

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Andrius BARAUSKAS

MIESTO APLINKKELIŲ POVEIKIO
TRANSPORTO SRAUTŲ PASISKIRSTYMU
GATVIŲ TINKLE VERTINIMAS IR
MODELIAVIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
TRANSPORTO INŽINERIJA (T 003)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNICA 2019

Disertacija rengta 2014–2019 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – T 003).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Transporto inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo taryba:

Pirmininkas

prof. dr. Olegas PRENTKOVSKIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, transporto inžinerija – T 003).

Nariai:

dr. Dago ANTOV (Talino technologijos universitetas, Estija, transporto inžinerija – T 003),

prof. dr. Romas BARONAS (Vilniaus universitetas, informatika – N 009),

doc. dr. Artūras KERŠYS (Kauno technologijos universitetas, transporto inžinerija – T 003),

prof. dr. Audrius VAITKUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, statybos inžinerija – T 002).

Disertacija bus ginama viešame Transporto inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2019 m. spalio 3 d. 14 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.

Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.

Tel.: (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112; el. paštas doktor@vgtu.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2019 m. rugsėjo 2 d.

Disertaciją galima peržiūrėti VGTU talpykloje <http://dspace.vgtu.lt> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva), Klaipėdos universiteto (H. Manto g. 84 K5, LT-92294 Klaipėda, Lietuva), Vytauto Didžiojo universiteto (K. Donelaičio g. 52-215 kab., LT-44244 Kaunas, Lietuva), Kauno technologijos universiteto (K. Donelaičio g. 20, LT-44239 Kaunas, Lietuva) bibliotekose.

VGTU leidyklos TECHNIKA 2019-036-M mokslo literatūros knyga

ISBN 978-609-476-194-2

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2019

© Andrius Barauskas, 2019

andrius.barauskas@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Andrius BARAUSKAS

ASSESSMENT AND MODELLING OF
URBAN BYPASSES' INFLUENCE ON
TRANSPORT FLOWS DISTRIBUTION IN
STREET NETWORK

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES
TRANSPORT ENGINEERING (T 003)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2019

The doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2014–2019.

Supervisor

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – T 003).

The Dissertation Defence Council of Scientific Field of Transport Engineering of Vilnius Gediminas Technical University:

Chairman

Prof. Dr Olegas PRENTKOVKIS (Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering – T 003).

Members:

Dr Dago ANTOV (Tallinn University of Technology, Estonia, Transport Engineering – T 003),

Prof. Dr Romas BARONAS (Vilnius University, Informatics – N 009),

Assoc. Prof. Dr Artūras KERŠYS (Kaunas University of Technology, Transport Engineering – T 003),

Prof. Dr Audrius VAITKUS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of Transport Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **2 p. m. on 3 October 2019**.

Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.

Tel.: +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112; e-mail: doktor@vgtu.lt

A notification on the intended defending of the dissertation was sent on 2 September 2019.

A copy of the doctoral dissertation is available for review at VGTU repository <http://dspace.vgtu.lt> and at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania), at the library of Klaipėda University (H. Manto st. 84 K5, LT-92294 Klaipėda, Lithuania), at the library of Vytautas Magnus University (K. Donelaičio st. 52-215 rm., LT-44244 Kaunas, Lithuania) and at the library of Kaunas University of Technology (K. Donelaičio st. 20, LT-44239 Kaunas, Lithuania).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjama aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo mieste problema. Pagrindinis darbo objektas – aplinkkelių ir greito eismo gatvių padėties poveikis transporto srautams gatvių tinkle. Panaudojant transporto srautų modeliavimą sukurta aplinkkelio ir greito eismo gatvės vietos parinkimo metodika, nereikalaujanti sudėtingo, daug laiko ir lėšų atimančio viso miesto transporto srautų modeliavimo. Metodika yra pritaikyta dviem didžiausioms Lietuvos miestams – Vilniui ir Kaunui. Darbo tikslas – sudaryti aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką, panaudojant transporto srautų modeliavimą, ją pritaikyti praktikoje, ir siekti sumažinti miesto gyventojų patiriamas laiko sąnaudas susisiekimui.

Disertaciją sudaro įvadas, 3 skyriai, bendrosios išvados, literatūros sąrašas, publikacijų sąrašas ir 11 priedų.

Įvade trumpai aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimo objektas, formuluojamas darbo tikslas ir uždaviniai, aprašoma mokslinis darbo naujumas, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos autoriaus paskelbtos publikacijos disertacijos tema, pranešimai konferencijose ir pateikiama disertacijos struktūra.

Pirmame skyriuje pateikiama literatūros apžvalga nagrinėjama tematika. Atliekama mokslinių darbų analizė. Taip pat įvertinami Lietuvos Respublikos bei Europos Sąjungos dokumentai, formuojantys transporto politiką.

Antrajame skyriuje pristatomas sukurtas idealizuoto miesto transporto modelis. Darbo metu yra sumodeliuota 90 skirtingų aplinkkelių ir (ar) greito eismo gatvių įrengimo padėties variantų. Apibendrinus gautus modeliavimo rezultatus ir atlikus jų analizę, sudaryta miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika.

Trečiajame skyriuje aptarti pagrindiniai transporto tyrimų būdai, – išsiskiriantys prieinamumu ir minimalia kaina bei užtikrinantys pakankamą aprėptį ir tikslumą. Išnagrinėtos dviejų didžiausių Lietuvos miestų, – Vilniaus ir Kauno, susisiekimo sistemos, nustatyti jų pagrindiniai parametrai bei pritaikyta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika.

Disertacijos tema paskelbtos penkios mokslinės publikacijos, iš kurių keturios referuojamuose duomenų bazės Clarivate Analytics (ISI Web of Science) recenzuojamuose mokslo žurnaluose. Atliktų tyrimų rezultatai paskelbti dvejose Lietuvos ir vienoje užsienio konferencijose.

Abstract

The thesis examines the problem of selecting locations for bypasses and fast speed streets in urban areas. The work is focussed on the impact of the bypass and fast speed street locations on traffic flows in a street network. A methodology for selecting such locations has been developed by means of a traffic flow modelling that does not require a complicated modelling exercise that includes all traffic flows in a city and can be time consuming and costly. The methodology has been adapted to two biggest Lithuanian cities: Vilnius and Kaunas. The purpose of the work is to design the methodology for selecting locations for bypasses and fast speed streets by means of traffic flow modelling and to put it into practice with the aim to shorten travel times for residents of the city.

The thesis consists of the introduction, three chapters, the general conclusions, the list of references, the list of author's publications on the topic of the dissertation, summary in English and eleven annexes.

The introduction contains a brief discussion of the problem under investigation and relevance of the work, a description of the object of investigation, a statement of the objective and tasks of the thesis, a description of scientific novelty of the work, and the statements being defended. The author's publications and reports delivered at conferences as well as the structure of the thesis are presented at the end of the introduction.

In Chapter 1, an overview of the literature on the subject is presented and relevant research works as well as national and European Union's documents on transport policies are analysed.

A transport model developed for an ideal city is presented in Chapter 2. 90 variants for locations of bypasses and (or) fast speed streets were modelled. The methodology for selecting locations for bypasses and fast speed streets has been developed upon analysis and summarisation of the modelling results.

Chapter 3 deals with the main transport research methods that are affordable, can be employed at minimal cost and can ensure sufficient coverage and accuracy. Based on an analysis of the two biggest Lithuanian cities, – Vilnius' and Kaunas' transport systems, their main parameters have been determined and the methodology for selecting locations for bypasses and fast speed streets has been applied to them.

Out of five scientific publications on the subject of the thesis, four are in the journals referred to by Clarivate Analytics (ISI Web of Science). Results of the research have been reported at two conferences held in Lithuania and one conference abroad.

Žymėjimai

Terminai ir apibrėžimai

Aplinkkelis – kelio arba greitkelio dalis vedanti aplink gyvenvietę, miestą. Skirtas nukreipti pravažiuojančių transporto srautą nuo gyvenamųjų vietų, kuriose didelis eismo intensyvumas gali sutrukdyti gyvenvietės susisiekimą ar kelti pavojų aplinkai ar kitiems eismo dalyviams.

Automobilizacijos lygis – automobilių kiekis tenkantis 1000 gyventojų.

Bendrasis planas – kompleksinio teritorijų planavimo dokumentas, kuriame pagal teritorijų planavimo lygmenį ir uždavinius nustatoma planuojamos teritorijos erdvinė struktūra ir teritorijos naudojimo privalomosios nuostatos ir reikalavimai bei apsaugos principai.

Centrinė miesto dalis – miesto dalis, kurios 1 km² ploto gardelėse gyventojų skaičius yra ne mažesnis nei 1500.

Centroidas – geometrinės figūros sunkio centras.

Distance Matrix API – Google kompanijos sukurta paslauga, leidžianti gauti duomenis apie kelionės numatomą atstumą ir laiką tarp nurodytų taškų nurodytu laiku.

Eismo intensyvumas – tai transporto priemonių skaičius per parą, savaitę, metus, priklausantis nuo daugelio priežasčių (metų sezono, meteorologinių sąlygų, savaitės dienų, paros meto, ekonomikos situacijos ir pan.).

Ekspertas – mokslo, meno ar kitų sričių specialistas, kviečiamas atsakyti į klausimus, reikalaujančius specialių žinių.

Ekspertinis vertinimas – apibendrinta ekspertų grupės nuomonė, kurios gavimui pritaikomos ekspertų žinios, patirtis ir intuicija.

Gatvės kategorija – klasifikuota gatvė, kurios kategorija nustatoma remiantis keturiais kriterijais: gatvės struktūrine reikšme; jos transporto apkrovimu (esamu ir prognozuojamu srautu); gatvės erdvės santykiu su gretimu apstatymu; gryniosios susisiekimo funkcijos santykiu su pėsčiųjų (dviračių) susisiekimo funkcija.

Gatvių tinklo tipas – geometrinės tinklo savybės, turinčios bruožų, kuriuos galima suklasifikuoti. Išskiriami 4 gatvių tinklo tipai: spindulinis ir spindulinis žiedinis, stačiakampis ir stačiakampis įžambinis, mišrus bei unikalus.

Gatvės važiuojamosios dalies laidumas – tai maksimalus transporto priemonių skaičius galintis pravažiuoti per 1 val. viena kryptimi tiriamuoju pjūviu, esant normalioms gatvių eksploataavimo sąlygoms ir užtikrinant visų transporto rūšių ir pėsčiųjų eismo saugumą.

Greito eismo gatvė – A kategorijos gatvė, kurios pagrindinė paskirtis yra ilgi ir pastovūs ryšiai bei ryšiai su užmiesčio svarbiausiais keliais, tranzitinis eismas.

Kelionė – vykimas tam tikru tikslu (į darbą, parduotuvę, teatrą ir pan.).

Metodika – visuma būdų bei taisyklių kokiam nors darbui ar veiksmui atlikti.

Mobilumas – gyventojų judrumas, savybė dažniau ar rečiau, toliau ar arčiau eiti, važiuoti, keliauti už savo buto, namo kiemo, miesto, rajono ar šalies ribų.

Santykinis transportinio rajono pasiekiamumas (pasiekiamumo indeksas) – dydis, parodantis transportinio rajono gatvių tinklo išvystymą priimant ir skirstant transporto srautus kitų transportinių zonų atžvilgiu.

Sistema – tam tikra tvarka sujungtų komponentų visuma.

Susisiekimas – eismo įvairiomis transporto priemonėmis buvimas krašte ar vietovėje.

Susisiekimo sistema – tai pėsčiųjų, keleivių ir transporto priemonių bei jų eismui reikalingos techninės infrastruktūros, informacinių ir eismą reguliuojančių priemonių visuma.

Teritorijų planavimas – pagal Teritorijų planavimo ir kitų įstatymų, taip pat jų įgyvendinamųjų teisės aktų reikalavimus vykdomas procesas, kuriuo siekiama darnaus teritorijų vystymo ir kuris apima žemės naudojimo prioritetų, aplinkosaugos, visuomenės sveikatos saugos, paveldosaugos ir kitų priemonių nustatymą, gyvenamųjų vietovių, gamybos, inžinerinės ir socialinės infrastruktūros sistemų kūrimą, sąlygų gyventojų užimtumui reguliuoti ir veiklai plėtoti sudarymą, visuomenės ir privačių interesų suderinimą.

Transporto grūstis – gatvės ar kelio ruožas, kuriuo dėl transporto priemonių susigrūdimo sunku važiuoti (grūstis gali susidaryti dėl didelio eismo intensyvumo, gatvės ar kelio susiaurėjimo, avarijos ar pan.).

Transporto modelis – vienos ar kelių transporto rūšių matematinis judėjimo atvaizdavimas, siekiant atkartoti realybėje vykstančius eismo procesus.

Transportinė zona – teritorija, kurioje vyrauja tam tikri socioekonominiai parametrai.

Tranzitinis srautas – transporto priemonių judėjimas iš vienos vietovės į kitą kertant tarpinę vietovę.

Urbanizuotos teritorijos – pastatais užstatytos miestų, miestelių, kompaktiškai užstatytų kaimų teritorijos su inžinerinių komunikacijų koridoriais ir neužstatytais bendrai naudoti pritaikytais želdynais, viešosiomis erdvėmis ir valstybiniais miškais miestuose.

Santrumpos

BP – bendrasis planas;

BVP – bendrasis vidaus produktas;

DSRC – trumpo nuotolio komunikacijos prietaisas;

EK – Europos Komisija;

ES – Europos Sąjunga;

GDR10LT – Lietuvos Respublikos teritorijos georeferencinių erdvinį duomenų rinkinys masteliu M 1:10 000;

GIS – geografinės informacinės sistemos;

Google Maps API – Google kompanijos sukurtų taikomųjų programų rinkinys, leidžiantis naudotis Google kompanijos teikiamomis paslaugomis;

GPS – globali padėties nustatymo sistema;

I – miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius;

JTO – Jungtinių Tautų organizacija;

KET – kelių eismo taisyklės;

LSD – Lietuvos statistikos departamentas;

P – greito eismo gatvės ar aplinkkelio santykinė padėtis miesto geometrinio centro ir miesto ribos atžvilgiu;

PAV – poveikio aplinkai vertinimas;

PI – pasiekiamumo indeksas;

R – apskritimo spindulys;

RFID – radijo dažnių identifikacinis prietaisas;

SI – susisiekimo infrastruktūra;

SS – susisiekimo sistema;

ST – susisiekimo tinklas;

SUMO – atviro kodo transporto srautų modeliavimo programinis paketas;

T – procentinė tranzitinio transporto srauto dalis nuo bendro srauto miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose;

TZ – transportinė zona.



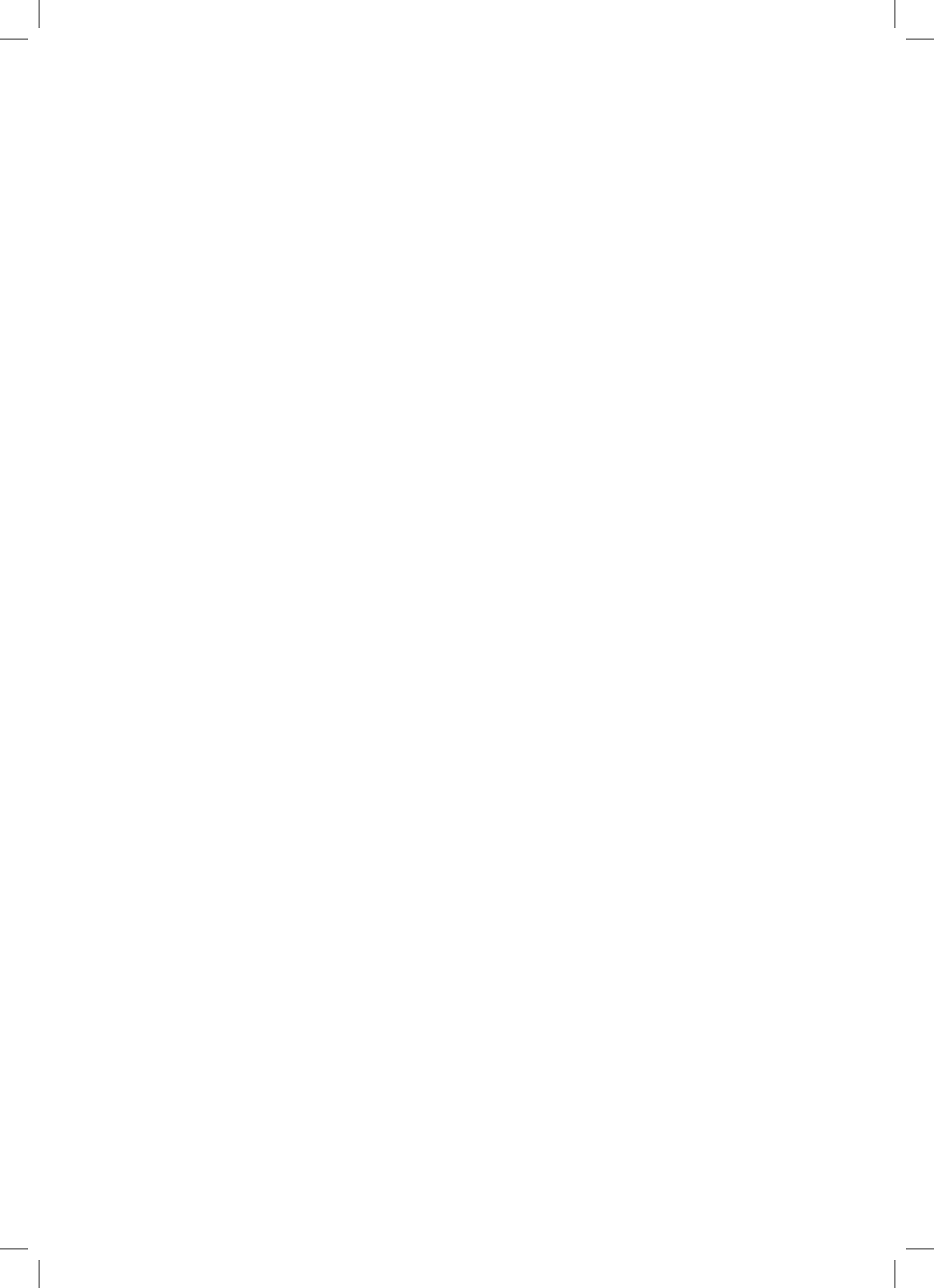
Turinys

IVADAS.....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	2
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai.....	3
Tyrimų metodika.....	3
Darbo mokslinis naujumas.....	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė.....	4
Ginamieji teiginiai.....	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	5
1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ SUSISIEKIMO SISTEMOS PROBLEMOMS SPRĘSTI, ANALIZĖ.....	7
1.1. Šiandieninė miesto susisiekimo sistemos problematika ir poveikis darniam miesto vystymuisi.....	7
1.1.1. Miesto susisiekimo sistemos problemos ir jų atsiradimo priežastys.....	9
1.1.2. Automobilizacijos lygio kitimas Lietuvoje bei Europoje.....	12
1.2. Transporto politika Lietuvoje bei Europoje.....	14
1.3. Susisiekimo sistemos problemų sprendimo priemonės.....	15
1.4. Susisiekimo sistemos problemų sprendimo priemonių priėmimo metodai.....	20

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas	25
2. MIESTO APLINKKELIŲ IR GREITO EISMO GATVIŲ VIETOS PARINKIMO METODIKOS SUDARYMAS	27
2.1. Idealizuoto miesto transporto modelio kūrimas	27
2.2. Pagrindinių parametų metodikos sudarymui nustatymas.....	29
2.2.1. Idealizuotas miestas	31
2.2.2. Gatvių tinklo struktūra	32
2.2.3. Transporto modelis	33
2.2.4. Transporto modelio patikimumas	40
2.3. Modeliavimo rezultatų analizė bei apibendrinimas	42
2.3.1. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 6.....	43
2.3.2. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 3.....	46
2.3.3. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 2.....	48
2.4. Aplinkkelio ir greito eismo gatvės vietos parinkimo metodika	50
2.5. Antrojo skyriaus išvados.....	58
3. MIESTO SUSISIEKIMO SISTEMOS TYRIMAI IR ANALIZĖ.....	59
3.1. Pagrindiniai transporto tyrimų būdai	59
3.2. Miesto gyventojų tankis ir darbo vietų tankis	63
3.3. Miesto centrinės dalies nustatymas	64
3.4. Miesto gyventojų atliekamų kelionių vidutinės trukmės	65
3.5. Gatvių tinklo pagrindiniai parametrai.....	66
3.6. Susisiekimo sistemos tyrimai ir jų rezultatai.....	68
3.6.1. Vilniaus miesto susisiekimo sistema	68
3.6.2. Aplinkkelių vietos parinkimo metodikos pritaikymas Vilniaus miestui	80
3.6.3. Kauno miesto susisiekimo sistema.....	86
3.6.4. Aplinkkelių vietos parinkimo metodikos pritaikymas Kauno miestui.....	95
3.7. Trečiojo skyriaus išvados.....	99
BENDROSIOS IŠVADOS	101
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	103
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS..	113
SUMMARY IN ENGLISH.....	115
PRIEDAI¹	131
A priedas. Idealizuoto miesto transportinių modelių rezultatai.....	133

¹ Priedai pateikiami pridėje kompaktinėje plokštelėje.

B priedas. Modeliavimo programos bendrųjų modelio atvaizdavimo parametru programos tekstas	135
C priedas. Gatvių tinklo pagrindinių parametru aprašymo programos teksto ištrauka	136
D priedas. Atsitiktinio transporto priemonių srauto generavimo programos teksto ištrauka	138
E priedas. Tranzitinio transporto priemonių srauto aprašymo programos tekstas	139
F priedas. Transporto priemonių judėjimo maršrutų programos teksto ištrauka	141
G priedas. Vilniaus miesto transportinių rajonų pasiekiamumo indeksai	143
H priedas. Kauno miesto transportinių rajonų pasiekiamumo indeksai	144
I priedas. Autoriaus sąžiningumo deklaracija	145
J priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijoje skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje	146
K priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos	154



Contents

INTRODUCTION.....	1
Problem formulation	1
Relevance of the thesis.....	2
The object of the thesis.....	2
The aim of the thesis	3
The tasks of the thesis	3
The research methodology.....	3
Scientific novelty of the thesis.....	3
Practical value of the research findings.....	4
Defended statements	5
Approval of the research findings.....	5
The structure of the thesis.....	5
1. ANALYSIS OF RESEARCH WORKS ADDRESSING PROBLEMS OF THE TRANSPORT SYSTEM.....	7
1.1. Issues of modern urban transport systems and their impact on sustainable urban development.....	7
1.1.1. Issues of modern urban transport systems and their impact on sustainable urban development.....	9
1.1.2. Motorisation dynamics in Lithuania and Europe	12
1.2. Motorisation dynamics in Lithuania and Europe.....	14
1.3. Means of resolving transport system issues	15

1.4. Means of resolving transport system issues	20
1.5. Conclusions of the first chapter and formulation of the tasks of the thesis	25
2. DEVELOPING THE METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF CITY BYPASS AND FAST SPEED STREET LOCATIONS	27
2.1. Developing a transport model for an ideal city	27
2.2. Developing a transport model for an ideal city	29
2.2.1. Ideal city.....	31
2.2.2. Street network structure.....	32
2.2.3. Transport model.....	33
2.2.4. Validation of a transport model	40
2.3. Analysis and summarisation of modelling results	42
2.3.1. Modelling results when number of main entrances to and exits from the city – 6	43
2.3.2. Modelling results when number of main entrances to and exits from the city – 3	46
2.3.3. Modelling results when number of main entrances to and exits from the city – 2	48
2.4. Methodology for selecting locations for bypasses and fast speed streets	50
2.5. Conclusions of the second chapter	58
3. INVESTIGATIONS AND ANALYSIS OF URBAN TRANSPORT SYSTEMS	59
3.1. Main transport research methods.....	59
3.2. Urban population density and job density.....	63
3.3. Determining the central part of a city	64
3.4. Average travel times in a city.....	65
3.5. Main parameters of a street network	66
3.6. Transport system investigations and their results.....	68
3.6.1. Transport system of the Vilnius city	68
3.6.2. Adaptation of the methodology for selecting bypass locations to the Vilnius city	80
3.6.3. Transport system of the Kaunas city	86
3.6.4. Adaptation of the methodology for selecting bypass locations to the Kaunas city	95
3.7. Conclusions of the third chapter.....	99
GENERAL CONCLUSIONS	101
REFERENCES	103
THE LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	113
SUMMARY IN ENGLISH.....	115

ANNEXES ¹	131
Annex A. Results of idealised city transport models.....	133
Annex B. Text of the program for the general model presentation parameters of the modelling software	135
Annex C. Extract from the text of the program of the discription of the main parameters of the street network.....	136
Annex D. Extract from the text of the program for the accidental vehicle flow generation.....	138
Annex E. Text of the program for the discription of the transit vehicle flow	139
Annex F. Extract from the text from the program for the vehicle movement routes	141
Annex G. Vilnius city traffic analysis zones‘ relative accessibility index.....	143
Annex H. Kaunas city traffic analysis zones‘ relative accessibility index.....	144
Annex I. Declaration of academic integrity	145
Annex J. The co-authors‘ s agreements to present publications material in the doctoral dissertation defense.....	146
Annex K. Copies of scientific publications by the author on the top of the dissertation	154

¹ The annexes are supplied in the enclosed compact disc.



Įvadas

Problemos formulavimas

Viena didžiausių ir aktualiausių didžiųjų Lietuvos ir pasaulio miestų problemų yra transporto grūstys. Grūstys kaip problema įvardyta jau prieš 50 metų, nuo tada grūstys tik didėjo ir šiai dienai ši problema yra ypač aktuali. Per pastaruosius dešimtmečius automobilizacijos lygis augo sparčiau, nei investicijos į susisiekimo sistemos (toliau – SS) infrastruktūros ir organizavimo plėtrą bei jos kokybinio lygio užtikrinimą.

Pagrindines SS problemas tiesiogiai ar netiesiogiai lemia grūstys. Viena iš didžiausių poveikį miesto SS turinčių priemonių – miesto aplinkkelių diegimas. Vienas ar keli aplinkkeliai neabejotinai pagerina miesto SS kokybę, tačiau daugiausiai naudos pasiekama suformuojant aplinkkelių žiedą, juosiantį visą miestą. Tokia aplinkkelių sistema nukreipia tranzitinį transporto srautą nuo miesto bei decentralizuoja motorinių transporto priemonių eismą (Juškevičius 2013).

Aplinkkelių vietos parinkimo kriterijai iki šiol nėra aiškiai pagrįsti, o kartu ir nežinomas gaunamos naudos dydis kol neįgyvendintas projektas. Parenkant aplinkkelio ar greito eismo gatvės vietą įprastai einama lengviausiu keliu – pasirenkama teritoriškai „pigiausia vieta“. Patikimesnis būdas yra miesto transporto modelio sukūrimas ir naujo aplinkkelio ar greito eismo gatvės modeliavimas. Jei

pirmas būdas greitas ir pigus, tai antrasis įprastai užtrunka ilgą laiko tarpą bei reikalauja didelių investicijų. Todėl siekiant sutaupyti laiko ir piniginius išteklius siūloma pasinaudoti aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika, pagrįsta transporto srautų modeliavimu.

Nemaža dalis Europos miestų turi įsidiegti ar diegiasi aplinkkelių ir (ar) greito eismo gatvių sistemas, o neturintys neišvengiamai jas įsidiegs. Naujoji miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika leis minimaliomis sąnaudomis nustatyti racionalią jų padėtį bei prognozuoti būsimą jų naudą SS.

Darbo aktualumas

Aukštas automobilizacijos lygis – viena iš pagrindinių transporto grūsčių miestuose priežasčių. Grūstyse prarandamas ne tik laikas, bet ir neigiamai veikiama ekonominė, socialinė aplinka, žmonių sveikata bei supanti ekologinė aplinka.

Aplinkkelių ir greito eismo gatvių sistemos formavimas – vienas iš svarbiausių miesto SS tobulinimo uždavinių. Tinkamas jų įgyvendinimas gali ženkliai pagerinti tiek išorinę, tiek vidinę miesto SS, teikti ekonominę, socialinę, aplinkosauginę ir kitokią naudą.

Esami aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodai – ekspercinis vertinimas bei transporto srautų modeliavimas turi savų privalumų ir trūkumų. Tačiau nei vienas iš jų negali pateikti patikimų rezultatų santykinai greitai ir minimaliomis išlaidomis. Parengta naujoji miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika būtent tuo ir pasižymi bei neturi atitikčių Lietuvoje bei užsienyje.

Rengiamo darbo aktualumą galima pagrįsti ir EK patvirtintais dokumentais – Žaliaja knyga (EC 2007) bei Baltąja knyga (EC 2011), kuriose išsakytas siekis sumažinti transporto grūstis, transporto neigiamą poveikį aplinkai bei sumažinti žuvusiųjų bei sužeistųjų skaičių keliuose.

Lietuvos Respublikos teