\lambda_{2MI}'$  сада се може одредити на следећи начин:

$$\lambda_{2MI}' = \lambda_2 - \lambda_{2MS}' - \lambda_{2ETC}' \quad (4.17)$$

Да би се одредили интензитети  $\lambda_{2MS}'$  и  $\lambda_{2MI}'$  неопходно је утврдити вредност учешћа  $p$ . У ту сврху претпостављено је да постоји једнакост између интензитета наилазака возила у MS и MI траке. Наиме, претпостављено је да би се у случају отворене MI траке корисници MS система понашали тако да би између MS и MI траке изабрали ону у којој је мањи ред. На основу тога добија се следећа једначина:

$$\frac{\lambda_{2MS}}{n_{2MS} + p \cdot n_{2MI}} = p \cdot \frac{\lambda_{2MS}}{n_{2MS} + p \cdot n_{2MI}} + 0,05 \cdot \frac{\lambda_{2ETC}}{n_{2ETC} + 0,05 \cdot n_{2MI}} \quad (4.18)$$

из које следи:

$$p = \frac{\lambda_{2MS} - n_{2MS} \cdot \left(0,05 \cdot \frac{\lambda_{2ETC}}{n_{2ETC} + 0,05 \cdot n_{2MI}}\right)}{\lambda_{2MS} + n_{2MI} \cdot \left(0,05 \cdot \frac{\lambda_{2ETC}}{n_{2ETC} + 0,05 \cdot n_{2MI}}\right)} \quad (4.19)$$

Коначно, за утврђивање интензитета наиласка корисника одређене категорије возила, коришћени су подаци о структури тока са АБС-а. Подаци добијени са аутоматских бројача саобраћаја показују следећу расподелу возила: путнички аутомобили (ПА) 84%, аутобуси (БУС) 2%, лака теретна возила (ЛТВ) 1% и аутовозови (АВ) 13%.

Након што су утврђени интензитети наиласка потока клијената, било је неопходно утврдити интензитете опслуге сваке од разматраних наплатних трака. Интензитети опслуге MS траке у смеру 1 и смеру 2 утврђени су на основу мерења времена опслуге, као њихова реципрочна вредност (Табела 4.2). Интензитет опслуге ЕТС траке исти је за оба смера и утврђен је прорачуном (Формула 4.20), познавајући просечну брзину проласка возила кроз наплатну рампу (40 km/h) и средње растојање слеђења возила у зони разматране наплатне станице (17 m) (Табела 4.2). Интензитет опслуге МI траке прорачунат је на основу утврђених вредности интензитета опслуге MS и ЕТС траке и процентуалног удела MS и ЕТС корисника (Табела 4.2). Подаци који се односе на потрошњу горива и емисију полутаната, као и вредности јединичних трошкова потрошње горива и емисије полутаната, а који су детаљно описани у Поглављу 2 ове докторске дисертације, преузети су из рада Milenković et al. (2020) (Табела 4.2). Вредности јединичних трошкова временских губитака корисника утврђене су на основу просечне месечне бруто зараде у Републици Србији, броја радних сати, процентуалног учешћа пословних и осталих путовања, као и просечне попуњености ПА и БУС (Табела 4. 2).

$$q = \frac{1000}{S_h} \cdot V \quad (4.20)$$

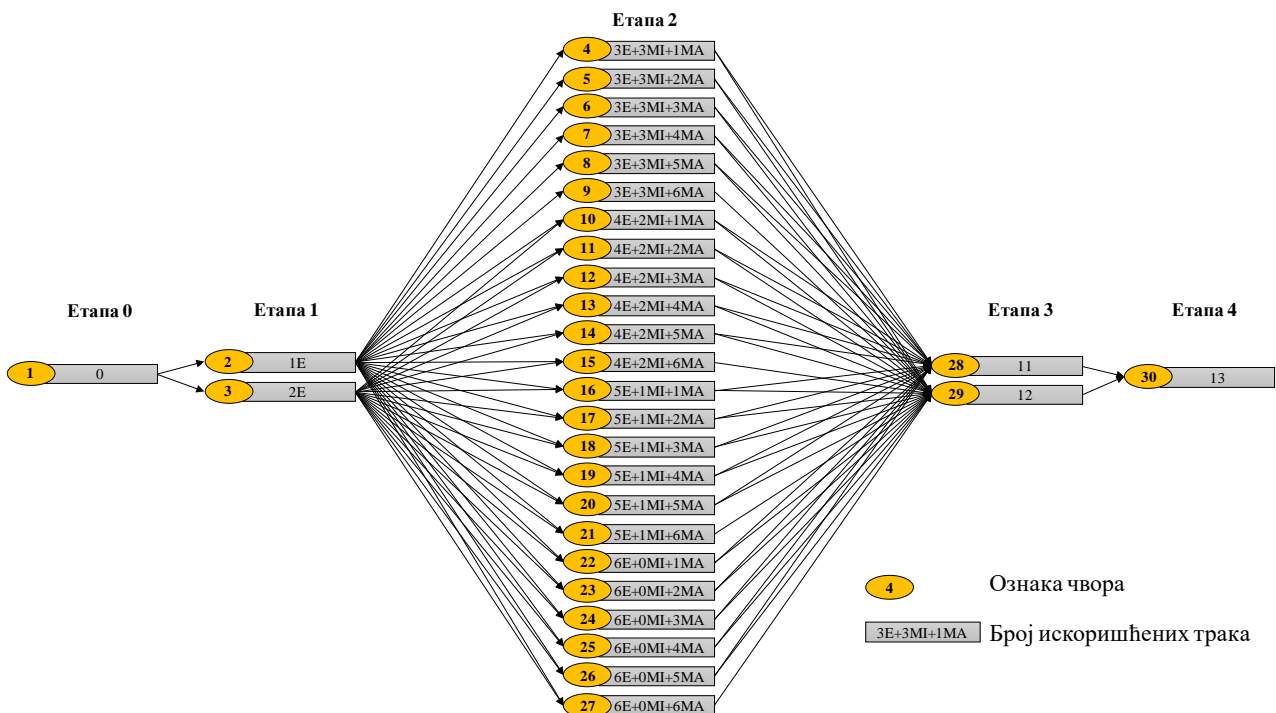
где:  $q$  представља максимални интензитет саобраћаја (voz/h),  $V$  брзину возила (km/h), и  $S_h$  је растојање слеђења (m).

**Табела 4.2.** Вредности параметара који су укључени у модел

Интензитет опслуге					
<b>ЕТС трака</b>					
- смер 1		2.352 voz/h/tr			
- смер 2		2.352 voz/h/tr			
<b>MS трака</b>					
- смер 1		816 voz/h/tr			
- смер 2		151 voz/h/tr			
<b>MI трака</b>					
- смер 1		847 voz/h/tr			
- смер 2		157 voz/h/tr			
Потрошња горива					
Различити модови вожње у зони траке	Категорија возила				
	ПА	БУС	ЛТВ	АВ	
- празан ход (g/s)	0,0002	0,0006	0,0004	0,0007	
- стани-крени процес (g)	0,0008	0,0054	0,0019	0,0075	
- конст. 40 km/h (g/s)	0,0007	0,0023	0,0011	0,0032	
Емисија полутаната					
Полутант	Различити процеси вожње у зонама наплатних трака	Категорија возила			
		ПА	БУС	ЛТВ	АВ
СО	- празан ход (g/s)	0,0010	0,0126	0,0042	0,0145
	- стани-крени процес (g)	0,0096	3,5753	0,0350	4,5711
	- конст. 40 km/h (g/s)	0,0683	0,0139	0,0136	0,0181
СО <sub>2</sub>	-празан ход (g/s)	0,5686	1,4247	0,9984	1,8704
	-стани-крени процес (g)	1,8342	59,9191	5,2517	83,0134
	- конст. 40 km/h (g/s)	1,6291	4,8634	3,0101	6,8725
НС	-празан ход (g/s)	0,0001	0,0005	0,0001	0,0006
	-стани-крени процес (g)	0,0003	0,0642	0,0012	0,0797
	-конст. 40 km/h (g/s)	0,0002	0,0008	0,0005	0,0011
NO <sub>x</sub>	-празан ход (g/s)	0,0004	0,0357	0,0089	0,0464
	-стани-крени процес (g)	0,0020	0,1256	0,0484	0,1806
	-конст. 40 km/h (g/s)	0,0029	0,0224	0,0188	0,0329
Јединични трошкови					
<b>Време путовања путника</b>					
- ПА		3,57 (€/h)			
- БУС		57,74 (€/h)			
<b>Потрошња горива</b>					
1,36 (€/l)					
<b>Емисија полутаната</b>					
- СО		111 (€/t)			
- СО <sub>2</sub>		37 (€/t)			
- НС		572 (€/t)			
- NO <sub>x</sub>		10,215 (€/t)			
<b>Радна снага</b>					
2,94 (€/h)					



У дисертацији су, на основу постојеће инфраструктуре, дефинисане могуће комбинације рада одређених врста наплатних трака, у једном и другом смеру, како би се минимизирали укупни трошкови корисника и радне снаге службе за наплату путарине. На Слици 4.4 приказан је граф стања који се састоји из неколико етапа. Етапа 1 представља број могућих активних ЕТС трака у Смеру 1. Имајући у виду реверзибилност трака, односно могућност коришћења трака из једног у други смер, у дисертацији је претпостављено да у смеру 1 мора бити активна најмање једна ЕТС, а да се друга по потреби може користити и у смеру 2. Етапа 2 представља збир активних трака из претходне етапе (ЕТС траке у смеру 1) и активних трака свих врста (ЕТС, МI и MS трака) у смеру 2. У оквиру етапе 2 претпостављено је да укупно у оба смера возње у сваком тренутку раде свих 6 трака опремљених ЕТС опремом, односно да збир ЕТС и МI трака у оба смера износи 6. У дисертацији је претпостављено да све време раде траке опремљене ЕТС опремом јер су трошкови њиховог функционисања (трошкови електричне енергије) занемарљиво мали. У случају коришћења ових трака у виду МI трака, узети су у обзир трошкови ангажовања службеника за наплату путарине. У оквиру ове етапе претпостављено је да у смеру 2 у сваком тренутку најмање две траке опремљене ЕТС опремом раде као ЕТС траке, као што је то случај у постојећем стању. Такође, важно је истаћи да стање 2 подразумева и различите комбинације рада MS трака у смеру 2 у зависности од саобраћајних захтева – најмање једна и највише шест активних MS трака. Иако је у постојећем стању највише 5 MS трака намењено смеру 2, у раду је као и код ЕТС трака узета у обзир могућност коришћења једне MS траке из смера 1 у смер 2, због различитих саобраћајних оптерећења у одређеним периодима и већег времена опслуге у смеру 2 у односу на смер 1. Етапа 3 подразумева збир до сада ангажованих ЕТС трака у смеру 1, ЕТС, МI и MS трака у смеру 2 и неангажованих MS трака у смеру 2. Последња 4. етапа односи се на број ангажованих и неангажованих трака свих врста у оба смера. У оквиру ове етапе, претпостављено је да у смеру 1 најмање једна MS трака мора бити активна. Друга MS трака у смеру 1 у појединим периодима може, али и не мора бити активна.



Слика 4.4. Граф стања система за наплату путарине на наплатној станици “Шимановци”

Табела 4.3 приказује резултате динамичког програмирања за часовна оптерећења у току меродавног дана. Из Табеле 4.3 могу се видети оптимална решења, као и вредности оптималних трошкова за разматрана саобраћајна оптерећења. Тако је на пример, за часовно оптерећење у периоду између 24.00 h и 01.00 h, у етапи 1 оптималан чвор 3, у етапи 2 чвор 22, и етапи 3 чвор 28. Оптималан ланац почиње чвором 1 (етапа 0), а завршава се чвором 30 (етапа 4). На основу добијених резултата, оптималан број ЕТС, MS и MI трака по смеровима вожње, као и укупно, за разматрана саобраћајна оптерећења приказан је у Табели 4.4. Из табеле 4.4 може се видети колико износи потребан број трака одређеног система за наплату путарине током одређених сати у току дана, с обзиром на интензитет саобраћаја у том временском периоду. Тако је на пример за период од 24.00 h до 01.00 h оптималан број трака у смеру 1 четири (две ЕТС и две MS траке), а у смеру 2 пет (4 ЕТС, једна MS и 0 MI). На основу Табеле 4.4 може се закључити да је на разматраној наплатној станици највећи број трака потребан у периоду од 10.00 h до 20.00 h (6 ЕТС, 6 MS и 0 MI), док је најмање трака потребно активирати у периоду од 24.00 h до 06.00 h (6 ЕТС, 3 MS и 0 MI). Као што је претходно наведено, с обзиром да рад ЕТС трака подразумева занемарљиве трошкове електричне енергије, ЕТС траке су увек активне. Нека од ЕТС трака у појединим периодима може бити коришћена као MI трака, као што је то случај за период од 22.00 h до 23.00 h. Наиме, у том периоду је потребно ангажовати 5 ЕТС трака, 3 MS траке и једну MI траку (Табела 4.4).

**Табела 4.3.** Резултати динамичког програмирања за часовни проток возила у току меродавног дана

Сат	Просечан часовни проток (voz/h)			Оптимално решење	Оптималан трошак (€)
	Смер 1	Смер 2	Укупно		
24-01	113	144	257	1→3→22→28→30	9,34
01-02	83	116	199	1→3→22→28→30	7,42
02-03	70	107	178	1→3→22→28→30	6,89
03-04	75	114	189	1→3→22→28→30	7,26
04-05	102	132	234	1→3→22→28→30	8,47
05-06	149	167	316	1→3→22→28→30	11,59
06-07	252	232	484	1→3→23→28→30	15,37
07-08	344	323	667	1→3→24→28→30	21,67
08-09	436	341	777	1→3→24→28→30	23,18
09-10	508	381	888	1→3→24→28→30	25,89
10-11	523	436	959	1→3→25→28→30	29,64
11-12	535	477	1.012	1→3→25→28→30	31,85
12-13	539	487	1.026	1→3→25→28→30	32,45
13-14	526	493	1.019	1→3→25→28→30	32,69
14-15	513	518	1.031	1→3→25→28→30	34,10
15-16	512	547	1.059	1→3→25→28→30	35,97
16-17	519	549	1.068	1→3→25→28→30	36,17
17-18	506	536	1.041	1→3→25→28→30	35,16
18-19	428	501	929	1→3→25→28→30	32,47
19-20	348	446	794	1→3→25→28→30	28,92
20-21	281	374	656	1→3→24→28→30	23,98
21-22	227	315	542	1→3→24→28→30	20,51
22-23	193	254	447	1→2→16→28→30	16,29
23-24	158	193	351	1→3→23→28→30	12,93

**Табела 4.4.** Оптималан број ЕТС, MS и MI трака за наплату путарине за часовни проток возила у току меродавног дана

Сат	Смер 1		Смер 2			Укупно		
	$n_{1ETS}$	$n_{1MA}$	$n_{2ETS}$	$n_{2MI}$	$n_{2MA}$	$n_{ETS}$	$n_{MI}$	$n_{MA}$
24-01	2	2	4	0	1	6	0	3
01-02	2	2	4	0	1	6	0	3
02-03	2	2	4	0	1	6	0	3
03-04	2	2	4	0	1	6	0	3
04-05	2	2	4	0	1	6	0	3
05-06	2	2	4	0	1	6	0	3
06-07	2	2	4	0	2	6	0	4
07-08	2	2	4	0	3	6	0	5
08-09	2	2	4	0	3	6	0	5
09-10	2	2	4	0	3	6	0	5
10-11	2	2	4	0	4	6	0	6
11-12	2	2	4	0	4	6	0	6
12-13	2	2	4	0	4	6	0	6
13-14	2	2	4	0	4	6	0	6
14-15	2	2	4	0	4	6	0	6
15-16	2	2	4	0	4	6	0	6
16-17	2	2	4	0	4	6	0	6
17-18	2	2	4	0	4	6	0	6
18-19	2	2	4	0	4	6	0	6
19-20	2	2	4	0	4	6	0	6
20-21	2	2	4	0	3	6	0	5
21-22	2	2	4	0	3	6	0	5
22-23	1	2	4	1	1	5	1	3
23-24	2	2	4	0	2	6	0	4

У оквиру дисертације спроведена је и анализа оптималног броја трака одређеног система за наплату путарине за сате са највећим саобраћајним оптерећењем. С обзиром на чињеницу да се максимални часовни протоци у смеру 1 и 2 реализују у различитим периодима, то је анализа оптималног броја трака урађена за сате током којих се реализује максимално часовно оптерећење у смеру 1, односно у смеру 2 (Табеле 4.5-4.6). Из Табеле 4.5 може се видети да за сат са максималним часовним оптерећењем у смеру 1, оптимално решење укључује чворове 1, 3, 25, 28 и 30, док за сат са максималним оптерећењем у смеру 2 оптимално решење укључује чворове 1, 2, 9, 29 и 30. Из Табеле 4.6 може се видети потребан број трака одређеног система за наплату путарине за разматрана саобраћајна оптерећења, у једном и другом смеру. Један од кључних налаза је да је током максималног часовног оптерећења у смеру 2 потребно ангажовати све капацитете (7 MS+6 ЕТС), где би се од укупно 6 ЕТС трака, 3 користиле као ЕТС, а 3 као MI траке.

**Табела 4.5.** Резултати динамичког програмирања за максимални часовни проток возила у смеру 1 и 2

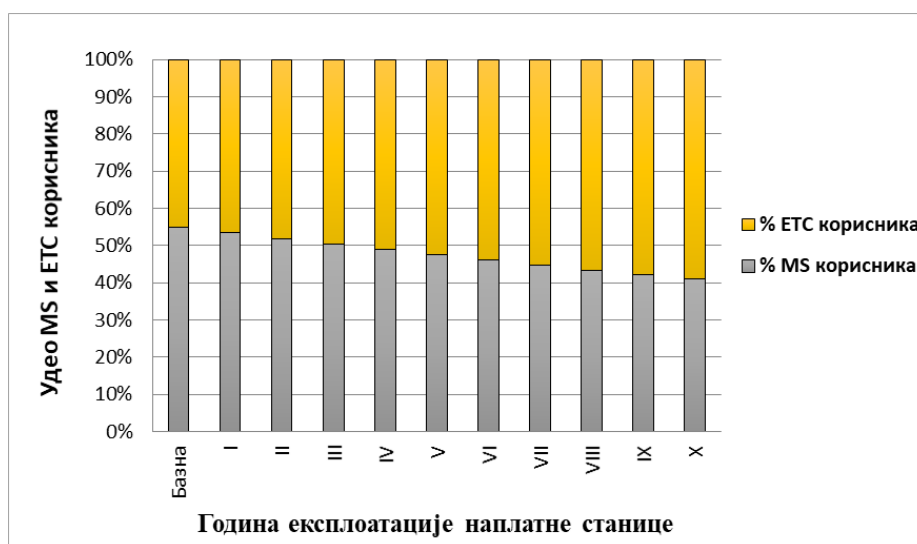
Сат	Интензитет саобраћаја (voz/h)			Оптимално решење	Оптимални трошак (€)
	Смер 1	Смер 2	Укупно		
Макс. $\lambda_1$	1.072	522	1.594	1→3→25→28→30	38,95
Макс. $\lambda_2$	520	1.148	1.688	1→2→9→29→30	70,40

**Табела 4.6.** Оптималан број ЕТС, MS и MI наплатних трака за максимални часовни проток возила у смеру 1 и 2

Сат	Смер 1		Смер 2			Укупно		
	$n_{1ETS}$	$n_{1MA}$	$n_{2ETS}$	$n_{2MI}$	$n_{2MA}$	$n_{ETS}$	$n_{MI}$	$n_{MA}$
Макс. $\lambda_1$	2	2	4	0	4	6	0	6
Макс. $\lambda_2$	1	1	2	3	6	3	3	7

Имајући у виду, ограничен капацитет наплатне станице са једне стране и пораст саобраћајних захтева током времена са друге стране, намеће се потреба за дефинисањем одговарајуће политике која ће омогућити ефикасно функционисање наплатне станице. Како би се повећао или макар задржао постојећи ниво услуге на наплатној станици у будућем периоду, неопходно је спроводити одговарајуће мере које би подразумевале мотивисање корисника да са MS система пређу на коришћење ЕТС система. Повећањем корисника наплатних трака великог капацитета, повећала би се пропусна моћ наплатне станице, а самим тим оствариле значајне уштеде како са аспекта управљача пута, тако и са аспекта корисника и друштва у целини.

У дисертацији је спроведена прогноза саобраћајног оптерећења у наредних десет година, како би се утврдио проценат корисника MS система који би у будућем периоду требао прећи на коришћење ЕТС система, да би се са постојећом инфраструктуром остварио захтевани ниво (Графикон 4.2). Просечна годишња стопа раста просечног годишњег дневног саобраћаја (ПГДС) утврђена је анализом социо-економских показатеља као што су број становника, бруто домаћи производ (БДП), стопа моторизације и тржиште (цена) рада. За добијену годишњу стопу раста саобраћаја од 3% урађена је прогноза саобраћајних токова за период експлоатације од 10 година. Са Графикона 4.2 може се видети да би за период од 10 година, због повећања саобраћајног оптерећења, око 15% корисника MS система требало да пређе на коришћење ЕТС система како би се са постојећим капацитетом остварио захтевани ниво услуге.



**Графикон 4.2.** Процентуални удео MS и ЕТС корисника за период од десет година

## 4.5. Дискусија

Проблем неефикасног рада наплатних станица огледа се пре свега у чињеници да се саобраћајно оптерећење мења током времена, а да наплатне станице углавном функционишу по принципу стационарног режима рада. Имајући то у виду, у дисертацији је развијен модел минимизације трошкова времена путовања путника, потрошње горива, емисије полутаната,

као и трошкова ангажоване радне снаге на пословима наплате путарине, како би се оптимизовао рад постојећих наплатних трака у реалном времену применом адаптивбилног система управљања. На тај начин се обезбеђује одговарајуће искоришћење постојећих капацитета, с обзиром на разлике у саобраћајном оптерећењу које се јављају у одређеним временским периодима и смеровима вожње. Систем адаптивбилног управљања радом наплатних трака подразумевао би прикупљање и слање података о броју возила која су ушла и изашла на свим претходним наплатним станицама разматраног путног правца. Вишак радне снаге са послова наплате путарине у појединим периодима могао би бити ангажован на другим пословима у оквиру функционисања предузећа за наплату путарине, управљања и одржавања мреже аутопутева.

Развијени модел је потом, коришћењем динамичког програмирања, примењен на једној од наплатних станица у Републици Србији. Оптималан број трака одређених система за наплату путарине, на разматраној наплатној станици, утврђен је за часовна оптерећења у току меродавног дана, као и за максимална часовна оптерећења у току године, у једном и другом смеру. Добијени резултати су показали да постоје значајне разлике у ангажовању одређених врста наплатних трака током времена. Тако је на пример, за просечна часовна оптерећења у току дана, у периоду од 10.00 h до 20.00 h потребно ангажовати 12 наплатних трака (6 ЕТС и 6 MS), а за период од 24.00 h до 06.00 h укупно 9 наплатних трака (6 ЕТС и 3 MS). Током максималног часовног оптерећења у току године потребно је ангажовати свих 13 наплатних трака (3 ЕТС, 3 MI и 7 MS).

На основу спроведене прогнозе саобраћајног оптерећења, утврђено је да би за период од десет година 15% корисника MS система требало да пређе на коришћење ЕТС система, да би се са постојећом инфраструктуром остварио захтевани ниво услуге. Већи ниво услуге подразумевао би додатно повећање учешћа корисника напредних система за наплату путарине. Да би се повећало учешће корисника ЕТС система неопходно је спроводити одређене кампање у оквиру којих би корисници имали прилику да сагледају бенефите које би им омогућила примена ЕТС система у односу на MS систем. Такође, пружањем могућности куповине и допуне уређаја на различитим приступачним локацијама и обезбеђивањем одређених повластица корисницима ЕТС система, попут могућности остварења одређених попушта и/или добијања тага без накнаде, може се у великој мери утицати на повећање учешћа ЕТС корисника.

## 5. Анализа временског и просторног тарифирања коришћења аутопута

### 5.1. Опис проблема

Два основна концепта наплате путарине на аутопутевима којима се дефинише шта се кориснику наплаћује, односно на који начин се накнаде наплаћују, су наплата заснована на пређеним километрима (DB) и наплата заснована на времену (TB) (Matthews & Nellthorp, 2012; Главић, 2016; Glavić et al., 2018). DB наплата заснива се на принципу да се накнада плаћа од стране корисника на основу ефективног коришћења путне инфраструктуре, односно возачи плаћају тачно онолико колико су користили путну инфраструктуру. Ова врста накнаде усклађена је са осталим параметрима који карактеришу возило као што су габарити, емисиона класа возила итд. У случају TB наплате путарине, висина путарине се рачуна као паушална вредност на основу времена које је возач платио, такође узимајући у обзир параметре који карактеришу возило. Возило мора поседовати вињету, налепницу залепљену на ветробранском стаклу возила, која му омогућује да користи одређену путну инфраструктуру у одређеном временском периоду (дан, недеља, месец, година). Поред вињета у облику налепница постоје и тзв. електронске вињете.

Као што су вињете представници TB концепта, важно је истаћи да су представници DB концепта мануелни систем наплате путарине (MS), аутоматска машина за кованице (ACM) и системи засновани на електронској наплати путарине (ETC са баријерама и ETC без баријера). У оквиру система заснованих на електронској наплати путарине спадају бројни системи који су базирани на следећим технологијама: наменска комуникација кратког домета (DSRC), идентификација путем радио фреквенције (RFID), глобални навигациони сателитски систем/мобилна мрежа (GNSS), аутоматско препознавање регистарске ознаке возила (ANPR) итд. (Persad et al., 2007; Sharma & Sharma, 2014; European Parliament, 2014, Milenković et al., 2018a).

Основне карактеристике DB и TB наплате путарине приказане су у Табели 5.1, навођењем предности и недостатака оба концепта. Главна предност DB концепта је фер плаћање тј. чињеница да сви корисници плаћају тачно оно што користе. Поред тога, DB концептом се стимулишу возачи да уместо путничких аутомобила користе друге еколошки прихватљиве видове превоза, а све у циљу смањења загушења у саобраћају и емисија полутаната. Такође, код овог концепта постоји могућност интероперабилности система за наплату путарине у различитим земљама, као и могућност коришћења у друге сврхе (плаћање паркинга, наплата загушења, као и за потребе навигације возила, контроле саобраћаја, заштите од крађе итд.). Одређени недостаци овог концепта односе се на питање заштите, односно приватности података. Такође, технологије које се базирају на овом концепту захтевају поседовање OBU и опреме крај пута, и у случају коришћења ових технологија може доћи и до загушења на наплатним станицама.

Са друге стране, TB наплата представља паушалну накнаду и повољна је за одређене кориснике, најчешће домаће. Овај концепт наплате може се увести релативно брзо са ниским инвестиционим трошковима и трошковима експлоатације и одржавања пута (O&M трошкови). Такође, важно је истаћи да је у случају TB концепта само делимично испоштован принцип „Загађивачи плаћају“ и то кроз различите цене за различите категорије возила. Недостаци овог концепта односе се на нефер и несразмерне цене које могу довести до дискриминације на националном нивоу. TB концепт се не може користити код наплате загушења, као алат за управљање саобраћајним захтевима. Такође, у случају аутопутева који су грађени по моделу јавног приватног партнерства (PPP), TB наплата није примењива јер

управљачи пута не могу на ефикасан начин да наплаћују путарину. Недостаци овог концепта односе се и на високе трошкове контроле наплате путарине, нефлексибилност система, немогућност интероперабилности система, као и визуелно нарушавање изгледа возила.

**Табела 5.1.** Предности и недостаци DB и ТВ концепта наплате

	DB	ТВ
Фер наплата	✓	✗
Дискриминација на националном нивоу	✗	✓
Загађивачи плаћају	✓	✗
Подстицање возача да у мањој мери користе своја возила	✓	✗
Могућност интероперабилности	✓	✗
Могућност коришћења у остале сврхе	✓	✗
Поузданост система	✓	✗
Нарушавање приватности	✓	✗
Неопходно поседовање OBU	✓	✗
Релативно скупа опрема крај пута	✓	✗
Релативно јефтин за имплементацију	✗	✓
Погодно за свакодневне углавном домаће кориснике	✗	✓
Непогодно за повремене углавном стране кориснике	✗	✓
Проблеми у контроли наплате путарине	✗	✓
Високи трошкови принуде	✗	✓
Визуелно нарушавање изгледа возила	✗	✓

У земљама чланицама ЕУ тренутно су присутна оба концепта наплате путарине (Табела 5.2). Земље чланице ЕУ у којима је за путничке аутомобиле наплата путарине заснована на ТВ концепту су Аустрија, Бугарска, Република Чешка, Мађарска, Румунија, Словачка и Словенија, док је ТВ концепт за комерцијална возила присутан у Бугарској, Данској, Естонији, Летонији, Луксембургу, Литванији, Холандији, Румунији и Шведској (Booz & Company, 2012). Сходно наведеном, може се закључити да се једино у Бугарској и Румунији и за путничке аутомобиле и за камионе примењује ТВ наплата. DB концепт наплате путарине, како за аутомобиле тако и за камионе, присутан је у Хрватској, Ирсској, Италији, Француској, Грчкој, Пољској, Португалу и Шпанији. За теретна возила DB концепт се примењује у Аустрији, Белгији, Чешкој Републици, Немачкој, Мађарској, Пољској, Словачкој и Словенији. На Кипру, Малти и у Финској, не наплаћује се коришћење аутопутне инфраструктуре.

Европска Комисија је до сада регулисала само правила о наплати путарине за теретна возила (European Parliament, 2007). Тренутно, парламент ЕУ расправља о томе да ли наплата путарине лаким теретним возилима и тешким теретним возилима треба да се спроводи у зависности од њиховог стварног коришћења путне инфраструктуре и генерисаног загађења. Према тим плановима, земље ЕУ које користе ТВ концепт наплате, требало би да пређу на DB концепт од 2023. године за камионе и аутобусе, а од 2027. године за комби возила и минибусеве. Комисија се залаже за DB системе наплате путарине јер сматрају да ће они осигурати праведније накнаде широм Европе, подстаћи возаче да мање користе своја возила, помоћи смањењу емисије CO<sub>2</sub> и самим тим генерално смањењу загађења.

Табела 5.2. DB и ТВ концепти у земљама ЕУ

ЕУ земље	DB наплата		ТВ наплата	
	За ПА	За камионе	За ПА	За камионе
Шпанија	✓	✓	×	×
Француска	✓	✓	×	×
Италија	✓	✓	×	×
Португал	✓	✓	×	×
Грчка	✓	✓	×	×
Хрватска	✓	✓	×	×
Ирска	✓	✓	×	×
Пољска	✓	✓	×	×
Велика Британија	✓	✓	×	×
Немачка	×	✓	×	×
Белгија	×	✓	×	×
Чешка Република	×	✓	✓	×
Словачка	×	✓	✓	×
Аустрија	×	✓	✓	×
Словенија	×	✓	✓	×
Мађарска	×	✓	✓	×
Бугарска	×	×	✓	✓
Румунија	×	×	✓	✓
Шведска	×	×	×	✓
Данска	×	×	×	✓
Литванија	×	×	×	✓
Летонија	×	×	×	✓
Естонија	×	×	×	✓
Луксембург	×	×	×	✓
Холандија	×	×	×	✓
Кипар	×	×	×	×
Малта	×	×	×	×
Финска	×	×	×	×

У оквиру овог поглавља извршена је анализа навика корисника у погледу коришћења аутопута, као и ставова корисника о DB и ТВ концепту наплате путарине (Glavić et al., 2018). Истраживање је спроведено на подручју Северне Македоније, с обзиром да је ова земља тренутно у процесу унапређења свог застарелог система наплате и самим тим представља добру основу за наведену анализу. Приликом унапређења постојећег система наплате путарине доноси се одлука у погледу избора одговарајућег концепта наплате путарине. Спроведено истраживање може помоћи доносиоцима одлука, стручњацима, као и корисницима да боље разумеју DB и ТВ моделе наплате путарине.

Наплата путарине у Северној Македонији заснива се на DB концепту. Наиме, у отвореном систему наплате путарине постоје наплатне кућице са баријерама где се путарина може платити у готовини или банковним картицама. Систем наплате путарине у Северној Македонији састоји се од десет наплатних станица. Овај систем се често суочава са загушењима у летњим вршним периодима. На пример, једно путовање на дужини од 50 km до 100 km захтева три или четири заустављања на наплатним станицама и чекања у реду за плаћање путарине (Glavić et al., 2018).



Ово истраживање представља својеврстан допринос оскудној литератури у области ДВ и ТВ наплате путарине. Поред тога, у дисертацији је примењена техника која је до сада ретко коришћена у овој области и која је омогућила дефинисање фактора који утичу на став корисника о ДВ и ТВ концепту наплате путарине. Добијени резултати представљају важну базу знања за разматрање актуелних концепата наплате путарине, пружајући могућност доносиоцима одлука да боље разумеју како различити концепти путарине утичу на различите категорије корисника. На крају је дата компаративна анализа ставова корисника о ДВ и ТВ концептима и стварних вредности плаћених и пређених километара за ДВ и ТВ концепт наплате путарине.

## 5.2. Преглед литературе

Претраживањем радова на ову тему, утврђено је да су у јако малом броју радова анализирани ставови корисника по питању ДВ и ТВ концепта наплате путарине и фактора који утичу на спремност корисника да плате одређену своту новца за коришћење аутопута. Наиме, конкретних радова на тему анализе ставова по питању ТВ и ДВ концепта за наплату путарине готово да нема. Vrtic et al. (2007) су процењујући утицај различитих елемената организационе шеме за наплату путарине на прихватљивост наплате од стране корисника, дошли до налаза да су накнаде засноване на пређеном растојању на аутопутевима и накнаде засноване на пређеним километрима за све врсте путева префериране врсте наплате, у односу на зонски систем наплате и накнаде засноване на времену.

Износ новца који би појединац био спреман да плати да би обезбедио одређено добро или услугу често се назива спремност за плаћање (WTP). Поред WTP, економисти често расправљају о максималној прихватљивој цену (MAP), односно о максималном износу при којем се појединац не би одрекао коришћења робе или услуге. Претходно, Glavić et al. (2017b) спровели су свеобухватну анализу WTP и MAP вредности за наплату путарине у Босни и Херцеговини, једној од земаља у региону. Анализа је обухватила 15.361 возача и при томе су разматрани следећи фактори: дан у недељи, порекло возила, сврха путовања, учесталост коришћења аутопута и приход корисника. У том раду Glavić et al. (2017b) показали су да постоји статистички значајна разлика у WTP и MAP вредностима у односу на сврху путовања, учесталост путовања и месечни приход корисника. Генерално је у досадашњим истраживањима идентификовано неколико фактора који утичу на WTP и MAP вредности наплате путарине, као што су приход корисника, сврха путовања, период коришћења аутопута, учесталост коришћења аутопута, просечна пређена километража, укупна дужина путовања, уштеде у времену путовања итд. (Calfée & Winston, 1998; Mackie et al., 2003; Brownstone et al., 2003; Hensher & Goodwin, 2004; Jou & Huang, 2014).

## 5.3. Методологија

### 5.3.1. Прикупљање података

За потребе прикупљања података коришћен је метод анкете. Истраживање је спроведено електронским путем у периоду од два месеца – од новембра до децембра, 2017. године. Циљну групу су чинили корисници мреже аутопутева у Северној Македонији. Међутим, с обзиром да корисници комерцијалних возила нису меродавни за оцену спремности корисника да плате коришћење мреже аутопутева, јер им у већини случајева путарину плаћају фирме, они су искључени из анализе. Коначан узорак су чинили само корисници путничких аутомобила.

Упитник се састојао из два дела. Први део се односио на социо-економске карактеристике испитаника и навике корисника у погледу коришћења аутопута, односно садржао је питања као што су пол, старост, образовање, просечни месечни приход, учесталост коришћења аутопута, просечна пређена километража, период коришћења аутопута и сврха коришћења аутопута. Други део анкете односио се на став корисника о карактеристикама система, о њиховом искуству везаном за коришћење различитих система за наплату путарине, њиховој спремности да плате за ДВ и ТВ накнаду, као и о њиховим ставовима по питању наведена два концепта – ТВ и ДВ. Наиме, испитаници су имали задатак да на скали од један до пет, где је јединица означавала најмање важну, а петица најзначајнију карактеристику, оцене карактеристике система које су за њих најважније. Техничке карактеристике чиниле су интероперабилност и флексибилност система, саобраћајне број заустављања, ниво услуге и ниво безбедности саобраћаја, социјалне правичност наплате путарине и могућност крађе и злоупотребе, и еколошке загађење животне средине и визуелно нарушавање изгледа околине. Искуство везано за коришћење система за наплату путарине односило се на коришћење вињета као представника ТВ концепта и ЕТС система као представника ДВ концепта. WTP и MAP вредности односиле су се на ДВ накнаду (за 100 km аутопута) и за ТВ накнаду – вињете са различитим дужинама валидности (недељним, десетодневним, месечним и годишњим). На крају, испитаници су имали задатак да изразе своје мишљење о преферираном концепту наплате путарине.

### 5.3.2. Статистичка анализа

Подаци су анализирани коришћењем IBM SPSS 22 и IBM AMOS 22. Нормалност расподеле тестирана је провером хистограма и Колмогоров-Смирнов тестом. С обзиром да расподеле свих континуалних променљивих нису статистички значајно одступале од нормалне расподеле, коришћене су параметарске методе. Аритметичка средина и стандардно одступање тј. апсолутне ( $n$ ) и релативне фреквенције (%), коришћене су за описивање података. Једнофакторска анализа варијансе (ANOVA) коришћена је за оцену значајности разлика, док је SEM анализа коришћена за испитивање предиктора који утичу на MAP вредност. На крају је спроведена бинарна логистичка регресија како би се утврдио утицај учесталости коришћења аутопута на шансу да корисник преферира ДВ у односу на ТВ наплату путарине.

Два SEM модела су развијена, један у коме је зависна променљива *MAP ДВ* и други са зависном променљивом *MAP ТВ*. У оба SEM модела латентна променљива *Карактеристике кретања* састоји се из најчешћег периода коришћења аутопута у току недеље (радни дан или дан викенда) и најчешће сврхе коришћења аутопута (са сврхом одласка на посао/у школу односно рекреације). Такође, латентне променљиве које се односе на ставове корисника о значају карактеристика система за наплату путарине су *Саобраћајне карактеристике*, *Техничке карактеристике* и *Социјалне карактеристике*. Латентна променљива *Саобраћајне карактеристике* састоји се од променљивих које се односе на број заустављања, ниво услуге и ниво безбедности саобраћаја. Латентна променљива *Техничке карактеристике* састоји се од променљиве која се односи на интероперабилност система (могућност коришћења у другим земљама) и променљиве која означава флексибилност система (могућност коришћења у остале сврхе), док се латентна променљива *Социјалне карактеристике* састоји од променљивих које се односе на могућност злоупотребе система и правичност концепта наплате путарине. Поред ових латентних променљивих, оба модела садрже предикторе који се односе на приход испитаника и учесталост коришћења аутопута. Први модел садржи променљиву која се односи на искуство везано за коришћење ЕТС система, док други модел садржи променљиву везану за искуство у коришћењу вињета.

## 5.4. Резултати

### 5.4.1. Карактеристике узорка

Укупан узорак је чинило 284 корисника путничких аутомобила, од којих су 189 (66.5%) били мушкарци и 95 жене (33.5%). Узорак су у највећој мери чинили корисници аутопута средњих година 30-39 (23%), 40-49 (27%) и 50-59 (21%), али су у узорку били заступљени и они који чине најмлађу 18-29 (19,4%), као и најстарију популацију 60+ (9,5%). Највећи број испитаника је са просечним месечним приходом од 250 € до 500 € (40,5%), затим следе испитаници са приходом од 500 € до 750 € (22,9%) и приходом <250 € (18,7%), док је најмања заступљеност оних са високим приходом (9,5% са приходом од 750 € до 1000 € и 8,5% са приходом >1000 €).

### 5.4.2. Резултати анализе DB концепта наплате путарине

#### 5.4.2.1. Резултати дескриптивне статистике

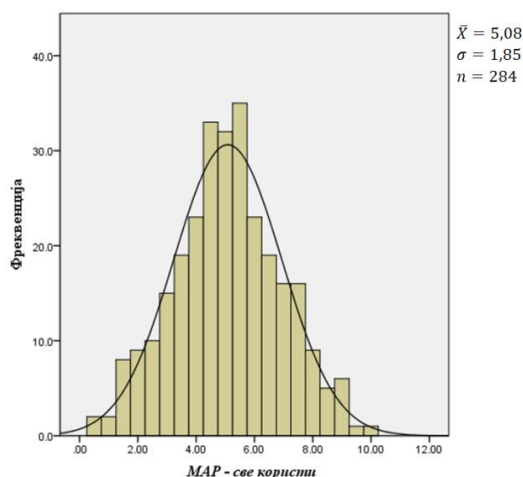
У оквиру спроведене анкете, испитаници су имали задатак да одговоре на питање о суми новца коју би платили за уштеде у времену путовања од 30-40 min (*WTP – уштеде у времену путовања*) и питање при којој цени би одустали од коришћења аутопута иако би остварили уштеде у времену путовања од 30-40 min (*MAP – уштеде у времену путовања*), на растојању од 100 km, у односу на пут са слободним режимом коришћења.

Након тога, испитаници су упитани да одговоре на иста питања, али су им сада поред уштеда у времену путовања предочене и остале користи коришћења аутопута у односу на пут са слободним режимом коришћења (*WTP – све користи* и *MAP – све користи*). Ове користи односиле су се на већи ниво услуге и већу безбедност у саобраћају, поред уштеда у времену путовања. Резултати показују да су MAP вредности значајно веће од WTP вредности. Такође, корисници су навели веће вредности за WTP и MAP када су сагледали све користи него када су у обзир узели само уштеде у времену путовања (Табела 5.3).

**Табела 5.3.** WTP и MAP вредности за DB концепт наплате путарине

	Аритметичка средина	Стандардно одступање
<i>WTP – уштеде у времену путовања (€/100km)</i>	2,66	1,24
<i>WTP – све користи (€/100km)</i>	3,75	1,44
<i>MAP – уштеде у времену путовања (€/100km)</i>	4,11	1,58
<i>MAP – све користи (€/100km)</i>	5,08	1,85

Као што је претходно наведено, нормална расподела континуалних променљивих тестирана је провером хистограма и Колмогоров-Смирнов тестом. На Слици 5.1 приказан је хистограм расподеле променљиве *MAP – све користи*, јер су у даљој анализи разматрани утицаји појединих фактора управо на ову зависну променљиву. Резултати теста показали су да расподела наведена променљиве не одступа статистички значајно од нормалне расподеле ( $p=0,053$ ). Имајући у виду чињеницу да су расподеле и осталих континуалних променљивих тежиле нормалној расподели, у анализи су коришћене параметарске методе аналитичке статистике.



Графикон 5.1. Расподела вредности променљиве *MAP – све користи*

#### 5.4.2.2. Резултати ANOVA

У Табели 5.4 приказане су просечне вредности *MAP – све користи* (у даљем тексту *MAP*) за групе корисника са различитим месечним приходом. На основу вредности из Табеле 5.4 може се видети да су просечне вредности *MAP* веће код група корисника са већим приходом. Како би се утврдило да ли се *MAP* вредности за групе корисника са различитим месечним приходима статистички значајно разликују, спроведена је ANOVA. Испуњени су сви предуслови за спровођење ове анализе и резултати ANOVA показали су да постоји статистички значајна разлика између средњих *MAP* вредности у пет група ( $F(4,279)=32,739$ ;  $p<0,001$ ). С обзиром да је утврђено да вредност Ета квадрата износи 0,32, може се закључити да је утицај разлике велики. Накнадна поређења, помоћу Tukey HSD теста, показала су да се *MAP* вредности испитаника са приходом до 250 € и оних са приходом од 250 € до 500 € статистички значајно разликују у односу на све остале групе, као и међусобно. Статистички значајна разлика не постоји једино између групе са приходом од 750 € до 1.000 € у односу на групе са приходом од 500 € до 750€ ( $p=0,547$ ) и приходом већим од 1.000 € ( $p=0,499$ ).

У Табели 5.4, такође су приказане *MAP* вредности за групе корисника са различитом учесталашћу коришћења аутопута. На основу приказаних вредности може се закључити да су корисници који ређе користе аутопут спремнији да плате већу суму новца у односу на оне који аутопут користе чешће. Како би се утврдило да ли се просечне вредности *MAP* разликују међу групама корисника са различитом учесталашћу коришћења аутопута, такође је спроведена ANOVA. Добијени резултати су показали да постоји статистички значајна разлика између просечних *MAP* вредности у три групе учесталости коришћења аутопута ( $F(2,281)=83,672$ ;  $p<0,001$ ). Накнадна поређења помоћу Tukey HSD теста показала су да се просечна вредност групе са недељним коришћењем аутопута значајно разликује од просечне вредности групе са месечним коришћењем ( $p<0,001$ ) и годишњим коришћењем аутопута ( $p<0,001$ ). Група која се односи на месечне кориснике се не разликује статистички значајно од групе са коришћењем аутопута на годишњем нивоу ( $p=0,063$ ). Међутим, треба нагласити да је вредност статистичке значајности блиска граничној.

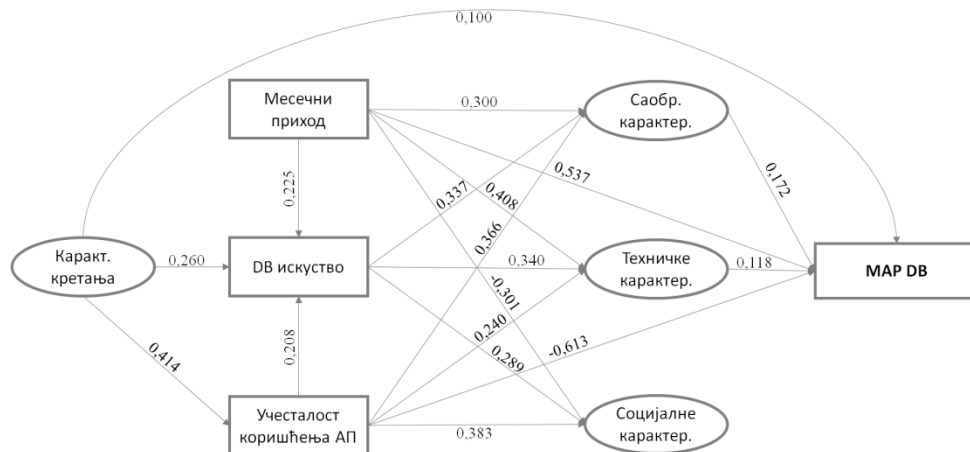
Коначно, ANOVA је примењена како би се утврдило да ли се просечне вредности *MAP* разликују код група корисника са различитим пређеним километражама на аутопуту (Табела 5.4). Резултати ANOVA су показали да не постоје статистички значајне разлике у просечним вредностима *MAP* код група корисника са различитим просечним пређеним километражама ( $F(5,278)=0,590$ ;  $p=0,707$ ).

**Табела 5.4.** Резултате ANOVE за MAP DB вредности

		MAP (€/100km)			F-тест	p вредност
		Аритметичка средина	Стандардно одступање			
Месечни приход	<250 €	3,59	1,35	32,739	<0,001	
	250-500 €	4,65	1,54			
	500-750 €	5,82	1,54			
	750-1000 €	6,35	1,62			
	>1000 €	7,04	1,77			
Учесталост коришћења аутопута	Свакодневни корисници	2,87	1,25	83,672	p<0,001	
	Месечни корисници	5,42	1,50			
	Годишњи корисници	5,86	1,54			
Просечна пређена километража	<30 km	5,29	1,86	0,590	p=0,707	
	30-60 km	4,93	2,03			
	60-90 km	5,19	1,91			
	90-120 km	4,79	1,68			
	120-150 km	4,84	2,01			
	>150 km	5,05	1,67			

**5.4.2.3. Резултати SEM анализе**

Један од циљева дисертације је био да се испитају предиктори који утичу на MAP DB вредности коришћењем SEM анализе. Почетни MAP DB модел је релативно добро одговарао подацима, али постојала је могућност за унапређење квалитета модела (Chi-square=367,179, df=110, p<0,000, RMSEA=0,091, CFI=0,913, TLI=0,880, NFI=0,882). Сходно томе, модел је редефинисан: искључене су све статистички незначајне променљиве, као и њихови коефицијенти. Добијени коначни модел за MAP DB (Слика 5.1) добро је одговарао подацима (Chi-square=129,226, df=51, p<0,000, RMSEA=0,074, CFI=0,967, NFI=0,947).



**Слика 5.1.** Коначан модел за MAP DB

Резултати финалног MAP DB модела показују да *Карактеристике кретања* (дан у недељи и сврха коришћења аутопута) имају статистички значајан позитиван утицај на *Учесталост коришћења аутопута*. Ови резултати су логични имајући у виду чињеницу да они који аутопут користе радним данима и са сврхом одласка на посао/школу уједно и чешће користе аутопут. Међутим, у овом моделу је објашњено само 17% варијабилитета *Учесталости коришћења аутопута*.

Када је у питању променљива која се односи на *Искуство у коришћењу ЕТС система за наплату путарине*, позитиван статистички значајан утицај утврђен је за *Карактеристике кретања*, *Приход корисника* и *Учесталост коришћења аутопута* ( $R^2=0,206$ ). Ови резултати показују да су корисници са већим месечним приходом и већом учесталом коришћења аутопута у већој мери упознати са ЕТС системима. Резултати такође показују да *ЕТС искуство* има позитиван статистички значајан утицај на став корисника у погледу значаја *Саобраћајних карактеристика* (број заустављања, ниво услуге и безбедност), *Техничких карактеристика* (интероперабилност и флексибилност) и *Социјалних карактеристика система* (фер плаћање и могућност крађе). Односно, што су корисници више упознати са ЕТС системима за наплату путарине, то су за њих карактеристике система наплате путарине значајније.

Резултати модела показују да *Приход корисника* има статистички значајан позитиван утицај на њихов став у погледу важности *Саобраћајних* и *Техничких карактеристика*, док негативно утиче на *Социјалне карактеристике*. Односно, корисницима са већим приходом саобраћајне и техничке карактеристике система су важније у односу на кориснике са нижим приходом. С друге стране, они са већим приходом сматрају да су социјалне карактеристике које се односе на могућност крађе и правичност цена мање значајне од корисника са нижим приходом. Такође, утврђено је да *Учесталост коришћења аутопута* има позитиван статистички значајан утицај на све три латентне променљиве: *Саобраћајне*, *Техничке* и *Социјалне карактеристике*. Другим речима, корисници који чешће користе аутопут сматрају карактеристике система наплате путарине значајнијим од корисника који ређе користе аутопут. У овом моделу је објашњено 46,1% варијабилитета *Саобраћајних карактеристика*, 45,3% варијабилитета *Техничких карактеристика* и 35,2% варијабилитета *Социјалних карактеристика*.

На крају, *Саобраћајне карактеристике* и *Техничке карактеристике* имају позитиван статистички значајан утицај на *МАР DB*, односно корисници којима су саобраћајне и техничке карактеристике значајније, спремнији су да плате већу своту новца за наплату путарине од корисника који ове ставке сматрају мање значајним. *Приход корисника* и *Учесталост коришћења аутопута* издвојили су се као статистички значајни предиктори. Што се тиче *Прихода*, коефицијент регресије је био позитиван, што значи да се са повећањем прихода *МАР* вредности повећавају. За *Учесталост*, коефицијент регресије је био негативан, што значи да се са порастом *Учесталости* вредности *МАР* смањују. Предложени модел објашњава 61,1% варијабилитета и самим тим је модел солидног квалитета.

### 5.4.3. Резултати анализе ТВ концепта наплате путарине

#### 5.4.3.1. Резултати дескриптивне статистике

Корисници су у оквиру анкете имали задатак да наведу своту новца коју би платили за недељну, десетодневну, месечну и годишњу вињету. Добијени резултати показују да је за већину корисника у Северној Македонији *МАР* вредност за недељну вињету око 6 €, за десетодневну вињету 8 €, месечну вињету 17 € и око 68 € за годишњу вињету (Табела 5.5).

Табела 5.5. WTP и MAP вредности за вињете са различитом дужином валидности

	WTP (€)				MAP (€)			
	Недељна вињета	Десетодневна вињета	Месечна вињета	Годишња вињета	Недељна вињета	Десетодневна вињета	Месечна вињета	Годишња вињета
Аритметичка средина	4,16	5,95	12,14	50,31	5,92	8,42	16,75	68,43
Стандардно одступање	2,55	3,64	3,37	17,99	3,51	4,92	4,61	24,72

У Чешкој и Словачкој вињета је неопходна за аутомобиле до 3,5 t. У Аустрији и Словенији мотоцикли и возила до 3,5 t морају имати важећу вињету, док су у Бугарској и Румунији вињете неопходне не само за аутомобиле до 3,5 тоне, већ и за камионе преко 3,5 t и аутобусе. Табела 5.6 приказује цене вињета у наведеним државама за аутомобиле до 3,5 t, како би МАР вредности корисника аутомобила у Северној Македонији биле упоредиве са овим ценама. Из Табеле 5.6 може се видети да су добијени резултати у складу са ценама вињета у суседним земљама. Са друге стране, земље са већим приходима попут Мађарске, Аустрије и Словеније имају веће цене вињета.

**Табела 5.6.** Упоредна анализа МАР вињета у Северној Македонији са ценама у осталим земљама

Држава	МАР (€)			
	Недељна вињета	Десетодневна вињета	Месечна вињета	Годишња вињета
Северна Македонија	6	8	17	68
Бугарска	5	-	13	34
Румунија	3	-	7	28
Мађарска	-	9	15	134
Аустрија	-	9	-	87
Чешка	-	12	17	58
Словачка	-	10	14	50
Словенија	15	-	30	110

#### 5.4.3.2. Резултати ANOVA анализе

Како би се утврдило да ли постоји статистички значајна разлика у МАР вредностима вињета са различитим дужинама валидности код група корисника са различитим приходима, различитом учесталости коришћења аутопута и група са различитим пређеним километражама коришћења је ANOVA. Резултати ове анализе приказани су у Табели 5.7.

Добијени резултати показали су да постоји статистички значајна разлика у МАР вредностима између група корисника са различитим приходом, код свих врста вињета. Код седмичних и десетодневних вињета разлика није статистички значајна једино између корисника са приходом <250 € и приходом од 250 € до 500 € ( $p=0,949$ ), као и између група са приходом од 500 € до 750 € и приходом од 750 € до 1.000 € ( $p=0,123$ ). Код месечних и годишњих вињета разлика је статистички значајна само између групе корисника са приходом већим од 1.000 € и свих осталих група ( $p<0,001$ ).

За седмичну и десетодневну вињету највише новца спремни су да издвоје испитаници који неколико пута годишње користе аутопут (годишњи корисници), потом они који неколико пута месечно користе аутопут (месечни корисници) и на крају они који најчешће користе аутопут – неколико пута недељно (недељни корисници). Резултати ANOVA показали су да како у случају седмичних ( $F(2,281)=3,736$ ;  $p=0,025$ ), тако и у случају десетодневних вињета ( $F(2,281)=3,910$ ;  $p=0,021$ ) постоји статистички значајна разлика у МАР вредностима у односу на учесталост коришћења аутопута. Накнадним Tukey HSD тестом утврђено да је разлика статистички значајна само између недељних и годишњих корисника код седмичних ( $p=0,24$ ) и десетодневних вињета ( $p=0,019$ ). За разлику од седмичне и десетодневне вињете, где би највише новца издвојили годишњи корисници, за месечну и годишњу вињету већу своту новца су спремнији да плате недељни корисници. Резултати ANOVA за месечну вињету ( $F(2,281)=11,730$ ;  $p<0,001$ ) и годишњу ( $F(2,281)=14,907$ ;  $p<0,001$ ) показују да постоје статистички значајне разлике у МАР вредностима за три групе корисника са различитом учесталости коришћења аутопута. Код месечне вињете као и код годишње разлика је статистички значајна само између недељних и месечних корисника ( $p<0,001$ ).



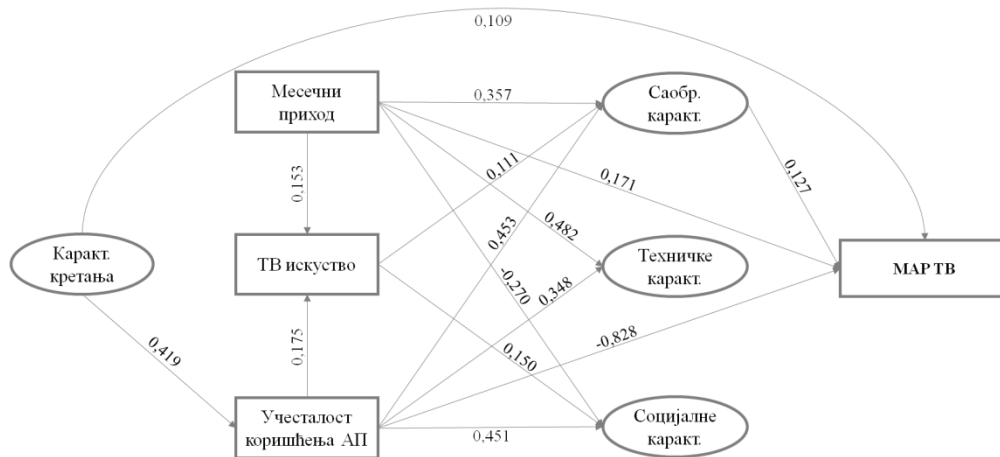
Табела 5.7. ANOVA резултати за MAP TB вредности

		Аритм. средина MAP вредности (€)			
		Недељна вињета	Десетодневна вињета	Месечна вињета	Годишња вињета
Месечни приход	<250 €	4,19	5,99	15,47	63,68
	250-500 €	4,51	6,41	15,79	65,97
	500-750 €	7,48	10,58	16,79	64,19
	750-1000 €	6,01	8,60	17,09	74,80
	>1.000 €	12,15	17,38	23,74	95,04
F-тест		51,013	54,539	20,532	9,717
p вредност		0,001*	0,001*	0,001*	0,001*
Учесталост коришћења аутопута	Дневни корисници	5,05	7,13	19,20	83,07
	Месечни корисници	5,73	8,20	16,54	67,15
	Годишњи корисници	6,54	9,29	15,73	62,35
F-тест		3,736	3,910	11,730	14,907
p вредност		0,025	0,021	0,001*	0,001*
Просечна пређена километража	<30 km	5,68	8,07	16,78	69,51
	30-60 km	5,63	8,06	16,72	65,71
	60-90 km	6,14	8,79	17,42	71,38
	90-120km	5,35	7,66	16,39	68,69
	120-150 km	6,11	8,74	17,37	66,50
	>150 km	6,90	9,72	16,28	67,51
F-тест		1,115	1,027	0,346	0,289
p вредност		0,353	0,402	0,885	0,919

\*p<0,001

### 5.4.3.3. Резултати SEM анализе

Код почетног MAP TB модела утврђено је да постоји могућност унапређења квалитета модела (Chi-square=427,388, df=110, p<0,000, RMSEA=0,101, CFI=0,892, TLI=0,850, NFI=0,862) (Слика 5.2). Након редефинисања модела, коначни модел за MAP TB имао је нешто боље индексе квалитета модела (Chi-square=180,374, df=54, p<0,000, RMSEA=0,091, CFI=0,946, NFI=0,925) (Слика 5).



Слика 5.2. Коначан модел за MAP TB

Као и у моделу MAP DB, Карактеристике кретања (Дан у недељи и Сврха коришћења аутопута) имају статистички значајан позитиван утицај на Учесталост коришћења аутопута. У случају MAP TB, као и у случају MAP DB, само је 17% варијабилитета Учесталости коришћења аутопута објашњено.



Код *MAP TB* модела, такође постоји позитиван статистички значајан утицај *Прихода* и *Учесталости* на *Искуство у коришћењу вињета*, као што је то био случај за ЕТС искуство код *MAP DB* модела, док променљива која се односи на *Карактеристике кретања* није била статистички значајна. Важно је истаћи и то да је у оквиру *MAP DB* модела објашњен значајно већи проценат варијабилитета *DB искуство* ( $R^2=0.206$ ) у односу на проценат објашњеног варијабилитета *TB искуство* код *MAP TB* модела ( $R^2=0.054$ ). Резултати такође показују да *TB искуство* утиче на *Саобраћајне* (зауостављање, ниво услуге и ниво безбедности) и *Социјалне* (фер цене и могућност крађе) карактеристике, али не и на *Техничке карактеристике система* (интероперабилност и флексибилност), што је био случај код *MAP DB* модела и утицаја на ЕТС искуство.

Као и у *MAP DB* моделу, *Приход корисника* има статистички значајан позитиван утицај на њихове ставове у погледу значаја *Саобраћајних* и *Техничких карактеристика*, а негативан утицај на *Социјалне карактеристике*. *Учесталост* такође има позитиван статистички значајан утицај на све три латентне променљиве: *Саобраћајне*, *Техничке* и *Социјалне карактеристике*. У односу на *MAP DB* модел, *MAP TB* моделом објашњен је нешто мањи проценат варијабилитета *Саобраћајних*, *Техничких* и *Социјалних карактеристика* (37,5% варијабилитета *Саобраћајних карактеристика*, 35,3% *Техничких карактеристика* и 31% *Социјалних карактеристика*).

За разлику од *MAP DB* модела, где и *Саобраћајне карактеристике* и *Техничке карактеристике* имају позитиван статистички значајан утицај, у *MAP TB* моделу, само *Саобраћајне карактеристике* имају позитиван статистички значајан утицај. *Приход* и *Учесталост* издвојили су се као статистички значајни предиктори. Што се тиче *Прихода*, коефицијент регресије био је позитиван, док је за *Учесталост* коефицијент регресије био негативан. 69,7% варијабилитета је објашњено у другом моделу.

#### 5.4.4. Анализа DB у односу на ТВ концепт наплате путарине

##### 5.4.4.1. DB у односу на ТВ концепт на основу анализе ставова корисника

Анализа ставова корисника по питању DB и ТВ концепта приказана је у Табели 5.8. На основу вредности приказаних у Табели 5.8 може се закључити да већина испитаника сматра да је DB концепт погоднији (67%), у односу на ТВ концепт (33%). Када се у обзир узме учесталост коришћења аутопута долазили се до налаза да су дневни корисници перципирали ТВ наплату као бољу опцију, док су повременни односно месечни и годишњи корисници предност дали DB концепту.

**Табела 5.8.** Ставови корисника о ТВ и DB концепту наплате у односу на учесталост коришћења аутопута

	Дневни корисници		Месечни корисници		Годишњи корисници		Укупно	
	n	%	n	%	n	%	n	%
	<b>DB концепт</b>	21	36,8%	72	63,2%	91	80,5%	184
<b>TB концепт</b>	36	63,2%	42	36,8%	22	19,5%	100	35.3%

Да би се утврдио утицај учесталости коришћења аутопута на став корисника о преферираном концепту наплате путарине коришћена је бинарна логистичка регресија. Зависну променљиву је чинила променљива која се односила на преференцију корисника према DB и ТВ наплати, док је учесталост коришћења аутопута представљала независну променљиву.

Добијени резултати показали су да дневни корисници имају 4,4 пута већу шансу да ТВ концепт наплате сматрају погоднијим од ДВ концепта у односу на остале кориснике ( $p < 0,001$ ). Насупрот томе, установљено је да годишњи корисници имају 3,5 пута већу шансу ( $p = 0,001$ ) да ДВ концепт сматрају погоднијим од ТВ концепта у односу на остале кориснике ( $p < 0,001$ ) (Табела 5.9). Код месечних корисника није утврђен статистички значајан утицај учесталости коришћења аутопута на шансу да корисници преферирају један, односно други концепт наплате путарине ( $p = 0,638$ ).

**Табела 5.9.** Однос шанси за предиктор учесталост коришћења аутопута код ДВ и ТВ концепта наплате путарине

Учесталост коришћења аутопута	Однос шанси (95% CI)		p вредност
	ТВ концепт наплате	ДВ концепт наплате	
Дневни корисници	4,366 (2,370-8,043)	0,229 (0,124-0,422)	0,001*
Месечни корисници	1,126 (0,686-1,849)	0,888 (0,541-1,457)	0,638
Годишњи корисници	0,288 (0,166-0,502)	3,469 (1,993-6,040)	0,001*

\* $p < 0,001$

#### 5.4.4.2. ДВ у односу на ТВ концепт на основу израчунатих MAP вредности

Када се MAP вредности за ТВ и ДВ концепт наплате сведу на исту упоредиву јединицу (€/100 km), долази се до закључка да је за годишње кориснике ТВ наплата у просеку 2,3 пута скупља од ДВ накнаде, за месечне кориснике 2,1 пута, док је за дневне кориснике ДВ наплата 1,4 пута скупља од ТВ наплате (Табела 5.10).

Ови резултати су у складу са резултатима који су добијени анализом ставова корисника (Табеле 5.8-5.9). Односно, долази се до налаза да корисници на одговарајући начин препознају предности једног односно другог концепта у зависности од тога којој категорији корисника припадају (дневни, месечни или годишњи корисници).

**Табела 5.10.** Однос MAP вредности за ДВ и ТВ концепт наплате путарине, у зависности од учесталости коришћења аутопута

	MAP		Однос ТВ/ДВ
	ДВ концепт наплате (€/100km)	ТВ концепт наплате (€/100km)	
Дневни корисници	2,87	1,93	0,67
Месечни корисници	5,42	11,6	2,14
Годишњи корисници	5,86	13,4	2,29

## 5.5. Дискусија

У дисертацији су утврђене WTP и MAP вредности за ДВ и ТВ концепт наплате путарине у Северној Македонији и на основу тога се дошло до налаза да су за оба концепта MAP вредности значајно веће у односу на WTP вредности. Такође, спроведена анализа је показала да се ове вредности значајно разликују у зависности од начина на који је испитаницима постављено питање. Наиме, WTP и MAP вредности су веће када су корисницима осим временских уштеда предочене и остале предности коришћења аутопута са наплатом путарине (нпр. смањење трошкова експлоатације возила, повећана безбедност саобраћаја итд.) у односу на пут са слободним режимом коришћења.

Добијене WTP и MAP вредности су у складу са вредностима DB и ТВ накнада у земљама у региону, односно земљама југоисточне Европе, док су нешто ниже у односу на земље централне Европе, где је БДП значајно већи. Такође, добијене вредности за DB концепт наплате сличне су WTP и MAP вредностима добијеним у истраживању спроведеном у Босни и Херцеговини, једној од земаља у региону (Glavić et al., 2017b).

Анализирајући факторе који утичу на MAP вредност, како за DB концепт тако и за ТВ концепт наплате, утврђено је да су *Учесталост коришћења аутопута* и *Приход корисника* најјачи предиктори у моделима. Наиме, утврђено је да су MAP вредности веће код корисника који ређе користе аутопут и оних који имају већи приход. Добијени резултати су логични имајући у виду чињеницу да ређе коришћење аутопута захтева мање издатке за самог корисника и да су корисници са већим приходом у прилици да издвоје већу своту новца за коришћење аутопута. Добијени резултати су у складу са досадашњим иностраним истраживањима (Calfee & Winston, 1998; Jakobsson et al., 2000; Mackie et al., 2003; Hensher & Goodwin, 2004; Zmud & Arce, 2008; Glavić, 2017b). Код оба SEM модела, утврђено је да на MAP вредност статистички значајан утицај има латентна променљива која се односи на *Карактеристике кретања испитаника*. Тако је утврђено да је код корисника који аутопут користе радним данима и у сврхе одласка на посао/школу MAP вредност већа у односу на оне који аутопут користе данима викенда и у остале сврхе. До сличних резултата дошли су Glavić et al. (2017b). Код DB модела, утврђено је да *Искусство везано за коришћење система DB концепта* позитивно утиче на став корисника о важности *Саобраћајних, Техничких и Социјалних карактеристика система*. Односно, за кориснике који су у већој мери користили системе засноване на DB концепту важност наведених карактеристика система је већа. Код ТВ модела, показано је да *Искусство везано за коришћење ТВ система* има статистички значајан позитиван утицај на значај *Саобраћајних и Социјалних* али не и *Техничких критеријума*. Односно утврђено је да што су корисници у већој мери упознати са ТВ концептом то су за њих значајније саобраћајне и социјалне карактеристике система, док утицај на техничке критеријуме није био статистички значајан. Добијени резултат је логичан имајући у виду чињеницу да су техничке карактеристике које се односе на интероперабилност и флексибилност првенствено везане за DB системе, а не за ТВ. На крају, у случају DB модела утврђено је да што су *Техничке и Саобраћајне карактеристике система* важније корисницима да су MAP вредности веће. У случају ТВ модела статистички значајан позитиван утицај на MAP вредност имала је само латентна променљива која се односила на *Саобраћајне карактеристике*.

На основу анализе ставова корисника по питању DB и ТВ концепта наплате путарине утврђено је да они генерално перципирају DB наплату као погоднији концепт у односу на ТВ наплату. Када је спроведена детаљнија анализа ставова корисника, у погледу учесталости коришћења аутопута, дошло се до налаза да дневни корисници перципирају ТВ концепт као повољнију варијанту, док месечни и годишњи корисници предност дају DB концепту. Овакав став корисника проверен је одговарајућим прорачуном, дескриптивном статистиком и аналитички. Наиме на основу анкетом прикупљених података (пређени километри, учесталост коришћења аутопута и MAP вредност вињете), ТВ MAP вредности су сведене на исту упоредиву јединицу са DB MAP вредностима. Ова анализа је показала да је DB концепт јефтинији 2,14 пута за месечне и 2,29 пута за годишње кориснике, док је ТВ концепт јефтинији 1,49 пута за дневне кориснике. Ови резултати су у складу са утврђеним ставовима корисника. Добијени резултати су логични имајући у виду чињеницу да дневни корисници аутопута прелазе значајно више километара од повремених корисника. Стога, ако би имали могућност куповине годишње вињете остварили би одговарајуће уштеде у односу на стварну годишњу пређену километражу и путарину која би их у том случају коштала. Ситуација је другачија, када се посматрају месечни и годишњи корисници. Они обично више плате у случају ТВ концепта него што би платили на основу стварно пређене километраже.

## 6. Одређивање фактора који утичу на прихватљивост наплате загушења

### 6.1. Опис проблема

Због пораста броја возила током последњих деценија, многи градови се суочавају са проблемима загушења у саобраћају (Ројани & Stead, 2015). Загушења у саобраћају за последицу имају бројне негативне ефекте као што су загађење ваздуха, бука, заузетост простора, временски губици, потрошња горива, саобраћајне незгоде итд. Када би се негативне последице загушења претвориле у новчане јединице, градови са проблемом загушења имали би повећане трошкове транспорта, очувања животне средине и здравствене заштите. Процењује се да током сваког вршног сата корисник плати годишњу “накнаду за загушење” у износу од око 850 \$ до 1,600 \$ у погледу изгубљеног времена и потрошње горива и проведе скоро 8 радних дана сваке године у застојима у саобраћају (FHWA, 2006).

Проширење капацитета уличне мреже у већ формираним урбаним подручјима често је неефикасно и понекад има супротан ефекат, с обзиром да изградња нових саобраћајница доводи до повећања саобраћајних захтева (Goodwin, 1996; Downs, 2004; Ding & Song, 2012; Glavić et al., 2017c; Milenković et al., 2018b). Једино дугорочно решење у централној градској зони (CZ) представља управљање саобраћајним захтевима уз помоћ различитих мера и политика. Једна од таквих политика је наплата загушења. Наплата загушења (CP) представља ефикасан начин за решавање проблема засићених и форсираних саобраћајних токова. Концепт CP заснива се на идеји да аутомобилима треба наплаћивати коришћење CZ, посебно током вршних периода, да би се смањењем броја аутомобила у овој зони смањило загушење у саобраћају (Giuliano, 1992). На овај начин, корисници се мотивишу да промене вид превоза или време путовања и/или да користе руте које не пролазе кроз центар града (Rouhani, 2016). Треба нагласити да се CP систем може базирати само на технологијама такозваног “слободног тока”, односно технологијама које не захтевају промену брзине или саобраћајне траке, као што су DSCR без баријера, RFID без баријера, GNSS/CN, или ANPR систем (Persad et al., 2007; Glavić & Milenković, 2016; Milenković et al., 2018a). На тај начин се у систему CP идентификација возила и плаћање путарине спроводе електронски, без утицаја на саобраћајни ток.

Искуства из разних земаља показују да се CP успешно примењује у великом броју земаља са развијеним системима јавног градског превоза путника и постојањем алтернативних рута, као што су Лондон, Стокхолм, Сингапур, Милано и други. Истраживања су такође показала да CP има бројне користи и позитивне утицаје на друштво у градовима са проблемом загушења, као што су повећање учешћа јавног превоза у видовној расподели, побољшање нивоа услуге јавног превоза, уштеде у времену путовања и потрошњи горива, смањење загађења ваздуха и побољшање јавног здравља (FHWA, 2008; Eliasson, 2009; Litman, 2011). Међутим, важно је напоменути да успешна имплементација CP зависи од подршке јавности. Другим речима, прихватање ове политике од стране јавности сматра се најважнијом препреком при имплементацији система CP. Имплементација система CP без јаке политичке подршке и прихваћености од стране јавности није имала успеха у бројним градовима попут Хонг Конга, Њујорка, Единбурга, Манчестера итд. (Zheng et al., 2014).

На основу система CP који су тренутно активни у појединим градовима, могу се уочити велике разлике у CP политикама. На пример, у појединим градовима се CP врши на дневном нивоу, док код других накнада зависи од броја улазака у зону. Такође, у неким градовима се наплаћује свако путовање у самој CZ, док се у другим наплаћује приступ зони или пролазак кроз зону. Постоје одређене разлике и у периодима функционисања система, као и у начину на који је

решено питање наплате становницима CZ. На пример, у Лондону становници CZ могу да добију попуст од 90%, док становници CZ Милана имају 40 бесплатних приступа годишње након којих се сваки додатни приступ наплаћује 2 € (цена за остале кориснике износи 5 €). Имајући то у виду, може се закључити да политика наплате загушења не подразумева само доношење одлуке о увођењу наведеног система. То је далеко сложенији задатак у оквиру ког је потребно одговорити на неколико кључних питања: да ли постоје неопходни услови за увођење ове политике; да ли би накнада требало да буде заснована на дневном нивоу или да буде у функцији броја приступа зони; да ли би цена требало да зависи од броја путника у возилу (политика 2+) и/или учесталости коришћења зоне; да ли би и на који начин становници и поједине групе корисника имали одређене повластице; колико би требало да износи цена накнаде и када би требало спроводити наплату загушења (Milenković et al., 2018b; Milenković et al., 2019a,b).

У досадашњим истраживањима анализирана је повезаност између појединачних фактора и спремности корисника да прихвате CP. У већини радова анализиран је утицај социо-демографских карактеристика (нпр. Odeck & Kjekreit, 2010; Rentziou et al., 2011; Liu & Zheng, 2013) и економских карактеристика (Jakobsson et al., 2000; Liu & Zheng, 2013; Eliasson, 2016). Поред тога, у појединим радовима анализирана је повезаност између перцепције проблема загушења у CZ од стране корисника (нпр. Verhoef et al., 1997; Jaensirisak et al., 2005; Eliasson & Jonsson, 2011), као и расподеле прихода оствареног од CP (нпр. Farrell & Saleh, 2005; Rentziou et al., 2011; Grisolia et al., 2015) и прихватљивости CP од стране јавности. У свега неколико радова анализиран је утицај информисаности корисника о CP на подршку од стране јавности, углавном у „пре-после“ студијама имплементације CP система (нпр. Eliasson & Jonsson, 2011; Nilsson et al., 2016). Остали фактори који су разматрани у претходним истраживањима односе се на локацију становања (нпр. Zmud & Arce, 2008; Winslott-Hiselius et al., 2009; Eliasson & Jonsson, 2011) и вид превоза који се користи за улазак у CZ (нпр. Rienstra et al., 1999; Rentziou et al., 2011; Zheng et al., 2014).

С обзиром на низак ниво услуге у CZ Београда, када се стекну одговарајући услови у погледу развијености јавног градског превоза путника и постојања алтернативних рута, CP се може разматрати као алтернативна политика решавања питања која се тичу управљања саобраћајним захтевима. Mladenović et al. (2016) бавили су се питањем CP у CZ Београда из угла теорије трансфера политике. Теорија трансфера политике потиче из области политичких наука и јавне политике. Имајући у виду значај подршке јавности за успешну имплементацију CP, у дисертацији је спроведена анализа ставова корисника о CP политици и максимално прихватљивој цени (MAP) за коришћење CZ у Београду. Главни циљеви дисертације огледају се у анализи ставова корисника, одређивању утицајних променљивих и дефинисању преференција корисника према различитим CP политикама (Milenković et al., 2019a).

Један од главних доприноса дисертације огледа се у свеобухватној анализи фактора који утичу на прихватљивост CP, а који су класификовани као Демографске и социо-економске карактеристике испитаника, Навике испитаника у погледу коришћења CZ, Перцепције испитаника о проблемима у саобраћају у CZ, Информисаност корисника о концепту и позитивним ефектима CP, Преференције корисника према различитим CP политикама, и њихове Преференције у погледу расподеле прихода. У дисертацији је најпре примењен Хи-квадрат тест независности како би се испитала повезаност између одређених фактора и спремности корисника да прихвате увођење CP. Потом су коришћене логистичка регресија и SEM анализа, како би се утврдио утицај анализираних фактора на прихватање увођења CP од стране јавности. SEM анализа је такође укључила и анализу фактора који утичу на MAP. У дисертацији је посебна пажња усмерена на променљиве које су до сада ретко разматране и за које се сматрало да су од кључне важности за прихватање CP. Ове променљиве односе се на

просечни месечни приход корисника, просечну месечну пређену километражу, локацију становања, удаљеност места становања од CZ, коришћење одређеног вида превоза, информисаност корисника о CP и њихове преференције ка различитим CP политикама. Такође, важан допринос дисертације огледа се у дефинисању политике цена CP. Наиме, на основу расподеле MAP вредности, може се управљати саобраћајним захтевима који се реализују путничким аутомобилом у CZ (Milenković et al., 2019a).

## 6.2. Преглед литературе

Прегледом релевантне литературе из ове области, утврђено је да су бројни аутори анализирали различите аспекте наплате загушења. Многи аутори су се фокусирали на факторе који утичу на прихватљивост CP (нпр. Schade & Schlag, 2003; Eliasson & Jonsson, 2011; Liu & Zheng, 2013). Други су анализирали прихватљивост различитих политика CP (нпр. Dieplinger & Fürst, 2014; Grisolia et al., 2015), као и промену става јавности о CP пре и након имплементације овог система (нпр. Winslott-Hiselius et al., 2009; Schuitema et al., 2010; Börjesson et al., 2016). Такође, у овим анализама коришћене су различите методе моделовања попут пробит модела (нпр. Rentziou et al., 2011), логит модела (нпр. Jaensirisak et al., 2005; Odeck & Kjekreit, 2010) и регресије (Schade & Schlag, 2003; Dieplinger & Fürst, 2014). У наставку је дата детаљнија појединачна анализа радова у оквиру којих су разматрани фактори који утичу на прихватљивост CP.

Jakobsson et al. (2000) анализирали су факторе који утичу на прихватљивост CP од стране возача путничких аутомобила. Истраживање је спроведено електронским путем, а циљну групу су чинили власници аутомобила у градској области у Шведској. Укупан узорак је чинило 524 испитаника. Резултати SEM анализе показали су да је приход корисника у негативној корелацији са политиком која подразумева смањење коришћења аутомобила, док су очекивања да ће други смањити коришћење аутомобила позитивно повезана са овом политиком. Кључни налаз ове студије је да на прихватање CP негативно утиче перцепција корисника о нарушеној слободи и неправичности корисника.

Schade & Schlag (2003) анализирали су факторе који утичу на прихватљивост различитих политика наплате загушења у четири града у Европи (N=952). Истраживање је спроведено у Атини (Грчка), Кому (Италија), Дрездену (Немачка) и Ослу (Норвешка). У раду је најпре коришћена факторска анализа, а потом је спроведена регресиона анализа како би се утврдили фактори који доприносе објашњењу прихватљивости наплате загушења од стране јавности. Добијени резултати су показали да су променљиве које се односе на друштвене норме, лична очекивања и перципирану ефективност позитивно повезане са прихватањем различитих политика наплате загушења.

Jaensirisak et al. (2005) анализирали су утицаје различитих организационих шема за наплату путарине и цена накнада на спремност корисника да прихвате наплату загушења. Подаци су прикупљени у два града у Уједињеном Краљевству и истраживање је обухватило укупно 830 испитаника. На основу прикупљених података развијен је логит модел исказаних преференција (SP). Добијени резултати су показали да је наплата прихватљивија за испитанике који не користе аутомобиле, за оне који сматрају загађење и загушење озбиљним проблемом, за оне који сматрају да је тренутна ситуација недопустива и за испитанике који наплату загушења сматрају ефикасном политиком управљања саобраћајним захтевима.

Farrell & Saleh (2005) спровели су SP експеримент како би моделовали преференције корисника различитих видова превоза у погледу расподеле прихода оствареног од наплате загушења. Истраживање је спроведено у Единбургу и коначан узорак је чинило 211

испитаника. Развијени Мултиноминални логит модел (MNL) показао је да би приход остварен наплатом загушења требало користити за смањење цене јавног градског превоза и унапређење јавног превоза у погледу учесталости и поузданости превоза.

Odeck & Kjerkreit (2010) анализирали су ставове корисника о шест различитих организационих шема наплате путарине у Норвешкој. На основу узорка од 23.000 одговора развијен је MNL модел. Резултати овог модела показују да корисници имају негативан став о наплати путарине без обзира на организациону шему наплате или фазу њене имплементације; да су негативни ставови у јакој корелацији са нивоом информисаности корисника о циљевима наплате путарине; да цена путарине значајно утиче на ставове и да се они значајно разликују у зависности од социо-економских карактеристика испитаника. Важан закључак је и тај да корисници који чешће путују имају значајно већу шансу да имају негативан став према наплати путарине од оних који ређе путују.

Eliasson & Jonsson (2011) анализирали су утицај променљивих као што су зависност од аутомобила, задовољство превозом, образовање, место становања у односу на зону наплате и ставови према питањима очувања животне средине на став корисника о наплати загушења, након што је у Стокхолму уведена наплата загушења. На основу узорка од 3.040 испитаника, утврђена је јака корелација између бриге за очување животне средине и позитивних ставова према наплати загушења. Такође је показано да су мала зависност од аутомобила и добро развијен јавни превоз повезани са високим степеном прихватљивости.

Rentziou et al. (2011) испитивали су ставове корисника по питању загушења у саобраћаја, избора вида превоза и расподеле прихода оствареног од наплате загушења. За прикупљање података коришћен је метод анкете, а истраживање је спроведено у централној зони Атине, у Грчкој. Да би се испитали фактори који утичу на перцепцију јавности о ефикасности шест мера везаних за управљање саобраћајним захтевима развијен је вишеструки пробит модел. Узорак је чинило 1.114 валидних упитника. Добијени резултати су показали да карактеристике путовања, социо-демографске карактеристике, перципиране последице загушења у саобраћају и начин расподеле прихода оствареног од наплате загушења утичу на прихватљивост наплате загушења од стране јавности.

Liu & Zheng (2013) анализирали су прихватљивост наплате загушења од стране јавности у Бризбејну (Аустралија), на узорку од 150 испитаника. У овој анализи је утврђено да возачи женског пола имају позитивнији став према наплати загушења од возача мушког пола и да корисници јавног превоза у већој мери подржавају наплату загушења у односу на возаче путничких аутомобила. Они који путничким аутомобилом користе централну зону са сврхом одласка на посао изразили су забринутост због неатрактивности посла у централној зони, јер је потребно плаћати већу своту новца за коришћење ове зоне. Добијени резултати су такође показали да би испитаници са вишим приходима имали мању шансу да одустану од путовања путничким аутомобилом у централну зону.

Zheng et al. (2014) спровели су истраживање у Мелбурну (Аустралија) као наставак претходног истраживања (Liu & Zheng, 2013), у оквиру ког су укључили још 173 репрезентативна испитаника. Добијени резултати су показали да вредност накнаде значајно утиче на прихватљивост наплате загушења и шансу за коришћењем јавног превоза за путовање у централну зону. Перцепција корисника о користима наплате загушења имала је позитиван утицај на прихватљивост наплате загушења. Примарни вид превоза за путовање у централну зону значајно је утицао на прихватљивост система наплате загушења. Испитаници чији је примарни вид превоза у централној зони био јавни превоз, вожња бицикла или пешачење пружили су већу подршку наплати загушења у односу на возаче путничких аутомобила.

Dieplinger & Fürst (2014) анализирали су прихватљивост одређених стратегија наплате од стране возача путничких аутомобила, као и факторе који утичу на ниво прихватљивости у пет градова у Европи – Бечу, Атини, Кому, Дрездену и Ослу. Узорак је чинило између 150 и 285 испитаника, у зависности од разматраног града. У анализи је коришћена факторска анализа и вишеструка регресиона анализа. Добијени резултати су показали да је прихватљивост у Бечу значајно већа него у другим градовима због: 1) јасно дефинисаних циљева наплате загушења у Бечу – тј. начина на који ће остварени приход бити расподељен; 2) чињенице да цена накнаде у Бечу зависи од пређене километраже корисника, док је у другим градовима претпостављено да корисници плаћају фиксно утврђену суму при уласку у зону са наплатом; и 3) чињенице да су корисници у Бечу свесни потребе и користи које пружа наплата загушења.

Grisolia et al. (2015) анализирали су факторе који утичу на повећање прихватљивости наплате загушења од стране јавности у шпанском граду Лас Палмас де Гран Канарија. При томе је коришћена методологија која се састојала из три фазе: квалитативно истраживање, објашњавајућа факторска анализа (на узорку од 89 учесника) и SC експеримент (на узорку од 206 испитаника). SC експеримент подразумевао је зонски систем наплате путарине са три различита начина расподеле прихода: у сврху побољшања постојећег аутобуског транспортног система, развијања метро линије и повећања зелених површина у граду. Резултати квалитативне анализе показали су да постоји велики отпор било каквом систему наплате, да корисници немају поверење у политичаре и да је начин расподеле прихода оствареног наплатом загушења од велике важности корисницима. Резултати SC експеримента показали су да прихватљивост зависи од карактеристика организационе шеме за наплату загушења.

Nilsson et al. (2016) анализирали су ставове становника Гетеборга о наплати загушења. За потребе анализе спроведене су три истраживања, два пре имплементације и једно након увођења наплате загушења, чиме је укупан узорак чинило 4.738 испитаника. Добијени резултати су показали да информисаност корисника о систему наплате није утицала на подршку, али је била значајна за разумевање система. Променљива која је утицала на подршку систему наплате односила се на претходно искуство. Испитаници који су веровали да систем наплате има позитиван утицај на животну средину пружили су већу подршку овој стратегији, чак иако су постојали неки негативни утицаји за њих саме.

Ness & Börjesson (2017) покушали су да разумеју ставове становника Стокхолма, Лиона, Хелсинкија и Гетеборга о наплати загушења. Циљну групу су чинили насумично изабрани одрасли становници наведених градова. Ness & Börjesson (2017) показали су да ставови о животној средини, правичности, наплати и таксама имају значајан утицај на подршку и формирање ставова о наплати загушења. Испитаници са вишим приходом подржали су наплату загушења и показали су мању забринутост за њену правичност, док су испитаници са више аутомобила показали мању забринутост за утицаје на животну средину. Ставови су зависили од образовања и пола. Претходно искуство са сличним системима значајно је утицало на подржавање наплате загушења.

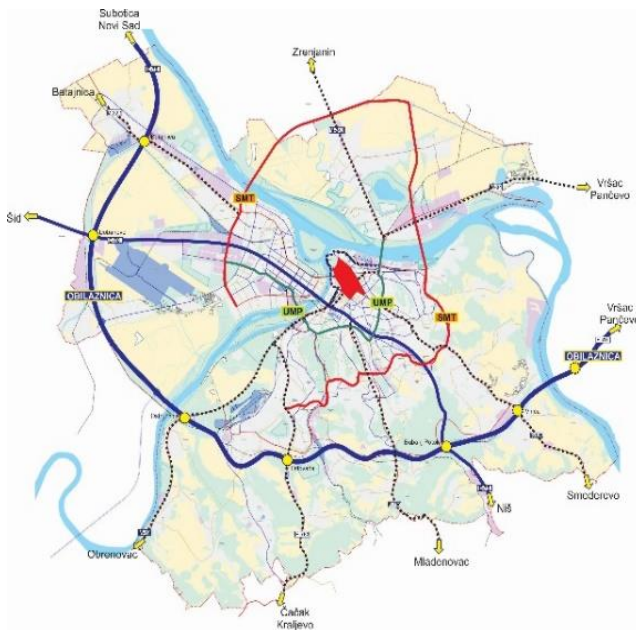
### 6.3. Опис подручја истраживања

Са популацијом од око 1,7 милиона становника Београд генерише око 3,1 милиона кретања по дану. Највећи број кретања обави се јавним превозом (47,9%), затим приватним аутомобилом (25,7%) и пешачењем (23,8%). Превоз бициклом или мотором обавља само 1,3% суграђана. Систем јавног градског превоза у Београду, састоји се од аутобуског, тролејбуског и трамвајског подсистема (ERBD, 2017). Према подацима из 2018. године, превоз путника реализује се коришћењем дванаест линија трамвајског подсистема, седам линија тролејбуског и осамдесет шест линија аутобуског подсистема. Укупна дужина мреже система јавног



превоза у Београду износи 1.509,02 km, док возни парк броји 1.198 возила. Важно је истаћи да постоје и две линије градске железнице, а да је према Мастер плану саобраћајне инфраструктуре Београда планирана изградња градског метроа (ERBD, 2017).

Због убрзаног развоја града и повећања броја аутомобила, којих је у Београду око 650 хиљада, CZ града је све оптерећенија и свакодневно су присутна бројна загушења у саобраћају. Под CZ града у дисертацији је подразумевана зона коју чини стари део Београда, тзв. „круг двојке”. „Круг двојке” представља CZ града, оивичену трамвајском линијом бр. 2. Ова трамвајска линија једна је од првих градских линија јавног градског превоза путника која датира од 1928. године. Београд има површину од око 282 ha и са 87.448 становника, ова зона је густо насељена и у оквиру ње је лоциран велики број радних места у јавном сектору и образовању. Макро и микро локација разматране зоне приказана је на Сликама 6.1-6.2.



Слика 6.1. Макро локација CZ



Слика 6.2. Микро локација CZ

## 6.4. Методологија

### 6.4.1. Прикупљање података

Ставови корисника прикупљени су коришћењем анкете. Истраживање је спроведено електронским путем у временском периоду од три месеца – од октобра до децембра 2017. године. Циљну групу су чинили становници Београда, како они који су становници CZ града тако и они који то нису. Анкета је прослеђена одређеним компанијама, факултетима, као и студентским, пензионерским и организацијама незапослених у Београду (Milenković et al., 2019a).

Анкета је подељена у шест делова (Табела 6.1). Први део је садржао питања о социо-демографским и економским карактеристикама корисника. Други део се односио на навике корисника у погледу коришћења CZ. У трећем делу упитника забележене су перцепције корисника о саобраћајним проблемима у CZ. Четврти део је имао за циљ да се утврди у којој мери су корисници упознати са концептом и предностима СР и какви су њихови ставови по питању увођења СР и о различитим СР политикама. У петом делу су истакнуте преференције

корисника о значају различитих СР позитивних ефеката, односно анализирано је у којој мери су позитивни ефекти увођења СР значајни корисницима. У последњем делу упитника прикупљени су подаци о ставовима корисника о расподели прихода оствареног наплатом загушења. Питања су била затвореног, полуотвореног и отвореног типа. Код појединих питања коришћена је петостепена скала (Табела 6.1) (Milenković et al., 2019a).

**Табела 6.1. Структура упитника**

1.део: Социо-демографске и економске карактеристике корисника						
<b>Пол</b>	<b>Старост</b>	<b>Ниво образовања</b>	<b>Запослење</b>	<b>Месечни приход</b>	<b>Поседовање аутомобила</b>	<b>Годишња пређена километража</b>
а) Женски	а) 17-25	а) Виша школа	а) Стално запослен	а) <250€	а) Не	а) 0km
б) Мушки	б) 26-35	б) Факултет	б) Повремено запослен	б) 250-500€	б) Да	б) 1-5.000km
	ц) 36-45		ц) Студент	ц) 501-750€		ц) 5.001-10.000km
	д) 46-55		д) Пензионер	д) 751-1.000€		д) 10.001-15.000km
	е) 56-65		е) Незапослен	е) >1.000€		е) 15.001-20.000km
	ф) >65					ф) > 20.000km
2.део: Навике корисника у погледу коришћења CZ						
<b>Становник CZ</b>	<b>Удаљеност места становања од CZ</b>	<b>ОД матрица кретања у односу на CZ</b>	<b>Учесталост коришћења CZ са сврхом одласка на посао/у школу на месечном нивоу</b>	<b>Учесталост коришћења CZ у остале сврхе на месечном нивоу</b>	<b>Најчешће коришћени вид превоза за улазак у CZ са сврхом одласка на посао</b>	<b>Најчешће коришћени вид превоза за улазак у CZ у остале сврхе</b>
а) Не	а) <2.5km	а) почетак је изван а крај унутар CZ	—	—	а) Моторцикл	а) Моторцикл
б) Да	б) 2.5-6.0km	б) и почетак и крај путовања су изван CZ	—	—	б) Аутомобил	б) Аутомобил
	ц) 6.0-10.0km	ц) и почетак и крај путовања су унутар CZ	—	—	д) Јавни превоз	д) Јавни превоз
	д) >10km	д) почетак је унутар а крај изван CZ	—	—	е) Бицикл	е) Бицикл
			—	—	ф) Пешичање	ф) Пешичање
			—	—	з) _____	з) _____
3.део: Перцепције корисника о саобраћајним проблема у CZ Београда						
<b>Загушење скала</b>	<b>Загађеност ваздуха</b>	<b>Бука</b>	<b>Заузетост простора возилима</b>	<b>Најчешћи разлог коришћења аутомобила у CZ</b>	<b>Најчешћи разлог коришћења јавног превоза у CZ</b>	<b>Постојање алтернативе за избегавање коришћења CZ</b>
петостепена скала	петостепена скала	петостепена скала	петостепена скала	а) нижа цена	а) нижа цена	а) Не
1- у веома малој мери	1- у веома малој мери	1- у веома малој мери	1- у веома малој мери	б) краће време путовања	б) краће време путовања	б) Да
5- у веома великој мери	5- у веома великој мери	5- у веома великој мери	5- у веома великој мери	ц) већа удобност	ц) већа безбедност	
				д) непоузданост јавног превоза	д) проблеми при налажењу паркинг места	
				е) недостатак директне линије јавног превоза	ф) _____	
				ф) _____		
4.део: Информисаност корисника о СР, као и њихови ставови у погледу увођења СР и различитим СР политикама						
<b>Информисан о СР концепту</b>	<b>Информисан о СР позитивним ефектима</b>	<b>Прихватање СР пре и после додатног информисања корисника СР путем ове анкете</b>	<b>Дан у недељи када би требало да постоји СР</b>	<b>Период дана у ком би требало да постоји СР</b>	<b>Политика која зависи од броја путника</b>	<b>Политика која зависи од учесталости коришћења CZ</b>
а) Не	а) Не	а) Не	а) сваким даном	а) само у вршним периодима	петостепена скала	петостепена скала
б) Да	б) Да	б) Да	б) само радним данима	б) све време, с вишим ценама током вршних периода	1- веома лоша	1- веома лоша
		WTP _____ €			5- веома добра	5- веома добра
		MAP _____ €				

## 5.део: Ставови корисника о значају позитивних ефеката наплате загушења

Смањење броја возила	Краће време путовања	Већа брзина	Ниже цене	Смањење загађења	Више места за паркирање	Већа безбедност у саобраћају
<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>	<i>Рангирање у оквиру 7 опција</i>
<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>
<i>7-најмање важно</i>	<i>7- најмање важно</i>	<i>7- најмање важно</i>	<i>7- најмање важно</i>	<i>7- најмање важно</i>	<i>7-најмање важно</i>	<i>7- најмање важно</i>

## 6.део: Ставови корисника о расподели прихода и њихово мишљење о могућим негативним последицама СР

Унапређење јавног превоза	Унапређење инфраструктуре за моторизовани саобраћај	Унапређење инфраструктуре за немоторизовани саобраћај	Унапређење животне средине	Утицај на неатрактивност посла у CZ	Негативан утицај на економију у CZ	Концепт је неправедан за кориснике са ниским приходима
<i>Рангирање у оквиру четири опције</i>	<i>Рангирање у оквиру четири опције</i>	<i>Рангирање у оквиру четири опције</i>	<i>Рангирање у оквиру четири опције</i>	<i>петостепена скала</i>	<i>петостепена скала</i>	<i>петостепена скала</i>
<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- најважније</i>	<i>1- у веома малој мери</i>	<i>1- у веома малој мери</i>	<i>1- у веома малој мери</i>
<i>4- најмање важно</i>	<i>4- најмање важно</i>	<i>4- најмање важно</i>	<i>4- најмање важно</i>	<i>5- у веома великој мери</i>	<i>5- у веома великој мери</i>	<i>5- у веома великој мери</i>

Како би се добили меродавни резултати, циљну групу су чинили испитаници који су имали прилику да сагледају и суоче се са проблемима загушења у CZ Београда. Током истраживања, испитаницима нису предочене никакве додатне информације по питању проблема загушења у CZ. Испитаници су давали одговоре на постављена питања само на основу личних перцепција проблема у CZ.

На почетку анкете, испитаницима је била наведена само општа дефиниција концепта СР. Први део упитника није садржао никакве информације у погледу користи које се остварују увођењем СР. У другом делу анкете, након што су испитаници изразили свој став о увођењу СР, испитаницима су наведене главне користи имплементације СР које су забележене у градовима у којима се овај систем већ примењује. Ове предности односиле су се на смањење броја возила која улазе у CZ, повећање коришћења јавног превоза путника, смањење временских губитака и времена путовања корисника, смањење емисије штетних гасова и буке, као и повећање безбедности саобраћаја у CZ. Након што су прочитали користи о увођењу СР, испитаници су упитани да ли су променили мишљење у погледу увођења СР у CZ Београда. На тај начин је било могуће испитати да ли и на који начин додатне информације о користима увођења СР утичу на прихватање од стране јавности.

Испитаници су у оквиру анкете имали задатак да одговоре на следећа питања: „Колико бисте платили за коришћење CZ, (WTP питање) и „При којој цени бисте одустали од коришћења CZ (MAP питање). С обзиром да им у оквиру спроведене анкете нису предложене никакве вредности за WTP и MAP, добијени одговори представљају личне преференције испитаника. Имајући у виду да је у дисертацији спроведена анализа одговора испитаника о хипотетичким ситуацијама, где су испитаници могли да искажу свој избор или преференцију, питања о WTP и MAP представљају тзв. „исказане преференције (SP)“. Такође, WTP и MAP питања припадају групи „CV“ питања због чињенице да су испитаници добили задатак да директно наведу суму новца коју су спремни да плате (WTP) како би добили одређену услугу, односно максимално прихватљиву цену (MAP) при којој би одустали од услуге. CV представља економску технику за оцену ресурса којима се не тргује на тржишту и која стога немају тржишну цену, као што је смањење загушења или утицај СР у CZ (Sagoff, 1988).

## 6.4.2. Статистичка анализа

Подаци су анализирани коришћењем софтвера IBM SPSS 22 и R. При томе су коришћене стандардне методе дескриптивне и аналитичке статистике, логистичка регресија и моделовање структурних једначина (SEM).

Бинарна логистичка регресија је коришћена у бројним саобраћајним анализама. На пример, Sze et al. (2014) су користили модел бинарне логистичке регресије како би утврдили факторе који доприносе успешности циљева унапређења безбедности саобраћаја. Користећи овај метод, Pešić et al. (2016) су развили моделе предикције небезбедног понашања пешака на несигналисаним раскрсницама. Wong et al. (2018) су развили моделе бинарне логистичке регресије за идентификовање фактора који утичу на одлуке старијих корисника о коришћењу јавног превоза. У овом поглављу, бинарна логистичка регресија је спроведена да би се утврдио утицај неколико фактора на шансу да ће корисници исказати спремност за прихватање увођење СР. Ова анализа је послужила и за оцену колико добро једна група предиктора предвиђа или објашњава дихотомну зависну променљиву – спремност корисника да прихвати увођење СР. Развијена су два модела – један за прихватљивост СР без наглашавања користи од СР, и други за прихватљивост СР након што су корисници додатно информисани о користима СР.

Када су у питању истраживања повезаности фактора који утичу на понашања у саобраћају и саобраћајну политику, моделовање структурних једначина (SEM) је нашло велику примену. Користећи SEM, Eboli & Mazzulla (2007) су имали за циљ да утврде задовољство корисника у јавном превозу. Li et al. (2018) су применили SEM да би истражили везу између путне инфраструктуре и локалне привреде, док су Allen et al. (2018a) моделовали задовољство корисника специфичном услугом и глобалним превозом. Стога, како би се испитао утицај појединих фактора на MAP, у дисертацији је примењена SEM анализа.

Проблем који привлачи пажњу истраживача у пољу SEM анализе, без обзира у којој области се она примењује, јесте како “бити сигуран” да је развијени модел валидан и значајан. Hu & Bentler (1998, 1999) су предложили следеће критеријуме: Хи-квадрат тест би требало да буде статистички незначајан, где су:  $p \geq 0,05$ ,  $RMSEA \leq 0,06$ ,  $NNFI \geq 0,95$ ,  $CFI \geq 0,95$  и  $SRMR \leq 0,08$ . Међутим, у пракси се ове вредности често не достижу. Најчешће је Хи - квадрат тест значајан, а један или више индекса су неприхватљиви у односу на предложене границе (Bagozzi, 2010). Неки истраживачи сматрају да су горе поменуте предложене границе превише конзервативне у неким условима и чак предлажу нове граничне вредности. На пример, Browne & Cudeck (1993) су навели да вредност од око 0,08 или мање за RMSEA указује на модел који добро одговара подацима. Даље, Marsh et al. (2004) су сугерисали да вредности NNFI и CFI мање од 0,95 могу бити значајне (нпр,  $\geq 0,80$ ). У свом истраживању, Chen (2007) је показао да фактори који снижавају индексе квалитета модела и воде до одбацивања модела јесу: однос величина посматраних узорака, величина узорка, број индикатора, као и образац инваријансе. Bagozzi (2010) је уочио да код веома великих узорака постоји опасност од одбацивања валидног модела због вредности Хи - квадрат теста, који је статистички значајан јер је пропорционалан величини узорка. Исти аутор је указао на то да у “објашњавајућим истраживањима” поједини индекси могу бити близу границе али незнатно испод ње, с обзиром да се модели фитују према прикупљеним подацима. Bagozzi (2010) је показао да наведене граничне вредности не треба слепо поштовати и да су одређена одступања дозвољена.

## 6.5. Резултати

### 6.5.1. Дескриптивна статистика и примена Хи-квадрат теста независности

Узорак се састојао од 620 становника Београда. Када је реч о старосној структури испитаника, већина њих је старости од 26 до 35 година (34,2%), а затим старости од 36 до 45 година (23,9%). Највећи број испитаника је у сталном радном односу (75,3%). Такође, највећи број испитаника припада групи са месечним приходом од 501 € до 750 € (27,1%), а потом следе они са приходом у опсегу од 750 € до 1.000 € (23,7%). Становници CZ чинили су 24,4% узорка, док је локација становања осталих испитаника изван CZ. Већина испитаника станује у опсегу од 2,5 km до 6,0 km од CZ (43,2%), а потом следе они са удаљеношћу од 6,0 km до 10,0 km од CZ (24,7%). OD матрица у односу на CZ показује да је код већине испитаника најчешћи извор путовања изван CZ, а циљ у CZ (50,5%). Потом следе испитаници који започињу и завршавају своје путовање изван CZ (25%). Таква расподела испитаника је очекивана с обзиром да велики проценат испитаника живи изван CZ. Узимајући у обзир све претходно наведено, може се закључити да су узорак углавном чинили образовани и запослени становници средњих година са нешто вишим приходима, који живе изван CZ и често путују у CZ (Milenković et al., 2019a).

За улазак у CZ са сврхом одласка на посао, нешто већи проценат испитаника користи вид превоза који не би захтевао плаћање ако би се увела CP (55,5%), док остали користе вид превоза који би захтевао плаћање у случају увођења CP. Ситуација је нешто другачија при уласку у CZ у остале сврхе. Већина испитаника најчешће користи вид превоза који би подразумевао плаћање (62,3%). Највећи број испитаника (54,3%) је изјавио да је удобност главни разлог због ког користе аутомобиле у CZ, а затим су следили они који су као разлог коришћења аутомобила у CZ навели краће време путовања (26,1%). С друге стране, према највећем проценту испитаника, главни разлог за коришћење система јавног превоза за путовање у CZ представља проблем проналажења паркинг места (65,9%), затим нижа цена (14,9%) и чињеница да испитаник не поседује аутомобил (12,5%). Користећи петостепену скалу, испитаници су имали задатак да оцене у којој мери су у CZ присутне следеће појаве: загађење ваздуха, бука, ниво загушења и заузетост простора возилима. На споменутој скали, јединица се односила на постојање поменуте појаве у веома малој мери, док се петица односила на њено постојање у веома великој мери. Резултати су показали да испитаници сматрају да су проблеми везани за загађење ваздуха, буку и ниво загушења заступљени у великој мери ( $M=4$ ), а да је највећи проблем у CZ заузетост простора возилима ( $M=5$ ). На питање да ли постоје алтернативне руте којима би се избегло путовање кроз CZ, чак 53% испитаника је одговорило да не постоје, док је 47% испитаника дало позитиван одговор.

Резултати овог истраживања су показали да би око 54,8% испитаника подржало увођење CP у CZ. У Табели 6.2 приказани су резултати Хи-квадрат теста независности, који је спроведен како би се утврдила повезаност између различитих фактора и ставова испитаника према увођењу CP. Прво је испитиван утицај прихода на став корисника о увођењу CP. Ова повезаност је статистички значајна ( $\chi^2 = 12,543$ ;  $p=0,014$ ). При томе је уочено да су испитаници са приходом између 751 € и 1.000 € највише склони прихватању CP. Становници CZ би подржали увођење CP у већој мери (63,6%), у поређењу са 52,0% оних који не станују у CZ. Резултати показују да постоји статистички значајна повезаност између локације становања испитаника у односу на CZ и прихватљивости CP ( $\chi^2 = 5,696$ ;  $p=0,013$ ). Такође, утврђено је да постоји статистички значајна повезаност између удаљености места становања од CZ и прихватљивости CP ( $\chi^2 = 9,748$ ;  $p=0,021$ ). Испитаници који живе на удаљености од 2.5 km до 6.0 km од CZ би подржали увођење CP у највећој мери (60,1% испитаника). Повезаност између OD матрице испитаника и њиховог става према CP није статистички значајна, али је важно напоменути да је ова повезаност на граници статистичке значајности ( $\chi^2 = 7,708$ ;  $p=0,05$ ). У



истраживању је такође разматран став испитаника према увођењу СР у односу на вид превоза који они обично користе за улазак у CZ са сврхом одласка на посао/школу и у остале сврхе. Резултати су показали да су они који улазе у CZ са сврхом одласка на посао и користе вид превоза који не би захтевао плаћање склонији да прихвате СР (61,3%) од оних који користе вид превоза који би захтевао плаћање (46,7%). Ова повезаност је статистички значајна ( $\chi^2 = 12,594$ ;  $p < 0,001$ ). Они који улазе у CZ у остале сврхе и користе вид превоза који не би захтевао плаћање су такође склонији да прихвате СР (59,0%) од оних који користе вид превоза који би захтевао плаћање (52,3%). Међутим, ова повезаност није статистички значајна ( $\chi^2 = 2,334$ ;  $p = 0,127$ ). Коначно, у овом делу истраживања анализирана је корелација између информисаности корисника о СР и ставова испитаника. Међу испитаницима који су навели да су информисани о концепту СР, 63,6% би подржало увођење СР, док би међу онима који су изјавили да нису упознати са концептом СР 35,6% подржало увођење СР. Посматрана повезаност је статистички значајна ( $\chi^2 = 42,342$ ;  $p < 0,001$ ). Такође, испитаници који су упознати са позитивним утицајима СР би подржали увођење СР у већој мери (66,2%), у поређењу са 38,0% оних који нису били упознати са позитивним утицајима СР. Ова повезаност је такође статистички значајна ( $\chi^2 = 41,217$ ;  $p < 0,001$ ).

**Табела 6.2.** Дескриптивна статистика и резултати Хи - квадрат тест независности

	Увођење СР				$\chi^2$ вредност	p вредност
	Не		Да			
	n	%	n	%		
<b>Приход</b>						
< 250 €	39	51,3%	37	48,7%	12,543	0,014
250-500 €	62	56,4%	48	43,6%		
501-750 €	75	44,6%	93	55,4%		
751-1.000 €	52	35,4%	95	64,6%		
> 1.000 €	52	43,7%	67	56,3%		
<b>Становник CZ</b>						
Не	225	48,0%	244	52,0%	5,696	0,013
Да	55	36,4%	96	63,6%		
<b>Удаљеност од CZ</b>						
< 2.5 km	44	44,9%	54	55,1%	9,748	0,021
2.5-6.0 km	107	39,9%	161	60,1%		
6.0-10.0 km	85	55,6%	68	44,4%		
> 10 km	44	43,6%	57	56,4%		
<b>ОД матрица</b>						
Извор путовања је изван, а циљ унутар CZ	154	49,2%	159	50,8%	7,708	0,052
И извор и циљ путовања су изван CZ	71	46,4%	82	53,6%		
И извор и циљ путовања су унутар CZ	35	35,7%	63	64,3%		
Извор путовања је унутар, а циљ изван CZ	20	35,7%	36	64,3%		
<b>Коришћење вида превоза са сврхом одласка на посао/школу који би захтевао плаћање у случају увођења СР</b>						
Не	147	53,3%	129	46,7%	12,594	0,001*
Да	133	38,7%	211	61,3%		
<b>Коришћење вида превоза у остале сврхе који би захтевао плаћање у случају увођења СР</b>						
Не	184	47,7%	202	52,3%	2,334	0,127
Да	96	41,0%	138	59,0%		
<b>Информисан о СР концепту</b>						
Не	125	64,4%	69	35,6%	42,342	0,001*
Да	155	36,4%	271	63,6%		
<b>Информисан о СР позитивним ефектима</b>						
Не	155	62,0%	95	38,0%	47,962	0,001*
Да	125	33,8%	245	66,2%		

\* $p < 0,001$

Око 68,7% испитаника је навело да су информисани о концепту СР и 59,7% њих је навело да су информисани о позитивним ефектима СР, пре него што су били додатно информисани о позитивним ефектима СР путем овог истраживања. Важно је истаћи да је међу испитаницима који нису били за увођење СР у CZ Београда, 19% њих променило мишљење након што су

обавештени о позитивним ефектима ове политике. Након што су испитаници информисани о позитивним ефектима СР, 63% њих је имало позитиван став о увођењу СР. Да би се утврдило да ли се став према увођењу СР променио након пружања одређених информација коришћен је McNemar тест за упарене дихотомне променљиве (Gart, 1969). С обзиром да је вредност Хи-квадрат статистике износила 49,164 ( $p=0,000$ ), може се закључити да постоји статистички значајна разлика у прихватању СР након што су корисницима пружене додатне информације. Од 620 испитаника, 54 њих (8,71%) је променило мишљење и подржало би увођење СР након што су додатно информисани. Међутим, 226 (36,45%) испитаника је остало против те идеје, иако су им предочене предности СР.

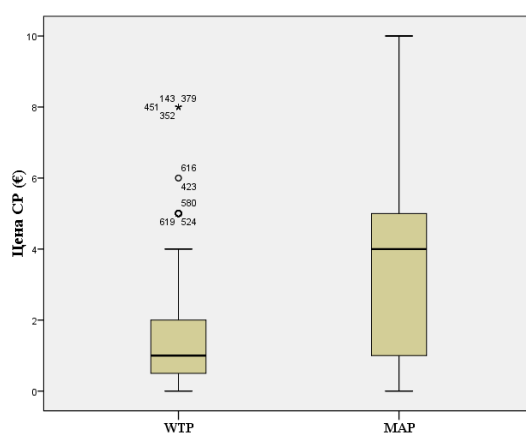
У дисертацији су разматране и преференције корисника у погледу различитих могућности везаних за политику СР. Наиме, на питање да ли одобравају увођење СР само током радних дана или сваког дана у недељи, већи проценат испитаника је изабрао увођење СР током свих дана у недељи (54,2%) у односу на оне који би одабрали опцију само током радних дана (45,8%). Такође, већи проценат испитаника је подржао опцију за увођење СР само током вршних часова (63,4%) него током целог дана уз ниже цена током ванвршних часова (36,6%). Користећи петостепену скалу (јединица се односила на веома лошу, а петица на веома добру политику СР) испитаници су имали задатак да оцене политику СР која зависи од броја путника у возилу (ниже цене за возила са већим бројем путника) и политику која зависи од броја улазака у CZ (више цене за возила са већом учесталости коришћења CZ). Резултати су показали да су испитаници боље оценили политику СР која зависи од броја путника у возилу ( $M=4$ ) него могућност наплате која зависи од броја улазака у CZ ( $M=3$ ). Када се посматрају ставови корисника о значају позитивних ефеката СР долази се до налаза да је испитаницима најважнији позитиван ефекат СР смањење броја возила у CZ, а затим следе смањење времена путовања, нижи трошкови експлоатације возила, смањење загађења, повећање броја места за паркирање, побољшање безбедности саобраћаја и коначно већа брзина путовања. Имајући у виду да је једна од кључних ставки за успешну имплементацију познавање ставова корисника о расподели прихода остварених СР, испитаници су имали задатак да рангирају начине улагања прихода остварених СР. Наиме, испитаници су сматрали да би остварене ресурсе требало најпре уложити у побољшање јавног градског превоза, затим у побољшање немоторизованих видова превоза, у развој инфраструктуре за моторизовани саобраћај, и на крају у очување животне средине.

Детаљнија анализа је спроведена за два CV питања која су од кључне важности. Дескриптивна статистика за WTP and MAP вредности приказана је у Табели 6.3. Када су у питању вредности за WTP, медијана износи 1 €, аритметичка средина има нешто већу вредност, тј. износи 1,66 €, док је стандардно одступање 1,60. Што се тиче вредности за MAP, медијана износи 4 €, аритметичка средина 4,03 € и стандардно одступање 2,98. Како би се упоредила варијабилност за WTP и MAP вредности израчунати су коефицијенти варијације. Вредности за WTP варирају у већој мери јер је коефицијент варијације 96,386%, у односу на вредности MAP где коефицијент варијације износи 73,945%. Опсеги за WTP и MAP вредности се такође разликују: WTP вредности се налазе у опсегу до 0 € до 8 €, док су опсеги за MAP од 0 € до 10 €. Испитаници чије су WTP или MAP вредности износиле 0 су детаљније анализиране. Наиме, 97 испитаника (15,6%) је навело да не би било спремно да плати за коришћење CZ ( $WTP=0$ ) и 18 испитаника (2,9%) ( $MAP=0$ ) би одустало од коришћења CZ путничким аутомобилом. Како би се спровела детаљнија анализа, израчунате су просечне вредности WTP и MAP, након уклањања из узорка 5% левих најнижих и 5% десних највећих вредности („5% trimmed“ аритметичка средина). Разлике између аритметичке средине и „5% trimmed“ аритметичке средине за WTP и MAP износе 0,13 и 0,12, редом. Добијени резултати показују да аутлејери имају скоро исти утицај на WTP и MAP вредности, и да они не утичу на њих значајно.

**Табела 6.3.** Дескриптивна статистика за WTP и MAP вредности

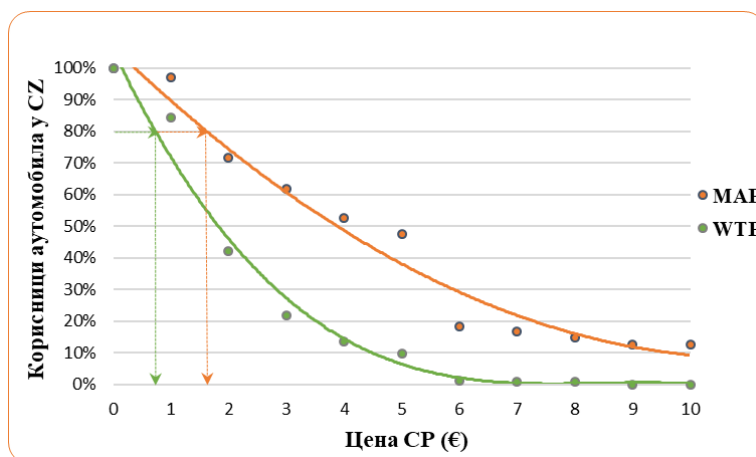
	Медијана	Аритметичка средина	„5% Trimmed“ Аритметичка средина	Стандардно одступање	Коефицијент варијације (%)	Мин.	Макс.
WTP (€)	1,00	1,66	1,53	1,60	96,386	0,00	8,00
MAP (€)	4,00	4,03	3,91	2,98	73,945	0,00	10,00

Како би се детаљније сагледале вредности за WTP и MAP, као и њихове расподеле, приказани су box-plot графикони на Графикону 6.1. Са овог графикона може се видети присуство аутлејера за WTP вредности. WTP вредности од 5 €, 6 €, и 8 € означене су као аутлејери, и присутни су код 60 испитаника, 9,67% узорка. Насупрот томе, аутлејери нису присутни код MAP. Други значајан налаз са box-plots графикона су интеквartilни опсези. Они су ужи код WTP вредности у односу на MAP вредности, што указује на то да су вредности WTP у већој мери сконцентрисане око медијане.



**Графикон 6.1.** Box-plots за WTP и MAP вредности

Један од кључних питања за успешну имплементацију и функционисање система CP је избор одговарајуће цене. На основу кумулативних фреквенција WTP и MAP вредности, дефинисане су криве које се могу користити за утврђивање прихватљивости различитих CP цена од стране корисника путничких аутомобила у CZ (Графикон 6.2). Криве за WTP and MAP су дефинисане коришћењем полиномне функције. Оба модела имају добру уклопљеност података ( $R^2=0.98$  и  $R^2=0.97$ , редом). Са Графикона 6.2 може се видети да ако доносилац политике одлучи да смањи проценат корисника путничких аутомобила у CZ за 20%, према MAP вредностима CP цена мора бити нижа од 2 €. Овај резултат се може интерпретирати на следећи начин: Ако би цена CP била 2 €, проценат корисника који не би одустао од коришћења CZ би био 80%. На тај начин, претпостављајући различите нивое цена, може се добити ниво прихватљивости CP и супротно (Графикон 6.2).



**Графикон 6.2.** Прихватљивост цена CP од стране корисника путничких аутомобила



### 6.5.2. Примена бинарне логистичке регресије

У развијеним моделима, зависне променљиве које се односе на прихватљивост СР пре и након што су испитаници додатно информисани о користима СР, класификоване су као дихотомне променљиве. Независне променљиве као што су старост, запослење, приход, пређена километража, становање у CZ, удаљеност од CZ, OD матрица путовања, вид превоза који се користи у CZ, најчешћи период коришћења CZ, постојање алтернативних рута за избегавање CZ, информисаност о СР, информисаност о позитивним ефектима СР и преференције корисника о периоду дана када треба наплаћивати СР, су такође класификоване као категоричке. Остале независне променљиве класификоване су као континуалне. Референтне групе за сваку категоричку променљиву приказане су у Табели 6.4.

Као што се може видети из Табеле 6.1, нека од питања из анкете су категоријске променљиве које имају бројне нивое. Иако је груписање по нивоима довело до пропорционалних група (видети Табелу 6.2), приликом спровођења логистичке регресије, спроведено је прегруписавање, односно спајање појединих нивоа. Идеја спајања нивоа је да се споје нивои категоријских променљивих за које се претпоставља да су њихови ефекти једнаки (Gertheiss & Tutz, 2010; Bondell & Reich, 2008). Наиме, Armstrong & Sloan (1989) доказали су да је логистичка регресија показала незнатно смањење моћи када је ординална скала прегруписана. Питање које се поставља је „Који нивои се могу спојити?“ (Tutz & Gertheiss, 2014). У дисертацији је коришћен приступ спајања нивоа категорија за које је у оквиру логистичке регресије утврђено да нису статистички значајне (Shmueli et al., 2011). Нису спајани сви нивои који су нису били статистички значајни, јер је то могло довести до прекомерног уклапања података, тачније преприлагођавања модела (Babyak, 2004).

Прелиминарни модел прихватљивости наплате загушења, пре него што су испитаници додатно информисани о користима наплате загушења путем ове анкете (Модел 1), има већу предиктивну моћ од нултог модела и ова разлика је статистички значајна ( $\chi^2=333,270$ ,  $df=51$ ,  $p=0,000$ ,  $pseudo R_N^2=55,6\%$ ) (Табела 6.4). У финалном Моделу 1 уклоњене су статистички незначајне променљиве и задржане оне које су значајно доприносиле моделу. Финални Модел 1, има статистички значајно већу предиктивну моћ од нултог модела ( $\chi^2=238,494$ ,  $df=28$ ,  $p=0,000$ ,  $pseudo R_N^2=42,7\%$ ). Променљиве које су укључене у коначном моделу, као и њихови коефицијенти и Wald (Z) вредности, приказани су у Табели 6.4. Неки од важних резултата Модела 1 су да испитаници са месечним приходом од 250 € до 750 € ( $p=0,047$ ) и они са приходом већим од 750 € ( $p=0,006$ ) имају већу шансу да прихвате увођење СР од корисника чији је месечни приход мањи од 250 €. Они који користе вид превоза који би захтевао плаћање за коришћење CZ у случају увођења СР имају мању шансу ( $p=0,000$ ) да прихвате увођење СР од оних који користе вид превоза који не би захтевао плаћање. Становници CZ имају већу шансу да прихвате увођење СР ( $p=0,009$ ) од оних који не живе у CZ. Са сваком већом оценом проблема загађења у CZ и проблема приступачности јавног превоза, расте шанса да корисник прихвати увођење СР ( $p=0,000$  и  $p=0,001$ , редом). Такође, са сваком већом оценом политике која подразумева да се приход остварен СР уложи у унапређење немоторизованог саобраћаја и инфраструктуру за моторизовани саобраћај, расте шанса да корисник прихвати увођење СР ( $p=0,001$ ;  $p=0,009$ , редом).

Прелиминарни модел прихватања СР након што су испитаници додатно информисани о користима СР путем ове анкете (Модел 2) има већу предиктивну моћ од нултог модела и ова разлика је статистички значајна ( $\chi^2=306,728$ ,  $df=51$ ,  $p=0,000$ ,  $pseudo R_N^2=53,5\%$ ). Финални Модел 2, који такође садржи само променљиве које су се показале статистички значајним у прелиминарном моделу, има значајно већу предиктивну моћ од нултог модела ( $\chi^2=204,607$ ,  $df=26$ ,  $p=0,000$ ,  $pseudo R_N^2=38,5\%$ ) (Табела 6.4). Предиктори финалног Модела 2, као и њихови

кофицијенти и Wald (Z) вредности су такође приказане у Табели 6.4. Компаративна анализа ова два модела показује да између њих постоји извесна разлика. Наиме, први модел објашњава нешто већи проценат варијабилитета зависне променљиве ( $R_N^2=42.7\%$ ) од другог модела ( $R_N^2=38.5\%$ ). Разлика се види и у чињеници да први модел садржи независне променљиве као што су учесталост коришћења CZ у остале сврхе и ставови (преференције) корисника у вези са политиком која зависи од броја путника (политика 2+). Такође, важно је напоменути да постоји разлика у вредностима односа шанси, коефицијентима, и Z вредностима за први и други модел (Milenković et al., 2019a).

**Табела 6.4.** Модели вишеструке бинарне логистичке регресије

Предиктори	Увођење CP пре информисања		Увођење CP након информисања	
	Коефицијент	Z вредност	Коефицијент	Z вредност
<b>Старост</b>		14,395		17.823
17-25 (реф.)				
26-35	2,262	9,319	1,892	7.095
36-45	1,689	4,707	1,723	5.275
46-55	2,235	7,989	2,211	8.125
56-65	2,094	6,487	1,805	5.216
>65	2,789	7,294	4,220	15.545
<b>Запосленост</b>		19,456		14.055
Стално запослен (реф.)				
Повремено запослен	-1,029	5,009	-0,183	0.190
Студент	2,910	9,203	3,506	12.997
Незапослен	-0,354	0,198	0,754	0.954
<b>Приход</b>		9,251		6.529
<€250 (реф.)				
250-750€	1,116	3,940	1,046	2.560
>750€	1,678	7,581	1,481	4.878
<b>Пређена километража</b>		25,952		18.112
0 km (реф.)				
<5.000km	-1,188	6,754	-0,148	0.103
5.000-10.000km	-1,005	5,268	-0,660	2.391
>1.000km	0,154	0,125	0,483	1.305
<b>Становање у CZ</b>				
Онај који није становник CZ (реф.)				
Становник CZ	1,631	13,777	1,494	11.267
<b>Удаљеност до CZ</b>		21,526		7.816
>2,5km (реф.)				
2,5-6,0km	1,406	8,580	0,713	2.148
6,0-10,0km	0,925	2,754	0,162	0.085
>10km	2,188	13,947	0,844	2.123
<b>Вид превоза који се користи у ЦЗ у остале сврхе</b>				
Корисници који не морају да плате за коришћење ЦЗ (реф.)				
Корисници који морају да плате ЦЗ коришћење	-0,708	6,919	-0,746	10.352
<b>Учесталост коришћења CZ у остале сврхе</b>	0,102	13,406	-	-
<b>Пристапачност јавног превоза</b>	0,371	11,928	0,440	15.236
<b>Пристапачност немоторизованих видова превоза</b>	-0,433	17,624	-0,297	9.011
<b>Проблем загађења у CZ</b>	0,481	16,461	0,297	6.685
<b>Информисаност о CP</b>				
Неинформисани о CP (реф.)				
Информисани о CP	1,509	41,697	0,566	6.637
<b>Политика- број сапутника (2+)</b>	-0,329	11,634	-	-
<b>Политика - број улазака у CZ</b>	0,535	27,905	0,356	15.889
<b>Посао у CZ постаје неатрактиван</b>	-0,399	25,638	-0,352	20.663
<b>Унапређења у инфраструктуру за моторизовани саобраћај</b>	0,286	6,809	0,354	10.179
<b>Унапређења у инфраструктуру за немоторизовани саобраћај</b>	0,477	11,893	0,690	24.743
<b>Константа</b>	-8,325	31,558	-8,126	32.700
<b>Nagelkerke R<sup>2</sup></b>		0,427		0,385

### 6.5.3. Примена SEM анализе

Како би се испитали предиктори који утичу на *МАР* и *Увођење СР* коришћен је Модел структурних једначина у коме је латентна променљива регресор (SEM-MIMIC). Наиме, најчешће коришћени алгоритам оцењивања у SEM анализи, оцена максималне веродостојности (ML), не може се користити у овом конкретном случају, јер је већина променљивих номиналног или ординалног типа. За такве податке, који немају нормалну расподелу, Vollen (1989) препоручује метод пондерисаних најмањих квадрата (WLS), јер се њиме подразумевају минималне претпоставке у погледу расподела података. Када су у анализи заступљене ординалне променљиве, Bowen & Guo (2012) сугеришу матрицу полихоричних корелација, чија примена доводи до опште Ординалне-Пробит формулације (Rosseel, 2012). У овој анализи, коришћен је алгоритам дијагонално пондерисаних најмањих квадрата (DWLS) који се може спровести преко пакета Lavaan, софтвера R (Rosseel, 2012). До сада је такав приступ коришћен са великим успехом у саобраћајним анализама, посебно у истраживању задовољства и лојалности јавном превозу (Allen et al., 2018b).

MIMIC модел који је иницијално предложен од стране Joreskog & Goldberger (1975) омогућава да латентна променљива буде регресор. Претходно је у истраживањима из области саобраћаја, SEM-MIMIC модел коришћен за моделирање задовољства корисника градског аутобуса у Мадриду (Guirao et al., 2016) и за моделирање специфичних услуга и глобалног задовољства транзитом при хетерогености путовања и корисника (Allen et al., 2018a). Guirao et al. (2016) имали су узорак од 520 испитаника, сличан узорку овог истраживања, док су Allen et al. (2018a) имали већи узорак од 25.094 испитаника. Стога се може очекивати да ће у моделу у овом истраживању, као у случају Guirao et al. (2016), свега неколико променљивих бити статистички значајно.

Циљ овог поглавља дисертације је да се испита како економске карактеристике, навике у погледу коришћења CZ, информисаност о СР и различите политике СР утичу на *Увођење СР* и *МАР*. У Табели 6.5 дат је преглед радова у којима је разматран утицај изабраних фактора. Досадашњи резултати по питању утицаја економских карактеристика нису доследни. Неки од аутора дошли су до налаза да прихватљивост од стране јавности расте са повећањем прихода (Verhoef et al., 1997, Hess & Börjesson, 2017). Поједини аутори нису пронашли статистички значајну повезаност (Rienstra et al., 1999), док су Harrington et al. (2001) утврдили негативни утицај.

Када су у питању навике корисника у погледу коришћења CZ, на пример, Harrington et al. (2001) показали су да ни дужина путовања, ни трајање путовања, нити број путовања недељно немају статистички значајан утицај. С једне стране, више сати вожње подразумева већу уштеду у трошковима времена путовања услед спровођења наплате загушења, али са друге стране захтева веће трошкове накнаде загушења. Слична разматрања односе се и на пређена растојања. Локација становања је такође била предмет појединих истраживања. На пример, Eliasson & Jonsson (2011) показали су да зона становања у Стокхолму (централни део, унутрашња предграђа или спољашња предграђа) утиче у веома малој мери. Rentziou et al. (2011) показали су да је шанса да становници CZ Атине прихвате СР мала, али да би се она повећала након испуњења одређених захтева.

Један од фактора који утиче на прихватљивост СР је упознатост корисника са концептом СР. Резултати истраживања показали су да су корисници који су у већој мери упознати са политиком СР спремнији да прихвате СР. Такође, неколико аутора је дошло до налаза да ће се прихватљивост СР повећати са информисаношћу корисника (нпр. Jones, 2003; Eliasson & Jonsson, 2011). На крају, питање преференције корисника према различитим политикама СР

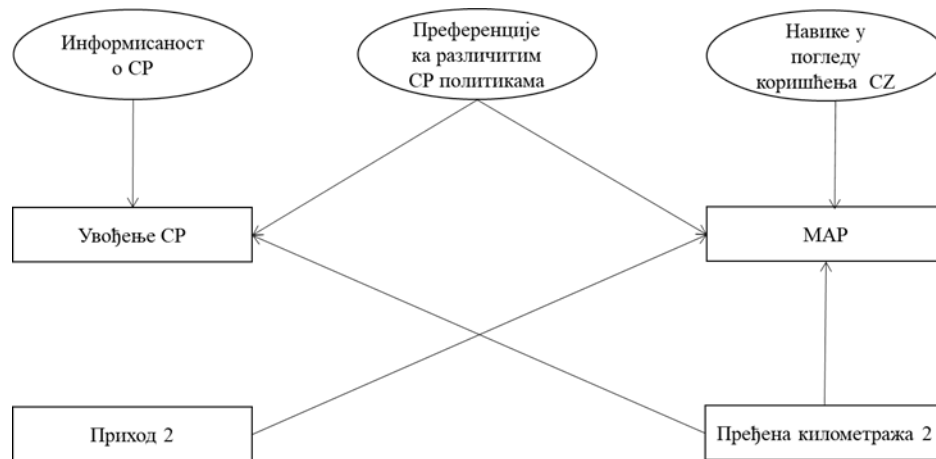
анализирано је од стране Jaensirisak et al. (2005), Grisolia et al. (2015), и Kockelman & Kalmanje (2005). У овим анализа је утврђено да корисници преферирају наплату која би се спроводила само у вршним периодима. У студији Kockelman & Kalmanje (2005), 29,4% испитаника је истакло да би у мањој мери користили своје аутомобиле ако би се током вршних сати увела путарина заснована на пређеним километрима. Након представљеног сажетка у погледу фактора који утичу на прихватљивост, настављено је са испитивањем утицаја четири латентне променљиве на избор и преференције испитаника (Milenković et al., 2019a).

**Табела 6.5.** Преглед литературе о утицају изабраних фактора на прихватљивост СР

Фактор	Аутори (година)
Фактор 1 – Економске карактеристике (Као што су приход, пређена километража, образовање итд.)	Verhoef et al. (1997), Rienstra et al. (1999), Jakobsson et al. (2000), Harrington et al. (2001), и Hess & Börjesson (2017)
Фактор 2 - Навике корисника у погледу коришћења CZ (Као што су Становање у CZ, Удаљеност од куће до CZ, OD матрица у односу на CZ итд.)	Eliasson & Jonsson (2011), Rentziou et al. (2011), Zmud & Arce (2008), Winslott-Hiselius et al. (2009), Harrington et al. (2001), Liu & Zheng (2013), и Zheng et al. (2014)
Фактор 3 - Информисаност о СР (Као што су информисаност о концепту СР и информисаност о позитивним ефектима СР)	Jones (2003), Eliasson & Jonsson (2011), и Nilsson et al. (2016)
Фактор 4 - Политика СР (Као што су преференције према политици СР која зависи од одређених дана у недељи и одређених периода током дана итд.)	Jaensirisak et al. (2005), Grisolia et al. (2015), и Kockelman & Kalmanje (2005)

Почетни модел је садржао четири латентне променљиве: *Економске карактеристике*, *Навике у погледу коришћења CZ*, *Информисаност о СР* и *Преференције корисника према различитим СР политика*. Прва латентна променљива, *Економске карактеристике* обухватила је *Запосленост*, *Приход* и *Пређену километражу*. Латентна променљива *Навике у погледу коришћења CZ* имала је за циљ да квантификује навике испитаника у погледу *Локације становања*, *Удаљености локације становања до CZ*, *OD матрице* и *Коришћења аутомобила у сврхе одласка на посао и остале сврхе*. Такође, један од циљева је био да се испита могући утицај *Информисаности корисника о СР* коришћењем питања да ли су испитаници упознати са СР концептом и о његовим позитивним ефектима. На крају, у модел су укључене *Преференције испитаника према различитим политикама*. Почетни модел је испитивао утицај сваке латентне променљиве на *Увођење СР* и *MAP*.

За почетни модел је утврђено да релативно добро одговара подацима ( $\chi^2=221,355$ ,  $df=52$ ,  $p=0,000$ ,  $RMSEA=0,073$ ,  $CFI=0,900$ ,  $TLI=0,850$ ,  $SRMR=0,064$ ). Међутим, многе везе између променљивих и у оквиру латентних променљивих нису биле статистички значајне, што је указивало на то да структура модела може бити модификована. Да би се укључиле *Економске карактеристике* и *Навике корисника у погледу коришћења CZ*, коришћење су вештачке променљиве за сваку категорију корисника. Оне су уведене као оба регресора, за одређене измерене променљиве и као променљиве које чине одређену латентну променљиву. Такав приступ је претходно коришћен од стране Allen et al. (2018a, 2018b). Измењени модел је имао боље фитовање ( $\chi^2=99,646$ ,  $df=36$ ,  $p=0,000$ ,  $RMSEA=0,053$ ,  $CFI=0,940$ ,  $TLI=0,910$ ,  $SRMR=0,049$ ). На Слици 6.3 приказана је коначна структура SEM-MIMIC модела.



Слика 6.3. Шема коначног SEM-MIMIC модела

У Табели 6.6 приказани су резултати SEM-MIMIC конструкције модела. Као што се може видети из Табеле 6.6, све променљиве у оквиру сваке конструкције су статистички значајне и њихове апсолутне вредности варирају у опсегу 0,177 до 0,831. Из Табеле 6.6 може се видети да постоје две променљиве чији су стандардни коефицијенти испод 0,5. Међутим, оне су задржане у моделу, јер су биле статистички значајне и јер је циљ био да се добије добар модел (Allen et al., 2019). Код конструкције *Навике корисника у погледу коришћења CZ*, ако испитаници живе на удаљености од 2,5 km до 6,0 km од CZ, нису становници CZ, а користе CZ, вредности конструкције *Навике у погледу коришћења CZ* биће веће. Затим, код конструкције *Информисаност корисника о СР*, што је испитаник у већој мери информисан о СР и њиховим позитивним ефектима, вредност конструкције расте. На крају, у случају последње конструкције, однос је такав да ако политика СР подразумева наплату свим данима у недељи током вршних периода, вредност конструкције ће расти. Ови резултати указују на то да су испитаници осетљивији на СР политику која би подразумевала свакодневне и вршне периоде, вероватно зато што сматрају да оваква политика не би била најефикаснија у погледу смањења загушења.

Табела 6.6. Оцењени параметри латентних променљивих

Латентна конструкција	Детерминанте	Оцењена нестандардизована вредност коэф.	Стандардна грешка	Z вредност	p вредност	Станд. коэф.
<i>Навике у погледу коришћења CZ</i>	Удаљеност <sup>2</sup> (1 - 2.5-6.0km, 0 - остало)	1,000				0,177
	Становник CZ (1 - Не, 0 - Да)	3,285	0,747	4,395	0,000	0,671
	OD матрица I (1 –Извор изван, циљ унутар CZ, 0 - Остало)	4,614	1,109	4,162	0,000	0,809
<i>Информисаност о СР</i>	Информисан/а о СР (1 - Да, 0 - Не)	1,000				0,763
	Информисаност о СР позитивним ефектима (1 - Да, 0 - Не)	1,153	0,173	6,677	0,000	0,831
<i>Преференције према различитим СР политикама</i>	СР којим данима (1 – Сваким даном, 0 –Радним данима)	1,000				0,229
	СР којим периодима у току дана (1 –Вршни период, 0 –Током целог дана)	2,349	0,493	4,762	0,000	0,557

У Табели 6.7 приказане су вредности оцењених регресионих коефицијената изабраних променљивих на *Увођење СР* и *МАР*. Модел *Увођења СР* има вредност  $R^2$  од 0,327, што значи да је 32,7% његовог варијабилитета објашњено коришћењем регресора. Стандардизовани коефицијенти променљивих и латентних променљивих варирају у опсегу од 0,194 (-0,194, *Информисаност о СР*) до 0,459 (*Преференције према различитим политикама СР*) у апсолутним вредностима. Два стандардизована коефицијента имају вредности нешто веће од 0,1 указујући на то да ове карактеристике имају слабе утицаје. Међутим, према Allen et al. (2018b), од велике је важности да се оне укључе у модел из два разлога. Прво, јер су

статистички значајни, и друго, јер помажу у идентификацији фактора који утичу на *Увођење СР*, а који могу бити од велике користи доносиоцима одлука. *Преференције према различитим политикама СР*, има умерени утицај од 0,459, али у поређењу са осталим регресорима има највећи утицај. На основу добијених коефицијената може се закључити да ако испитаници на годишњем нивоу прелазе од 5.000 km до 10.000 km, ако је њихова преференција усмерена ка свакодневnoj политици и само у вршним периодима или ако су мање упознати са СР у мањој мери су спремни да прихвате увођење СР.

Табела 6.7. Оцењени регресиони коефицијенти

Увођење СР (1 - Не, 0 - Да)	(R <sup>2</sup> =0,327)	Оцењена нестандардизована вредност коэф.	Стандардна грешка	Z вредност	p вредност	Станд. коэф.
<i>Информисаност о СР</i>		-0,273	0,074	-3,695	0,000	-0,194
<i>Преференције према различитим СР политикама</i>		2,000	0,486	4,112	0,000	0,459
Пређена километража <sup>2</sup> (1 – 5.000-10.000km, 0 - остало)		0,160	0,048	3,343	0,001	0,136
МАР	(R <sup>2</sup> =0,223)	Оцењена нестандардизована вредност коэф.	Стандардна грешка	Z вредност	p вредност	Станд. коэф.
<i>Навике у погледу коришћења CZ</i>		10,492	2,828	3,710	0,000	0,309
<i>Преференције према различитим СР политикама</i>		-11,348	2,776	-4,089	0,000	-0,436
<i>Приход<sup>2</sup></i> (1 - 250-750€, 0 - остало)		-0,934	0,239	-3,907	0,000	-0,156
<i>Пређена километража<sup>2</sup></i> (1 – 5.000-10.000km, 0 - остало)		-0,639	0,280	-2,284	0,022	-0,091

МАР модел има вредност R<sup>2</sup> од 0,223, што значи да је 22,3% његовог варијабилитета објашњено. Мала вредност R<sup>2</sup> указује на то да осим регресора обухваћених овим истраживањем, постоје и други који имају утицај на МАР вредност. Стандардизовани коефицијенти променљивих и латентних променљивих у апсолутним вредностима налазе се у опсегу од 0,091 (-0,091, *Пређена километража<sup>2</sup>*) до 0,436 (-0,436, *Преференције према различитим политикама СР*). Два стандардизована коефицијента имају вредности блиске 0,1 указујући на то да ове карактеристике имају слабе утицаје. Као и у претходном моделу, они нису искључени. У поређењу са моделом *Увођење СР*, може се видети да једна латентна променљива има позитивни утицај од 0,309 (*Навике у погледу коришћења CZ*). На основу добијених коефицијената може се закључити да ако испитаници имају приход различит од 250-750 €, прелазе километражу различиту од 5.000-10.000 km, ако је њихова преференција усмерена ка политици СР која подразумева наплату радним данима и током читавог дана или ако нису из CZ а користе CZ, они ће прихватити веће цене СР (Milenković et al., 2019a).

## 6.6. Дискусија

Један од најважнијих предуслова за успешну имплементацију стратегија које захтевају наплату, као што је политика наплате загушења, јесте прихватљивост од стране јавности. Како би се детаљно размотрио проблем и донеле одлуке које ће допринети повећању подршке од стране јавности, неопходно је анализирати факторе који утичу на спремност корисника да прихвате увођење СР и плате одређену своту новца за коришћење CZ путничким аутомобилом. Имајући то у виду, спроведена је анализа фактора који могу да објасне спремност корисника да прихвате увођење СР, узимајући у обзир демографске и социоекономске карактеристике корисника, навике корисника у погледу коришћења CZ, ставове корисника о саобраћајним проблемима у CZ, ставове корисника према позитивним ефектима СР, различитим политикама, као и расподели прихода. Модели бинарне логистичке регресије и SEM су примењени да би се утврдио утицај одређених фактора на ставове корисника према увођењу СР и МАР.

Резултати логистичке регресије показују да одређене социо-економске карактеристике испитаника као што су старост, статус запослења, приход и пређена километража статистички значајно утичу на прихватљивост СР од стране јавности. Наиме, добијени резултати показују да постоји одређена повезаност између прихода корисника и прихватљивости СР од стране јавности. Одређене групе корисника са већим приходом имају веће шансе да прихвате СР од корисника са нижим приходом. Међутим, ова повезаност није била статистички значајна код свих категорија корисника. Стога би у будућим анализама посебну пажњу требало посветити овој променљивој. Резултати претходних истраживања су различити. Поједини аутори су дошли до налаза да прихватљивост од стране јавности расте са повећањем прихода (Verhoef et al., 1997; Hess & Börjesson, 2017). Други нису утврдили статистички значајну везу (Rienstra et al., 1999; Jaensirisak et al., 2005), док су Harrington et al. (2001) пронашли негативан утицај. Што се тиче пређене километраже, такође је утврђено да одређене категорије корисника са већом пређеном километражом имају мању шансу да прихвате СР. Претходно су Vrtic et al. (2007) утврдили да корисници са великом годишњом пређеном километражом имају мању шансу да изаберу систем наплате путарине. Са друге стране, Harrington et al. (2001) су закључили да ни дужина путовања ни пређена километража немају статистички значајан утицај. Поред променљивих које се односе на локацију становања, вид превоза који се користи за путовање у CZ представља други важан фактор. Наиме, утврђено је да су испитаници који користе видове превоза који не би захтевали плаћање у случају увођења СР спремнији да прихвате СР од оних који користе вид превоза који би захтевао плаћање. Овај резултат је логичан и у складу са претходним истраживањима (Rienstra et al., 1999; Jaensirisak et al., 2005; Winslott-Hiselius et al., 2009; Eliasson & Jonsson, 2011; Liu & Zheng, 2013; Zheng et al., 2014). Променљива која се односи на учесталост коришћења CZ са сврхом одласка на посао није била статистички значајна у овој анализи. Међутим, променљива која се односи на коришћење CZ у остале сврхе је била статистички значајна и утврђено је да они који чешће путују у CZ у остале сврхе имају већу шансу да прихвате СР. Овај резултат се може објаснити чињеницом да је учесталост коришћења путничких аутомобила у CZ у остале сврхе мања од учесталости коришћења CZ са сврхом одласка на посао и да су корисници за већи ниво услуге спремнији да плате коришћење CZ у овим мање честим ситуацијама. Претходне студије су углавном анализирале утицај учесталости коришћења аутопута на спремност корисника да плате путарину. Резултати тих анализа показују да наплата путарине највише погађа оне који често путују и да они имају мање позитиван став према наплати путарине од оних који ређе путују (Odeck & Kjekreit, 2010; Hamilton, 2011; Glavic et al., 2017b).

Статистички значајан утицај је утврђен за факторе који се односе на перцепцију корисника о озбиљности проблема загушења у саобраћају у CZ. Наиме, логистичком регресијом је утврђено да променљиве као што су приступачност јавног превоза, приступачност немоторизованих видова превоза и проблеми везани за загађење у CZ имају статистички значајан утицај на прихватљивост СР. Као што су показале претходне анализе, што се проблем загушења перципира озбиљнијим, то је већа подршка коју корисници дају увођењу СР (Verhoef et al., 1997; Rienstra et al., 1999; Harrington et al., 2001; Jaensirisak et al., 2005).

Један од фактора који утиче на прихватљивост СР је информисаност корисника о концепту СР. Резултати истраживања су показали да су корисници који су у већој мери информисани о концепту СР спремнији да прихвате увођење СР. Више аутора је потврдило да прихватљивост СР расте са информисаношћу корисника (нпр. Jones, 2003; Eliasson & Jonsson, 2011).

У овој анализи су такође испитивани и ставови корисника о расподели прихода остварених СР. Променљиве које се односе на улагање остварених прихода у унапређење немоторизованог саобраћаја и унапређења у инфраструктуру за моторизовани саобраћај биле су статистички значајне. Утврђено је да са сваком већом оценом политике, која подразумева

улагање прихода оствареног од СР у унапређење немоторизованог саобраћаја и у инфраструктуру за моторизовани саобраћај, корисници имају већу шансу да прихвате увођење СР. Променљива која се односила на унапређење јавног превоза није била статистички значајна. Претходне студије су показале да корисници имају тенденцију да прихвате СР ако се приходи улажу у јавни превоз и у побољшање услова за пешаке и бициклисте (Farrell & Saleh, 2005; Rentziou et al., 2011; Schuitema & Steg, 2008). Такође, неизвесни економски утицаји често се наводе као главни разлог невољности градова за увођење СР. У овој анализи је доказано да променљива “неатрактивност посла у CZ” статистички значајно доприноси објашњењу варијабилитета зависне променљиве. Што више корисници верују да је утицај ове променљиве нижи, то су веће шансе да они прихвате наплату загушења. Доступни подаци показују мали, неутралан и незначајан негативан утицај на пословне активности. На пример, у студији у Стокхолму, истраживање које је обухватило продају и потрошаче показало је да СР није имала негативан утицај на продају на мало (ФНА, 2008). Неке студије показују да прихваћеност од стране јавности зависи од карактеристика система за наплату (Jaensirisak, 2005; Grisolia et al., 2015).

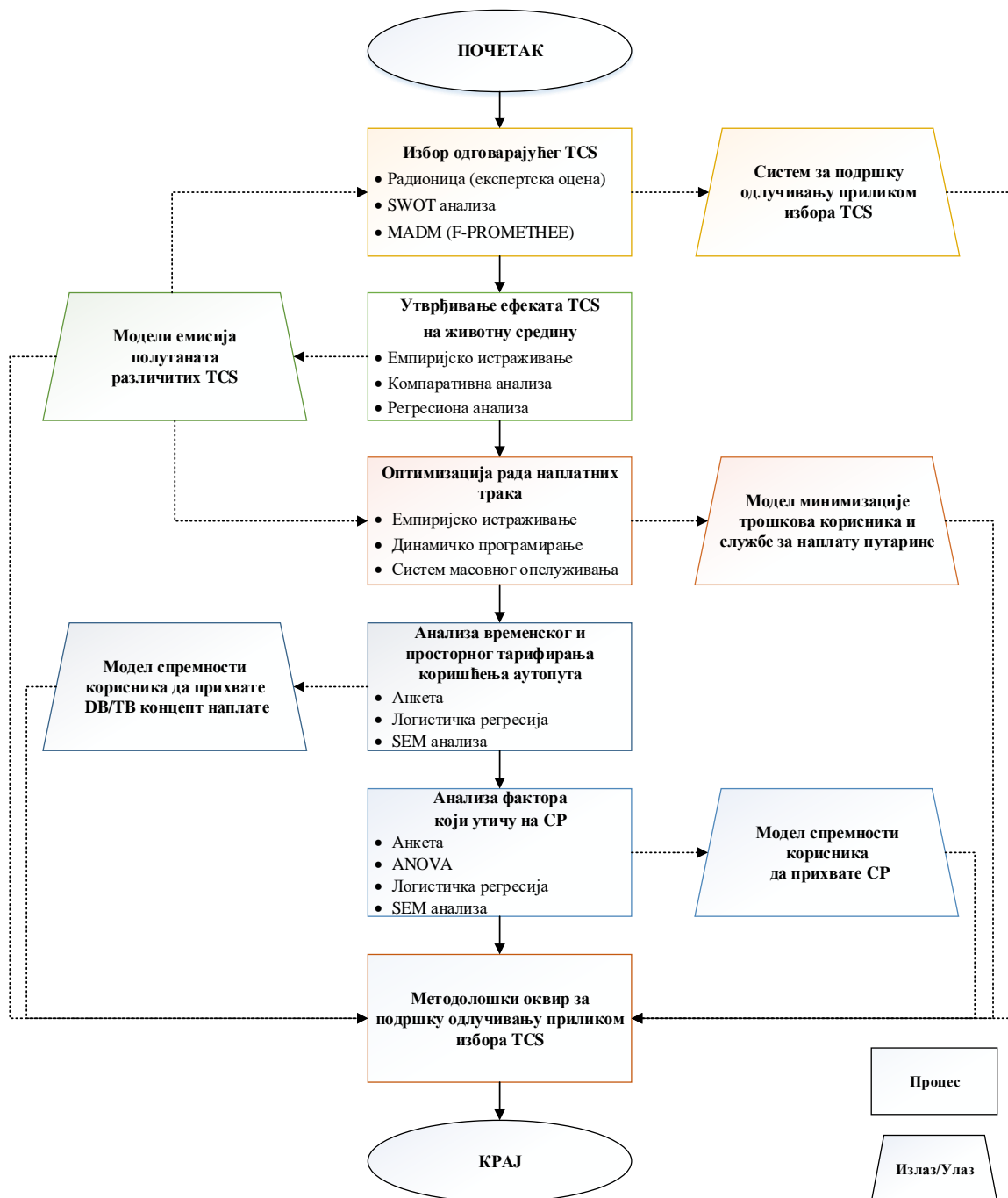
Финални део дисертације представља SEM анализа. Циљ ове анализе је био да се испитају фактори који утичу на МАР и Увођење СР, и њихове међусобне везе. У развијеном моделу, обе латентне променљиве *Преференције према различитој СР политици* и *Пређена километража* имале су утицај на *Увођење СР* и *МАР*. Занимљиво је да је повезаност таква да иста група испитаника, они који годишње прелазе 5.000-10.000 km, у мањој мери подржавају Увођење СР и спремни су да за коришћење CZ плате мање. Исто важи и за различите политике СР. Наиме, ако би политика СР била заснована на наплати загушења која би се спроводила сваког дана, у вршним периодима, испитаници је не би прихватили и за њу би платили мање. Остали фактори за које је утврђено да имају утицај на МАР су *Навике у погледу коришћења CZ*, *Информисаност о СР* и *Приходи*. Добијени резултати показују да ако је испитаник становник CZ он/она биће спремни да плате мање за коришћење CZ. Овај резултат је у складу са налазом до којег су дошли Нао et al. (2013), који су показали да локација становања утиче на прихватљивост СР. Утицај прихода је такав да би испитаници са приходом 250-750 € били спремнији да плате мање за коришћење CZ. Ниже МАР вредности за групе корисника са пређеном километражом од 5.000-10.000 km и приходима од 250-750 € могу се објаснити чињеницом да су то групе корисника које у значајној мери користе путничка возила, тј. групе корисника које немају довољно висок приход да потроше значајан износ новца на накнаду загушења. Такав резултат је супротан резултату Rienstra et al. (1999) који је показао да приход није имао утицаја на подршку увођењу СР, али је у складу са Нао et al. (2013). Резултат да су информисанији испитаници спремнији да прихвате увођење СР је очекиван (Schlag & Schade, 2000). Добијене вредности  $R^2$  за МАР и Увођење СР су ниске (0,223 и 0,327, редом), што указује на то да постоје и други фактори који утичу на њихове вредности. Ипак, добијени статистички значајни утицаји могу бити веома корисни доносиоцима одлука и стручњацима из ове области.

Коначно, резултати овог истраживања су показали да испитаници сматрају да су проблеми који постоје у централној зони, а који су настали као последица загушења у саобраћају, присутни у великој мери. Међутим, нису само присутни проблеми који се односе на загушење у саобраћају у централној зони. Ово истраживање је показало да постоје одређени проблеми како у развијености и функционисању система јавног градског превоза путника тако и у непостојању одговарајућих алтернативних рута. Да би се у будућности разматрало о увођењу наплате загушења, неопходно је корисницима обезбедити основне услове у виду развијености алтернативних видова превоза и постојања алтернативних путања. Такође, како би се допринело повећању поузданости резултата, у будућим истраживањима је потребно повећати узорак и анкетирање корисника спровести на терену и уз присуство испитивача.



## 7. Закључак

Приликом унапређења постојећег система за наплату путарине или увођења новог, доносиоци одлука се суочавају са бројним изазовима. С обзиром да лоша одлука по питању избора система за наплату путарине може довести до великих економских, еколошких и друштвених проблема, у оквиру дисертације предложен је методолошки оквир за подршку одлучивању. На Слици 7.1 приказани су основни кораци у решавању проблема, као и научни доприноси дисертације. Применом развијених модела и добијених резултата доносиоцима одлука се даје аргументована подршка при одлучивању о избору одговарајућег система за наплату путарине. На тај начин је могуће обезбедити ефикасно функционисање службе за наплату путарине са једне стране и одговарајући ниво услуге корисника са друге стране.



Слика 7.1. Методолошки оквир за подршку одлучивању приликом избора TCS

Као један од кључних проблема разматран је проблем избора одговарајућег система за наплату путарине с обзиром на његов значај у ефикасном функционисању наплате путарине, велика инвестициона улагања и конфликтне критеријуме бројних система за наплату путарине. У дисертацији је предложен систем за подршку одлучивању који укључује дефинисање алтернатива TCS који се тренутно користе у свету и критеријума који су важни приликом избора како са аспекта управљача пута, тако и са аспекта корисника и друштва у целини. Методологија која је коришћена у дисертацији обједињује SWOT анализу и F-PROMETHEE методу вишеатрибутивног одлучивања. За новоизграђени аутопут, на основу оцена експерата из области планирања саобраћаја, експлоатације и управљања путевима, саобраћајне политике и саобраћајне економије спроведено је рангирање четрнаест система за наплату путарине. Добијени резултати показују да је најбоље рангирани систем за наплату путарине DSRC MLFF систем, односно систем заснован на вишетрачном слободном протоку (MLFF) који функционише уз помоћ наменске комуникације кратког домета (DSRC технологије). Спроведена анализа осетљивости је на крају показала како промене у вредностима тежина критеријума утичу на промене комплетног ранга, односно првог места у рангу. Предложени оквир за подршку одлучивању може се користити у студијама случаја избора одговарајућег система за наплату путарине, при чему се локалне карактеристике могу узети у обзир избором одређених алтернатива, критеријума и вредности тежина критеријума.

Имајући у виду глобални проблем загађења ваздуха и чињеницу да наплатне станице представљају локације са израженом емисијом полутаната, у дисертацији је посебна пажња посвећена еколошком утицају различитих система за наплату путарине. Мерење емисије штетних гасова ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$  и  $\text{NO}_x$ ) при коришћењу различитих система за наплату путарине спроведено је у реалним условима за пет најзаступљенијих класа путничких аутомобила, лако теретно возило и аутобус. Брзина возила, потрошња горива и емисија полутаната бележени су сваке секунде, у различитим процесима вожње у утицајној зони наплатне станице, као и за бројне сценарије који укључују различит број возила у реду. Добијени резултати показују да се могу остварити значајна смањења емисије издувних гасова преласком са MS на ETC систем, а посебно преласком на MLFF систем за наплату путарине. Тако је на пример мерење показало да би се коришћењем MLFF система у односу на MS систем постигла смањења емисије  $\text{CO}_2$  у опсегу од 25% до 45% и емисије  $\text{NO}_x$  у опсегу од 32% до 98%, у зависности од врсте возила и разматраног сценарија. Студија случаја система наплате путарине у Републици Србији показала је да би се преласком са постојећег (MS+ETC) на напредни систем наплате (MLFF) на годишњем нивоу остварила смањења емисије  $\text{CO}_2$  од 11.100 t до 12.450 t и  $\text{NO}_x$  од 89 t до 98 t, односно еколошке уштеде од 1.349.862 € до 1.491.391 €, у зависности од разматраног сценарија. Иако спроведено емпиријско истраживање, у погледу броја возила тестираних у реалним условима, превазилази сва досадашња истраживања у овој области, мерења емисије нису спроведена за све категорије возила која се јављају на наплатној станици. Наиме, спроведеним истраживањем обухваћена су меродавна возила различитих класа и категорија која у случају Републике Србије чине узорак од 86,66% укупног саобраћајног тока. Такође, због ограничења мерне опреме није било могуће утврдити емисије појединих врста полутаната која представљају продукт сагоревања моторних возила попут партикуларних честица ( $\text{PM}_x$ ), оксида сумпора ( $\text{SO}_x$ ) итд. Додатним испитивањем емисије издувних гасова категорија возила које нису узете у обзир у овој дисертацији, као и емисије преосталих врста полутаната, добијене уштеде биле би још веће. Предложена методологија и добијени подаци могу се применити и у другим земљама, узимајући у обзир параметре које карактеришу конкретну наплатну станицу као што су саобраћајно оптерећење, структура саобраћајног тока и конфигурација канала опслуге. Имајући у виду да негативни еколошки утицај представља један од важних критеријума приликом избора одговарајућег система за наплату путарине, предложена методологија пружа подршку доносиоцима одлуке у том процесу.

С обзиром да се један од главних проблема неефикасног функционисања наплатне станице огледа у стационарном режиму рада наплатних трака, у дисертацији је развијен модел оптимизације који се базира на систему адаптивбилног управљања. Предложени модел подразумева минимизацију трошкова службе за наплату путарине и трошкова корисника који се односе на трошкове времена путовања, потрошње горива и емисије полутаната. За прорачун трошкова било је неопходно располагати подацима о временима чекања возила и њиховог опслуживања, као и о средњем броју возила који се налази у реду у сваком од система наплате путарине. Као погодна техника за одређивање ових вредности коришћена је Теорија масовног опслуживања. За решавање наведеног проблема коришћено је Динамичко програмирање. Начин примене ове технике демонстриран је у студији случаја наплатне станице у Републици Србији. Као излазни резултат утврђен је одговарајући број оперативних наплатних трака за часовна оптерећења у току меродавног дана, као и за максимална годишња часовна оптерећења на наплатној станици у оба смера. Како би се дефинисала одговарајућа политика спровођења наплате путарине у будућем периоду, у дисертацији је спроведена прогноза саобраћајних токова за период од десет година. Спроведена анализа је показала да би за период од десет година, 15% корисника MS система требало да пређе на коришћење ETC система, како би се са постојећим капацитетом наплатне станице остварио захтевани ниво услуге. Већи ниво услуге подразумевао би додатно повећање учешћа корисника напредних система за наплату путарине.

У оквиру дисертације разматрано је још једно веома важно питање за доносиоце одлука о наплати путарине – питање избора одговарајућег концепта наплате путарине, посебно имајући у виду чињеницу да поједине земље у Европи мењају своје DB у ТВ концепте наплате путарине. Како би се утврдиле предности и недостаци оба концепта наплате путарине, у дисертацији су анализирани ставови и искуства корисника. Истраживање је спроведено у Северној Македонији, земљи која се тренутно суочава са проблемом унапређења постојећег система за наплату путарине. У анализи података коришћена је ANOVA, бинарна логистичка регресија и SEM анализа. Анализом ставова корисника утврђено је да преференције корисника по питању DB и ТВ концепта зависе од учесталости коришћења аутопута. Дневни корисници предност виде у ТВ концепту, а месечни и годишњи у DB концепту. Када се у обзир узму сви корисници, DB наплата је преферирана опција. Аналитички утврђене упоредиве MAP вредности за ТВ и DB наплату потврдиле су претходно наведене наводе да ће DB концепт обезбедити поштовање начела да „загађивачи плаћају”, односно фер наплату - накнаду у складу са пређеним километрима и према реализованој емисији штетних гасова. Поред тога, DB концепт ће омогућити и управљање саобраћајним захтевима. Међутим, овим концептом највише ће бити погођени дневни корисници аутопута који ће с обзиром на велика пређена растојања на годишњем нивоу имати и велике трошкове. Они ће плаћати онолико колико су прешли и колико су штете нанели у еколошком смислу, али се поставља питање да ли ће због великих издатака то довести до додатног избегавања коришћења аутопута и коришћења алтернативних рута са слободним режимом коришћења, што додатно може довести до емисија штетних гасова, еколошких проблема, смањеног нивоа безбедности саобраћаја и оштећења путне инфраструктуре. Налази ове дисертације сугеришу ревизију постојећих тарифа које ће у обзир узети карактеристике свих категорија корисника и све категорије корисника задовољити оним што плаћају. Другим речима, требало би дефинисати хибридни модел наплате путарине, прилагођен свим групама корисника (дневним, месечним и годишњим) и који обезбеђује оба концепта наплате на аутопутевима. На пример, дневним корисницима би требало да буде омогућено да плаћају путарину на основу ТВ модела, док месечним и годишњим корисницима треба омогућити да плаћају путарину у складу са DB моделом наплате путарине. Примена хибридног модела наплате путарине имала би вишеструку корист за кориснике аутопута, јер би аутопутеве користили они корисници који га избегавају због високих трошкова путарине у односу на секундарну путну мрежу. На овај начин би се смањио

негативан утицај на животну средину и побољшала безбедност у саобраћају. Треба нагласити да се хибридни модел може реализовати помоћу постојећих ДВ технологија. Стога, додатна технологија, сложеност система или финансијска средства за опрему и инфраструктуру неће бити потребна. Још један од доприноса дисертације огледа се у дефинисању WTP и MAP вредности, као и фактора који утичу на MAP вредност. Као кључни фактори који утичу на MAP вредност издвојили су се учесталост коришћења аутопута и приход корисника. У анализи је такође утврђено да MAP вредност зависи и од искуства корисника у погледу коришћења различитих система наплате путарине, односно од упознатости корисника са ДВ и ТВ концептима наплате путарине. Добијени резултати се могу користити као помоћ доносиоцима одлука приликом дефинисања одговарајуће тарифне политике наплате путарине.

Како би се обезбедила успешна имплементација наплате загушења, неопходно је сагледати ставове корисника и утврдити факторе који утичу на њихову спремност да прихвате овај концепт наплате. Имајући то у виду, у оквиру дисертације анализиран је утицај демографских и социо-економских карактеристика корисника, њихових навика у погледу коришћења централне градске зоне, перцепција о проблемима у саобраћају централне градске зоне, информисаности о концепту и ефектима наплате загушења, преференција према различитим политикама и њихових преференција у погледу расподеле прихода. Истраживање ставова корисника спроведено је у Београду коришћењем анкете. Модели спремности корисника да прихвате наплату загушења развијени су коришћењем бинарне логистичке регресије и SEM анализе. Добијени резултати показују да постоји статистички значајна повезаност између социо-економских карактеристика корисника, као што су старост, статус запослења, просечан месечни приход, просечна месечна пређена километража и спремности корисника да прихвате СР. Међу променљивама које се односе на навике корисника у погледу коришћења CZ, следеће променљиве су препознате као статистички значајне: становање у CZ, удаљеност од места становања до CZ и вид превоза приликом коришћења CZ. Такође је утврђено да променљиве које се односе на перцепцију проблема загушења у CZ Београда као што су приступачност јавног превоза, приступачност немоторизованих видова превоза и проблем загађења ваздуха у CZ имају статистички значајан утицај на прихватљивост СР. Значајан утицај информисаности корисника о концепту СР и позитивним ефектима СР на прихватљивост СР представљен је кроз све анализе коришћене у дисертацији. Добијени резултати су такође показали да прихватљивост Увођења СР и MAP зависе од предложених политика СР. Уважавање одређених преференција корисника у погледу политике СР допринело би повећању прихватљивости СР од стране јавности. Резултати ове анализе су такође показали да постоје значајне разлике у вредностима WTP и MAP. Стога је јако важно приликом дефинисања цена СР, поред питања које се односи на то колико су испитаници спремни да плате за коришћење CZ, укључити и питање при којој цени би одустали од коришћења CZ. На основу расподеле MAP вредности, може се управљати захтевима корисника путничких аутомобила у CZ. Коначно, резултати овог истраживања су показали да испитаници сматрају да су проблеми који постоје у централној зони, а који су настали као последица загушења у саобраћају, присутни у великој мери. Међутим, нису само присутни проблеми који се односе на загушење у саобраћају. Ово истраживање је показало да постоје одређени проблеми како у развијености и функционисању система јавног градског превоза путника, тако и у непостојању одговарајућих алтернативних рута. Да би се у будућности могло разматрати питање увођења СР неопходно је корисницима обезбедити основне услове у виду развијености алтернативних видова превоза и постојања алтернативних путања. Дефинисање политике СР која ће обезбедити већу подршку јавности представља један од главних изазова стручњака из ове области. Добијени резултати представљају смернице за доносиоце одлука које треба узети у обзир приликом дефинисања одговарајуће политике СР.

Сходно претходно наведеном, научни доприноси докторске дисертације огледају се у следећем:

- Предложен је систем за подршку одлучивању приликом избора система за наплату путарине;
- Утврђена је емисија полутаната различитих врста возила при коришћењу различитих система за наплату путарине;
- Развијен је модел минимизације трошкова корисника и службе за наплату путарине којим се оптимизује рад наплатних трака одређених система за наплату путарине у реалном времену;
- Развијени су модели спремности корисника да плате коришћење аутопута односно централне градске зоне.

Даља истраживања би требало усмерити у неколико праваца као што су:

- Процена појединих утицаја система за наплату путарине применом симулационих техника (нпр. временски губици, ниво буке итд.);
- Квантификовање вредности одређених карактеристика система за наплату путарине на основу емпиријских истраживања (ниво безбедности саобраћаја, ниво буке итд.);
- Анализа могућности примене одређених система за наплату путарине у ери самоуправљајућих возила;
- Прикупљање података о емисији штетних материја преосталих класа и категорија возила (меродавна возила преосталих класа путничких аутомобила, аутобуси, тешка теретна возила), као и преосталих врста штетних материја (партикуларне честице ( $PM_x$ ) и оксиди сумпора ( $SO_x$ ));
- Квантификовање емисије штетних материја које нису резултат процеса сагоревања погонског горива већ настају абразијом потрошних материјала (пнеуматика, кочионих плочица итд.);
- Унапређење предложеног модела минимизације трошкова корисника и службе за наплату путарине узимајући у обзир и трошкове саобраћајних незгода, нивоа буке итд.;
- Оптимизација рада наплатних станица у будућем периоду додатним опремањем наплатних трака ЕТС опремом и/или увођењем АСМ при различитим сценаријима процентуалног учешћа корисника одређеног система за наплату путарине;
- Анализа додатних фактора који могу имати утицај на MAP вредност, попут ставова корисника о томе да ли су за одређену накнаду добили одговарајући ниво услуге у погледу одржавања коловоза, нивоа услуге, нивоа безбедности саобраћаја итд.;
- Проширење подручја истраживања анализом ставова корисника у осталим земљама Европе. Ово питање је веома важно с обзиром да Европска унија планира да уведе једно тржиште са интероперабилном технологијом и једним концептом наплате путарине;
- Дефинисање политике наплате загушења и зоне наплате на основу свеобухватне анализе стручњака из области саобраћајне економије, планирања саобраћаја како динамичког тако и стационарног, транспорта путника, регулисања и управљања саобраћајем, безбедности саобраћаја итд.;
- Анализа могућности примене осталих стратегија управљања саобраћајним захтевима, као што су на пример „Кредити мобилности“.

## Литература

- [1] Al-Deek, H. M., Mohamed, A. A., & Radwan, E. A. (2000). New model for evaluation of traffic operations at electronic toll collection plazas. *Transportation Research Record*, 1710(1), 1-10.
- [2] Allen, J., Muñoz, J. C., & de Dios Ortúzar, J. (2018a). Modelling service-specific and global transit satisfaction under travel and user heterogeneity. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, 509-528.
- [3] Allen, J., Eboli, L., Mazzulla, G., & de Dios Ortúzar, J. (2018b). Effect of critical incidents on public transport satisfaction and loyalty: an Ordinal Probit SEM-MIMIC approach. *Transportation*, 1-37.
- [4] Allen, J., Muñoz, J. C., & Rosell, J. (2019). Effect of a major network reform on bus transit satisfaction. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124, 310-333.
- [5] Armstrong, B. G., & Sloan, M. (1989). Ordinal regression models for epidemiologic data. *American Journal of Epidemiology*, 129(1), 191-204.
- [6] Asady, B., & Zendehnam, A. (2007). Ranking fuzzy numbers by distance minimization. *Applied Mathematical Modelling*, 31(11), 2589-2598.
- [7] Aycin, M. F. (2006). Simple methodology for evaluating toll plaza operations. *Transportation Research Record*, 1988(1), 92-101.
- [8] Azeez, O. S., Pradhan, B., Shafri, H. Z., Shukla, N., Lee, C. W., & Rizeei, H. M. (2019). Modeling of CO emissions from traffic vehicles using artificial neural networks. *Applied Sciences*, 9(2), 313.
- [9] Babyak, M. A. (2004). What you see may not be what you get: a brief, nontechnical introduction to overfitting in regression-type models. *Psychosomatic Medicine*, 66(3), 411-421.
- [10] Bagozzi, R. P. (2010). Structural equation models are modelling tools with many ambiguities: Comments acknowledging the need for caution and humility in their use. *Journal of Consumer Psychology*, 20(2), 208-214.
- [11] Bartin, B., Mudigonda, S., & Ozbay, K. (2007). Impact of electronic toll collection on air pollution levels: Estimation using microscopic simulation model of large-scale transportation network. *Transportation Research Record*, 2011(1), 68-77.
- [12] Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198-215.
- [13] Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton.
- [14] Blythe, P. (1999). RFID for road tolling, road-use pricing and vehicle access control. *Proceedings of the IEE Colloquium on RFID Technology*, 8/1-8/16, London, United Kingdom, 25. October, Institution of Engineering and Technology (IET).
- [15] Bollen, K. A. (1989). *Structural Equations with Latent Variables*. Wiley, Chichester.
- [16] Bondell, H. D., & Reich, B. J. (2008). Simultaneous Factor Selection and Collapsing Levels in ANOVA. *Biometrics*, 65(1), 169-177.
- [17] Booz & Company. (2012). Study on Impacts of Application of the Vignette Systems to Private Vehicles. (No. R01083), European Commission Directorate – General for Mobility and Transport. <http://ec.europa.eu/transport/modes/road/studies/doc/2012-02-03-impacts-application-vignette-private-vehicles.pdf> (accessed: 30.09.2018.).
- [18] Börjesson, M., Eliasson, J., & Hamilton, C. (2016). Why experience changes attitudes to congestion pricing: The case of Gothenburg. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 1-16.
- [19] Boronico, J. S., & Siegel, P. H. (1998). Capacity planning for toll roadways incorporating consumer wait time costs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(4), 297-310.
- [20] Bowen, N. K., & Guo, S. (2011). *Structural equation modeling*. Oxford University Press.
- [21] Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228-238.
- [22] Browne, M. W., & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In Bollen, K.A. & Long, J.S. (Eds.). *Testing structural equation models*. Newbury Park, CA: Sage, 136-162.

- [23] Brownstone, D., Ghosh, A., Golob, T. F., Kazimi, C., & Van Amelsfort, D. (2003). Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(4), 373-387.
- [24] Busam (2005). Optimization of waiting time at toll plazas. M.S. thesis. Florida International University, Miami, Florida, United States of America (USA).
- [25] Calfee, J., & Winston, C. (1998). The value of automobile travel time: implications for congestion policy. *Journal of Public Economics*, 69(1), 83-102.
- [26] Ceballos, G., & Curtis, O. (2004). Queue Analysis at Toll and Parking Exit Plazas: A Comparison Between Multi-Server Queuing Model and Traffic Simulation. *Proceedings of the ITE 2004 Annual Meeting and Exhibit*, Lake Buena Vista, Florida, United States of America (USA), 1. - 4. August, Institute of Transportation Engineers (ITE).
- [27] Charpentier, G., & Fremont, G. (2003). The ETC system for HGV on motorways in Germany: first lessons after system opening. *Proceedings of the European Transport Conference (ETC)*, Strasbourg, France, 8. - 10. October, Association for European Transport (AET).
- [28] Chen, F. F. (2007). Sensitivity of goodness of fit indexes to lack of measurement invariance. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 14(3), 464-504.
- [29] Chen, S., Leng, Y., Mao, B., & Liu, S. (2014). Integrated weight-based multi-criteria evaluation on transfer in large transport terminals: A case study of the Beijing South Railway Station. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 13-26.
- [30] Chorus, C. G., Annema, J. A., Mouter, N., & van Wee, B. (2011). Modeling politicians' preferences for road pricing policies: A regret-based and utilitarian perspective. *Transport Policy*, 18(6), 856-861.
- [31] Coelho, M. C., Farias, T. L., & Roupail, N. M. (2005). Measuring and modeling emission effects for toll facilities. *Transportation Research Record*, 1941(1), 136-144.
- [32] COMEAP (Committee On the Medical Effects of Air Pollutants). (2015). *Interim Statement on Quantifying the Association of Long-Term Average Concentrations of Nitrogen Dioxide and Mortality*. [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/485373/COMEAP\\_NO2\\_Mortality\\_Interim\\_Statement.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/485373/COMEAP_NO2_Mortality_Interim_Statement.pdf) (accessed: 21.01.2019.).
- [33] Correa, E., Metzner, C., & Niño, N. (2004). TollSim: Simulation and evaluation of toll stations. *International Transactions in Operational Research*, 11(2), 121-138.
- [34] Deakin, E. (1989). Toll Roads: a new direction for US highways? *Built Environment*, 15(3-4), 185-194.
- [35] Dieplinger, M., & Fürst, E. (2014). The acceptability of road pricing: Evidence from two studies in Vienna and four other European cities. *Transport Policy*, 36, 10-18.
- [36] Димитријевић, Б. (2017). *Вишеатрибутивно одлучивање – примене у саобраћају и транспорту*. Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.
- [37] Ding, C., & Song, S. (2012). Traffic paradoxes and economic solutions. *Journal of Urban Management*, 1(1), 63-76.
- [38] Downs, A. (2004). *Still stuck in traffic: coping with peak-hour traffic congestion*. Brookings Institution Press, Washington, DC.
- [39] Драшковић Д., и Главих, Д. (2019). Наплата путарине путем мобилних уређаја. *Пут и саобраћај*, 63(2), 43-48.
- [40] Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). Service quality attributes affecting customer satisfaction for bus transit. *Journal of Public Transportation*, 10(3), 21-34.
- [41] EEA (European Environment Agency). (2014). <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/> (accessed: 02.12.2018.).
- [42] Eliasson, J. (2009). A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(4), 468-480.
- [43] Eliasson, J., & Jonsson, L. (2011). The unexpected "yes": Explanatory factors behind the positive attitudes to congestion charges in Stockholm. *Transport Policy*, 18(4), 636-647.

- [44] Eliasson, J. (2016). Is congestion pricing fair? Consumer and citizen perspectives on equity effects. *Transport Policy*, 52, 1-15.
- [45] Eriksson, L., Garvill, J., & Nordlund, A. M. (2008). Acceptability of single and combined transport policy measures: The importance of environmental and policy specific beliefs. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(8), 1117-1128.
- [46] European Bank for Reconstruction and Development (ERBD). (2017) *Belgrade Smartplan* (Report No.170524).
- [47] European Commission. (2011a). Communication From the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050”. COM(2011) 112 Final.
- [48] European Commission. (2011b). White Paper on Transport: Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource-Efficient Transport System. COM (2011) 144 Final.
- [49] European Council. (2010). Conclusions of the European Council. EUCO 7/10. CO EUR 4.CONCL 1 (March).
- [50] European Parliament. (2007). Directive 2007/64/EC of the European Parliament and of the Council of 13 November 2007 on payment services in the internal market amending Directives 97/7/EC, 2002/65/EC, 2005/60/EC and 2006/48/EC and repealing Directive 97/5/EC. *Official Journal of the European Union*.
- [51] European Parliament. (2014). Technology options for the European Electronic Toll Service, European Union. <http://www.europarl.europa.eu/studies> (accessed: 10.08.2018.).
- [52] European Parliament’s Committee on Transport and Tourism. (2014). *Technology options for the European Electronic Toll Service*. European Union. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/529058/IPOL\\_STUD%282014%29529058\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2014/529058/IPOL_STUD%282014%29529058_EN.pdf) (accessed: 27.10. 2018.).
- [53] Ison, S. (1996). Pricing road space: back to the future? The Cambridge experience. *Transport Reviews*, 16(2), 109-126.
- [54] Farrell, S., & Saleh, W. (2005). Road-user charging and the modelling of revenue allocation. *Transport Policy*, 12(5), 431-442.
- [55] FHWA. (2006). *Congestion Pricing: A Primer*, Federal Highway Administration, Office of Transportation Management, Washington, DC. <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/congestionpricing/congestionpricing.pdf>. (accessed: 20.01.18).
- [56] FHWA. (2008). *Value pricing pilot program: Lessons learned*, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, DC. [https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08023/vppp\\_lessonslearned.pdf](https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08023/vppp_lessonslearned.pdf). (accessed: 25.03.18).
- [57] Fulton, L., Cazzola, P., & Cuenot, F. (2009). IEA Mobility Model (MoMo) and its use in the ETP 2008. *Energy Policy*, 37(10), 3758-3768.
- [58] Gart, J. J. (1969). An exact test for comparing matched proportions in crossover designs. *Biometrika*, 56(1), 75-80.
- [59] Gertheiss, J., & Tutz, G. (2010). Sparse modeling of categorical explanatory variables. *The Annals of Applied Statistics*, 4(4), 2150-2180.
- [60] Ghersi, F., & McDonnell, S. (2007). The impacts of long-term CO<sub>2</sub> objectives on short-term transportation trends in the European Union. *Energy for Sustainable Development*, 11(3), 33-43.
- [61] Giuliano, G. (1992). An assessment of the political acceptability of congestion pricing. *Transportation*, 19(4), 335-358.
- [62] Главић, Д. (2013). SWOT анализа система наплате путарине у Европи. *Пут и саобраћај*, 59(4), 21-30.



- [63] Главић, Д. (2016). *Комерцијална експлоатација путева - Технологије наплате путарине*. Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.
- [64] Glavić D., Milenković, M., & Mladenović M. (2016). Comparative analysis of the Macedonian road tolling system with EU trends. *Proceedings of the I International conference - Transport for Today's Society*, 79-88, Bitola, Macedonia, 19. - 21. May, University "St. Kliment Ohridski".
- [65] Glavić D., & Milenković M. (2016). Comparative analysis of road tolling technologies. *Proceedings of the II Serbian Road Congress*, 562-568, Belgrade, Serbia, 9. - 10. June, The Road Association of Serbia "Via-Vita".
- [66] Главић, Д., Миленковић, М., и Петковић, М. (2017). Анализа утицаја технологија наплате путарине на емисију штетних гасова. *Пут и саобраћај*, 63 (2), 5-11.
- [67] Glavić, D., Milenković, M., Trpković, A., Vidas, M., & Mladenović, M.N. (2017a). Assessing sustainability of road tolling technologies. *Proceedings of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure AND Systems (TIS)*, 803-810, Rome, Italy, 10. - 12. April, Taylor & Francis Group.
- [68] Glavić, D., Mladenović, M., Luttinen, T., Čičević, S. & Trifunović, A. (2017b). Road to price: User perspectives on road pricing in transition country. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 105, 79-94.
- [69] Glavić, D., Milenković, M., & Pavlović, R. (2017c). Transport demand management through new congestion pricing-mobility credits. *Proceeding of the VI International conference "Towards a Humane City"*, 379-384, Novi Sad, Serbia, 26. - 27. October, Department of Traffic Engineering, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad.
- [70] Главић, Д., Миленковић, М., и Радосављевић, С. (2018). Анализа рада станица за наплату путарине применом теорије масовног опслуживања. *Пут и саобраћај*, 64(3), 13-19.
- [71] Glavić, D., Milenković, M., Malenkovska Todorova, M., & Petković, M. (2018). Analysis of users' attitudes about the toll collection system in the Republic of Macedonia. *Proceedings of the II International conference - Transport for Today's Society*, 137-146, Bitola, Macedonia, 17. - 19. May, University "St. Kliment Ohridski".
- [72] Gomes, L. F. (1989). Multicriteria ranking of urban transportation system alternatives. *Journal of Advanced Transportation*, 23(1), 43-52.
- [73] González, N. F., Kindelán, J. C., & Martí, J. M. L. (2016). Methodology for instantaneous average exhaust gas mass flow rate measurement. *Flow Measurement and Instrumentation*, 49, 52-62.
- [74] Goodwin, P. B. (1996). Empirical evidence on induced traffic. *Transportation*, 23(1), 35-54.
- [75] Green, L. (1985). A queueing system with general-use and limited-use servers. *Operations Research*, 33(1), 168-182.
- [76] Grisolia, J. M., López, F., & de Dios Ortúzar, J. (2015). Increasing the acceptability of a congestion charging scheme. *Transport Policy*, 39, 37-47.
- [77] Gross, D., & Harris, C. M. (1998). *Fundamentals of Queueing Theory*. Wiley, New York.
- [78] Guirao, B., García-Pastor, A., & López-Lambas, M. E. (2016). The importance of service quality attributes in public transportation: Narrowing the gap between scientific research and practitioners' needs. *Transport Policy*, 49, 68-77.
- [79] Hamilton, C. J. (2011). Revisiting the cost of the Stockholm congestion charging system. *Transport Policy*, 18(6), 836-847.
- [80] Hao, X., Sun, X., & Lu, J. (2013). The study of differences in public acceptability towards urban road pricing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 433-441.
- [81] Harrington, W., Krupnick, A. J., & Alberini, A. (2001). Overcoming public aversion to congestion pricing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(2), 87-105.
- [82] Hasofer, A. M. (1964). On the single-server queue with non-homogeneous Poisson input and general service time. *Journal of Applied Probability*, 1(2), 369-384.
- [83] Hensher, D. A. (1991). Electronic toll collection. *Transportation Research Part A: General*, 25(1), 9-16.

- [84] Hensher, D. A., & Goodwin, P. (2004). Using values of travel time savings for toll roads: avoiding some common errors. *Transport Policy*, 11(2), 171-181.
- [85] Hernandez, S., Monzon, A., & Sobrino, N., (2013). Decarbonization of toll plazas: Impact assessment of toll collection system management. *Proceedings of the 92th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., United States of America (USA), 13. - 17. January, Transportation Research Board (TRB).
- [86] Hess, S., & Börjesson, M. (2017). Understanding attitudes towards congestion pricing: a latent variable investigation with data from four cities. *Transportation Letters*, 1-15.
- [87] Heywood, J. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E*. McGraw-Hill Education, 1056.
- [88] Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*, 3(4), 424.
- [89] Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6(1), 1-55.
- [90] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535.
- [91] Jaensirisak, S., Wardman, M., & May, A. D. (2005). Explaining variations in public acceptability of road pricing schemes. *Journal of Transport Economics and Policy*, 39(2), 127-154.
- [92] Jakimavičius, M., & Burinskiene, M. (2009). A GIS and multi-criteria-based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(1), 39-48.
- [93] Jakobsson, C., Fujii, S., & Gärling, T. (2000). Determinants of private car users' acceptance of road pricing. *Transport Policy*, 7(2), 153-158.
- [94] Јавно предузеће Путеви Србије (ЈППС). (2018). Годишњи извештај – Аутоматска обрада података са наплате путарине. [https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/suiss/UISS\\_godisnji\\_izvestaj\\_2018.pdf](https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/suiss/UISS_godisnji_izvestaj_2018.pdf) (приступљено: 05.05.2019).
- [95] Jones, P. (2003). Acceptability of road user charging: meeting the challenge. In Schade, J., & Schlag, B. (Eds.), *Acceptability of transport pricing strategies*. Pergamon Press, Elsevier, Amsterdam.
- [96] Jöreskog, K. G., & Goldberger, A. S. (1975). Estimation of a model with multiple indicators and multiple causes of a single latent variable. *Journal of the American Statistical Association*, 70(351), 631-639.
- [97] Jou, R. C., & Huang, G. L. (2014). Willingness to pay price for tolls and on-board units for short-distance freeway users who normally avoid toll booths. *Transport Policy*, 31, 10-18.
- [98] Kim, S. (2009). The toll plaza optimization problem: Design, operations, and strategies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(1), 125-137.
- [99] King, D., Manville, M., & Shoup, D. (2007). The political calculus of congestion pricing. *Transport Policy*, 14(2), 111-123.
- [100] Klodzinski, J. M., Al-Deek H. E., & Radwan, A. (1998). Evaluation of Vehicle Emissions at Electronic Toll Collection. *Proceedings of the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., United States of America (USA), 11. - 15. January, Transportation Research Board (TRB).
- [101] Kockelman, K. M., & Kalmanje, S. (2005). Credit-based congestion pricing: a policy proposal and the public's response. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(7-9), 671-690.
- [102] Krzyżanowski, M., Kuna-Dibbert, B., & Schneider, J. (Eds.). (2005). *Health effects of transport-related air pollution*. WHO Regional Office Europe.

- [103] Kulak, O. (2005). A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments. *Expert Systems with Applications*, 29(2), 310-319.
- [104] Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2014). Analytic hierarchy process application in selecting the mode of transport for a logistics company. *Journal of Advanced Transportation*, 48(8), 974-999.
- [105] Ленаси, Ј., Жежељ, С., и Данон, Г. (1995). *Моторна возила*. Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.
- [106] Li, J., Yue, Z. Q., & Wong, S. C. (2004). Performance evaluation of signalized urban intersections under mixed traffic conditions by gray system theory. *Journal of Transportation Engineering*, 130(1), 113-121.
- [107] Li, H., Liu, Y., & Peng, K. (2018). Characterizing the relationship between road infrastructure and local economy using structural equation modeling. *Transport Policy*, 61, 17-25.
- [108] Lin, J., & Yu, D. (2008). Traffic-related air quality assessment for open road tolling highway facility. *Journal of Environmental Management*, 88(4), 962-969.
- [109] Litman, T. (2011). *London congestion pricing: Implications for other cities*. Victoria Transport Policy Institute. <https://www.vtpi.org/london.pdf>. (accessed 10.11.2018).
- [110] Liu, C., & Zheng, Z. (2013). Public acceptance towards congestion charge: a case study of Brisbane. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 2811-2822.
- [111] Liu, Y., Liao, H., Yu, Z., & Cai, M. (2011). Analysis of the operational impact of ETC lanes on toll station. *Proceedings of the 11th International Conference of Chinese Transportation Professionals (ICCTP): Towards Sustainable Transportation Systems*, 2623-2634, Nanjing, China, 14. - 17. August, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [112] Macharis, C., Brans, J. P., & Mareschal, B. (1998). The GDSS promethee procedure. *Journal of Decision Systems*, 7(4), 283-307.
- [113] Macharis, C., De Witte, A., & Ampe, J. (2009). The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: Theory and practice. *Journal of Advanced Transportation*, 43(2), 183-202.
- [114] Mackie, P.J., Wardman, M., Fowkes, A.S., Whelan, G., Nellthorp, J., & Bates, J. (2003). *Values of Travel Time Savings UK*, Institute of Transport Studies, University of Leeds. [http://eprints.whiterose.ac.uk/2079/2/Value\\_of\\_travel\\_time\\_savings\\_in\\_the\\_UK\\_protected.pdf](http://eprints.whiterose.ac.uk/2079/2/Value_of_travel_time_savings_in_the_UK_protected.pdf) (accessed: 10.14.2018.).
- [115] Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Van Essen, H. P., Boon, B. H., Smokers, R., Schroten, A., Doll, C., Pawlowska, B., & Bak, M. (2008). *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector*, CE Delft.
- [116] Marsh, H. W., Hau, K. T., & Wen, Z. (2004). In search of golden rules: Comment on hypothesis-testing approaches to setting cutoff values for fit indexes and dangers in overgeneralizing Hu and Bentler's (1999) findings. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 11(3), 320-341.
- [117] Matthews, B., & Nellthorp, J. (2012). *National Road User Charging: Theory and Implementation*. In Cars and Carbon, Springer, Dordrecht.
- [118] Миленковић, М., Главић, Д., и Лукић, М. (2018). Анализа ставова корисника о наплати путарине на аутопутевима републике Србије. *Пут и саобраћај*, 64(1), 45-52.
- [119] Milenković, M., Glavić, D., & Mladenović, M. N. (2018a). Decision-Support Framework for Selecting the Optimal Road Toll Collection System. *Journal of Advanced Transportation*, 2018, 12-28.
- [120] Milenković, M., Glavić, D., & Kocić, A. (2018b). Analysis of users' attitudes on the introduction of congestion pricing in Belgrade. *Proceedings of the II International conference - Transport for Today's Society*, 179-189, Bitola, Macedonia, 17. - 19. May, 2018., University "St. Kliment Ohridski".
- [121] Milenković, M., Glavić, D., & Maričić, M. (2019a). Determining factors affecting congestion pricing acceptability. *Transport Policy*, 82(C), 58-74.

- [122] Milenković, M., Glavić, D., Maričić, M., & Tadić, K. (2019b). SEM analysis of congestion pricing in cities. *Proceedings of the XLVI Symposium on Operations Research*, 681-687, Kladovo, Serbia, 15. - 18. September, University of Belgrade - Faculty of Organizational Sciences.
- [123] Milenković, M., Stepanović, N., Glavić, D., Tubić, V., Ivković, I., & Trifunović, A. (2020). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of Environmental Management*, 258, Article ID 110007.
- [124] Mladenovic, M., & Abbas, M. (2012). A guide to effective adaptive traffic control systems. *Traffic Engineering & Control*, 53(2), 52-54.
- [125] Mladenovic M., Jolović D., & Glavić D. (2016). Policy implications for congestion pricing in the city of Belgrade. *Proceedings of the Second Serbian Road Congress*, Belgrade, Serbia, 9. - 10. June, The Road Association of Serbia "Via-Vita".
- [126] Mladenovic, M. N., Mangaroska, K., & Abbas, M. M. (2017). Decision support system for planning traffic operations assets. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(3), Article ID 05017001.
- [127] Mohamadabadi, H. S., Tichkowsky, G., & Kumar, A. (2009). Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles. *Energy*, 34(1), 112-125.
- [128] Mohamed, A. A. (1995). Evaluating the improvements in traffic operations at real-life toll plaza with electronic toll collection. M.S. thesis. University of Central Florida, Orlando.
- [129] Nilsson, A., Schuitema, G., Bergstad, C.J., Martinsson, J., & Thorson, M. (2016). The road to acceptance: Attitude change before and after the implementation of a congestion tax. *Journal of Environmental Psychology*, 46, 1-9.
- [130] Oberholzer-Gee, F., & Weck-Hannemann, H. (2002). Pricing road use: politico-economic and fairness considerations. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(5), 357-371.
- [131] Odeck, J., & Bråthen, S. (2002). Toll financing in Norway: The success, the failures and perspectives for the future. *Transport Policy*, 9(3), 253-260.
- [132] Odeck, J., & Kjerkeit, A. (2010). Evidence on users' attitudes towards road user charges—A cross-sectional survey of six Norwegian toll schemes. *Transport Policy*, 17(6), 349-358.
- [133] Oeltjenbruns, H., Kolarik, W. J., & Schnadt-Kirschner, R. (1995). Strategic planning in manufacturing systems – AHP application to an equipment replacement decision. *International Journal of Production Economics*, 38(2-3), 189-197.
- [134] Ozbay, K., Mudigonda, S., & Bartin, B. (2006). Microscopic simulation and calibration of an integrated freeway and toll plaza model. *Proceedings of the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., United States of America (USA), 22. - 26. January, 2006, Transportation Research Board (TRB).
- [135] Pahaut, S., & Sikow, C. (2006). History of thought and prospects for road pricing. *Transport Policy*, 13(2), 173-176.
- [136] Pai, T. Y., Hanaki, K., Ho, H. H., & Hsieh, C. M. (2007). Using grey system theory to evaluate transportation effects on air quality trends in Japan. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(3), 158-166.
- [137] Pasaoglu, G., Honselaar, M., & Thiel, C. (2012). Potential vehicle fleet CO<sub>2</sub> reductions and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe. *Energy Policy*, 40, 404-421.
- [138] Pérez-Martínez, P. J., Ming, D., Dell'Asin, G., & Monzón, A. (2011). Evaluation of the influence of toll systems on energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions: A case study of a Spanish highway. *Journal of King Saud University-Science*, 23(3), 301-310.
- [139] Persad, K., Walton, C. M., & Hussain, S. (2007). *Toll collection technology and best practices* (No. Product 0-5217-P1).
- [140] Pešić, D., Antić, B., Glavić, D., & Milenković, M. (2016). The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at unsignalized intersections - Models for predicting unsafe pedestrians behavior. *Safety Science*, 82, 1-8.

- [141] Pojani, D., & Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: beyond megacities. *Sustainability*, 7(6), 7784-7805.
- [142] Poon, N., & Dia, H. (2005). Evaluation of toll collection performance using traffic simulation. *Proceedings of the 27th Conference of Australian Institutes of Transport Research (CAITR)*, Brisbane, Queensland, Australia, 7. - 9. December, Monash University.
- [143] Preiss, P., Friedrich, R., & Klotz, V. (2008). *NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability-Deliverable n° 1.1 - RS 3a*. Report on the procedure and data to generate averaged/aggregated data, 38. Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy (IER) Department of Technology Assessment and Environment (TFU), University of Stuttgart.
- [144] Ragsdale, C. (2014). *Spreadsheet modeling and decision analysis: a practical introduction to business analytics*. Nelson Education.
- [145] Redding, R. T., & Junga, A. J. (1992). TPASS: dynamic, discrete-event simulation and animation of a Toll Plaza. *Proceedings of the 24th Conference on Winter simulation*, 1292-1295, Arlington, Virginia, United States of America (USA), 13. - 16. December, ACM Press.
- [146] Rentziou, A., Milioti, C., Gkritza, K., & Karlaftis, M. G. (2011). Urban road pricing: Modeling public acceptance. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(1), 56-64.
- [147] Reşitoğlu, İ. A., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17(1), 15-27.
- [148] Rienstra, S. A., Rietveld, P., & Verhoef, E. T. (1999). The social support for policy measures in passenger transport: A statistical analysis for the Netherlands. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 4(3), 181-200.
- [149] Rogers, M. G., & Bruen, M. P. (1996). Using ELECTRE to rank options within an environmental appraisal-Two case studies. *Civil Engineering Systems*, 13(3), 203-221.
- [150] Rosseel, Y. (2012) Lavaan: an R package for structural equation modelling. *Journal of Statistical Software*.
- [151] Rouhani, O. M. (2016). Next generations of road pricing: Social welfare enhancing. *Sustainability*, 8(3), 265.
- [152] Sagoff, M. (1988). *The economy of the earth: philosophy, law, and the environment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [153] Saka, A. A., Agboh, D. K., Ndiritu, S., & Glassco, R. A. (2001). Estimation of mobile emissions reduction from using electronic tolls. *Journal of Transportation Engineering*, 127(4), 327-333.
- [154] Schade, J., & Baum, M. (2007). Reactance or acceptance? Reactions towards the introduction of road pricing. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(1), 41-48.
- [155] Schade, J., & Schlag, B. (2003). Acceptability of urban transport pricing strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(1), 45-61.
- [156] Schlag, B., & Schade, J. (2000). Public acceptability of traffic demand management in Europe. *Traffic Engineering+ Control*, 41(8), 314-18.
- [157] Schuitema, G., & Steg, L. (2008). The role of revenue use in the acceptability of transport pricing policies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 11(3), 221-231.
- [158] Schuitema, G., Steg, L., & Forward, S. (2010). Explaining differences in acceptability before and acceptance after the implementation of a congestion charge in Stockholm. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(2), 99-109.
- [159] Schwartz, B. L. (1974). Queuing models with lane selection: a new class of problems. *Operations Research*, 22(2), 331-339.
- [160] Sharma, P., & Sharma, V. (2014). Electronic toll collection technologies: A state of art review. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 4(7), 621-625.
- [161] Shieh, W. Y., Lee, W. H., Tung, S. L., & Ho, C. D. (2005). A novel architecture for multilane-free-flow electronic-toll-collection systems in the millimeter-wave range. *IEEE transactions on Intelligent transportation systems*, 6(3), 294-301.

- [162] Shmueli, G., Patel, N. R., & Bruce, P. C. (2011). *Data mining for business intelligence: Concepts, techniques, and applications in Microsoft Office Excel with XLMiner*. John Wiley and Sons.
- [163] Song, G., Yu, L., & Zhang, X. (2008). Emission analysis at toll station area in Beijing with portable emission measurement system. *Transportation Research Record*, 2058(1), 106-114.
- [164] Sørensen, C. H., Isaksson, K., Macmillen, J., Åkerman, J., & Kressler, F. (2014). Strategies to manage barriers in policy formation and implementation of road pricing packages. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 60, 40-52.
- [165] Sorensen, P. A., & Taylor, B. D. (2005). *Review and synthesis of road-use metering and charging systems*. Report Commissioned by the Committee for the Study of the Long-Term Viability of Fuel Taxes for Transportation Finance, UCLA Institute of Transportation Studies.
- [166] Sridhar, V., & Nagendra, M. (2012). Smart card based toll gate automated system. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 1(5), 203-212.
- [167] Surendran, V., Vignesh, K. S., Baburaj, S., Vishnu, V. S., Krishnaveni, S. R., & Sowmya, K. S. (2016). RFID Based Automated Toll Collection System. *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security*, 6(1), 582-585.
- [168] Sze, N. N., Wong, S. C., & Lee, C. Y. (2014). The likelihood of achieving quantified road safety targets: A binary logistic regression model for possible factors. *Accident Analysis & Prevention*, 73, 242-251.
- [169] Taha, H. A. (2007). *Operations Research: An Introduction (8<sup>th</sup> edition)*. Pearson education, Inc.
- [170] Teodorović, D. (1985). Multicriteria ranking of air shuttle alternatives. *Transportation Research Part B: Methodological*, 19(1), 63-72.
- [171] Thomas, C. S. (2012). How green are electric vehicles?. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(7), 6053-6062.
- [172] Tutz, G., & Gertheiss, J. (2014). Rating scales as predictors - The old question of scale level and some answers. *Psychometrika*, 79(3), 357-376.
- [173] Uherek, E., Halenka, T., Borken-Kleefeld, J., Balkanski, Y., Berntsen, T., Borrego, C., ... & Melas, D. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4772-4816.
- [174] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2002). *Greenhouse Gases and Global Warming Potential Values*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, 16.
- [175] USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2019). *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2017*. (No. EPA 430-R-19-001).
- [176] Vats, S., Vats, G., Vaish, R., & Kumar, V. (2014). Selection of optimal electronic toll collection system for India: A subjective-fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 21, 444-452.
- [177] Verhoef, E. T., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (1997). The social feasibility of road pricing: a case study for the Randstad area. *Journal of Transport Economics and Policy*, 255-276.
- [178] Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S., & Tarrasón, L. (2009). Evolution of NO<sub>x</sub> emissions in Europe with focus on road transport control measures. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(4), 1503-1520.
- [179] Vrtic, M., Schuessler, N., Erath, A., & Axhausen, K. (2007). Design elements of road pricing schemes and their acceptability. *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington DC, United States of America (USA), 21. - 25. January, Transportation Research Board (TRB).
- [180] Wang, C. (2017). Study on Toll Plaza Design Based on M/M/1 Queue Theory. *Advances in Computer Science Research (ACSR)*, 61, 755-759.
- [181] Washington, S. P., & Guensler, R., (1994). *Carbon Monoxide Impacts of Automated Vehicle Identification Applied to Electronic Vehicle Tolling* (No. 297). Working Paper, Institute of Transportation Studies, University of California.
- [182] Weng, J., Wang, R., Wang, M., & Rong, J. (2015). Fuel Consumption and Vehicle Emission Models for Evaluating Environmental Impacts of the ETC System. *Sustainability*, 7(7), 8934-8949.

- [183] Winslott-Hiselius, L., Brundell-Freij, K., Vagland, Å., & Byström, C. (2009). The development of public attitudes towards the Stockholm congestion trial. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(3), 269-282.
- [184] Wong, R. C. P., Szeto, W. Y., Yang, L., Li, Y. C., & Wong, S. C. (2018). Public transport policy measures for improving elderly mobility. *Transport Policy*, 63, 73-79.
- [185] Yan, Y., Ye, Z., Wang, C., & Zhu, J. (2017). Vehicle Emission Comparisons along Electronic and Manual Toll Collection Lanes. *Proceedings of the CICTP 2017: Transportation Reform and Change – Equity, Inclusiveness, Sharing, and Innovation*, 3042-3058, Shanghai, China, 7. - 9. July, American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [186] Yang, H., & Bell, M. G. (1997). Traffic restraint, road pricing and network equilibrium. *Transportation Research Part B: Methodological*, 31(4), 303-314.
- [187] Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(8), 717-729.
- [188] Zarrillo, M. L., Radwan, A. E., & Al-Deek, H. M. (1997). Modeling traffic operations at electronic toll collection and traffic management systems. *Computers & Industrial Engineering*, 33(3-4), 857-860.
- [189] Zarrillo, M. L., Radwan, A. E., & Dowd, J. H. (2002). Toll network capacity calculator: Operations management and assessment tool for toll network operators. *Transportation Research Record*, 1781(1), 49-55.
- [190] Zarrillo, M. L., Radwan, A. E., & Schmitt, D. (2004). Modeling Traffic at Toll Collection Facilities by Applying Vehicle Properties, Driver Perception–Reaction Time and Stop–Time to the Basic Equations of Motion from Car-Following Theory. *Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., United States of America (USA), 11. - 15. January, Transportation Research Board (TRB).
- [191] Zarrillo, M. L., & Radwan, A. E. (2009). Methodology SHAKER and the capacity analysis of five toll plazas. *Journal of Transportation Engineering*, 135(3), 83-93.
- [192] Zervas, E. (2010). Analysis of the CO<sub>2</sub> emissions and of the other characteristics of the European market of new passenger cars. 1. Analysis of general data and analysis per country. *Energy Policy*, 38(10), 5413-5425.
- [193] Zheng, Z., Liu, Z., Liu, C., & Shiwakoti, N. (2014). Understanding public response to a congestion charge: A random-effects ordered logit approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 70, 117-134.
- [194] Zmud, J., & Arce, C. (2008). *Compilation of Public Opinion Data on Tolls and Road Pricing. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Synthesis of Highway Practice 377*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [195] Zubaryeva, A., Thiel, C., Zaccarelli, N., Barbone, E., & Mercier, A. (2012). Spatial multi-criteria assessment of potential lead markets for electrified vehicles in Europe. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(9), 1477-1489.

## Биографија аутора

Марина Миленковић рођена је 29.04.1989. године у Прокупљу. Након завршетка средње школе „Гимназија Куршумлија“, у Куршумлији, као носилац Вукове дипломе, 2008. године уписала је Саобраћајни факултет у Београду, Одсек за друмски и градски саобраћај и транспорт. Дипломирала је 2012. године, са просечном оценом у току студирања 9,82 (девет осамдесет два) и са укупно 240 ЕСПБ бодова стекла академски назив „Дипломирани инжењер саобраћаја“. Након завршених основних академских студија уписала је мастер академске студије 2012. године на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету, на Одсеку за друмски и градски саобраћај и транспорт. Мастер академске студије завршила је 2014. године, са просечном оценом 10 (десет) и са укупно 300 ЕСПБ бодова стекла академски назив „Мастер инжењер саобраћаја“. Мастер рад, под називом „Модели предвиђања саобраћајних незгода за ванградске двотрачне путеве“, одбранила је са оценом 10 (десет). У периоду 2010-2013. година, на Саобраћајном факултету награђивана је за најбољи успех у првој, трећој и четвртој години основних академских студија, док је 2013. године изабрана за студента генерације на основним академским студијама. У периоду 2011-2013. година била је добитник стипендије „Доситеја“, Министарства омладине и спорта Републике Србије.

Докторске академске студије уписала је школске 2014/2015. године на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету, студијски програм Саобраћај, где је положила све испите са просечном оценом 10 (десет) и испунила све обавезе предвиђене планом и програмом докторских академских студија.

Од 2013. године запослена је на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету, као сарадник у настави за ужу научну област „Експлоатација и управљање путевима“. У звање асистента на истој ужој научној области изабрана је 2015. године. Ангажована је у настави на вежбама на основним академским студијама из следећих предмета: "Базе података у саобраћајном инжењерству", "Основе друмских саобраћајница", "Експлоатација и управљање путевима" и "Трошкови корисника на мрежи путева и улица". На мастер академским студијама ангажована је на часовима вежби из предмета "Комерцијална експлоатација и финансирање путева". У школској 2016/2017. години била је ангажована и у настави на Војној академији у Београду на предмету „Саобраћајни токови и капацитет друмских саобраћајница“.

Као аутор или коаутор учествовала је у изради 45 научних и стручних радова, од којих је осам објављено у међународним часописима са SCI листе у категорији М20, десет радова у водећем часопису националног значаја у категорији М51, двадесет један рад саопштен на скуповима међународног значаја у категорији М33 и шест радова саопштених на скуповима националног значаја у категорији М63. Од 2016. године, члан је уредништва научно-стручног часописа „Пут и саобраћај“ Српског друштва за путеве „VIA-VITA“.

Током рада на Саобраћајном факултету учествовала је у бројним пројектима, од којих се посебно истичу пројекти Министарства грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре “Утврђивање утицаја карактеристика пута на број саобраћајних незгода за путну мрежу Србије“ и “Унапређење нивоа безбедности саобраћаја на аутопутевима”, као и пројекат који је финансиран од стране ЈП „Путеви Србије, “Стратегија развоја система за наплату путарине на аутопутевима Републике Србије”. Од 2018. године ангажована је, као млади истраживач, на пројекту: "Планирање и управљање саобраћајем и комуникацијама применом метода рачунарске интелигенције“ (ев. број ТР 36002), који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.



## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора      Марина Миленковић  
Број индекса                DS14D019

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

### **МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора	Марина Миленковић
Број индекса	DS14D019
Студијски програм	Саобраћај
Наслов рада	МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ
Ментор	др Драженко Главић, Ванредни професор Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

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

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

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Изјава о коришћењу

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

### **МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИЛИКОМ ИЗБОРА СИСТЕМА ЗА НАПЛАТУ ПУТАРИНЕ**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

**Потпис аутора**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода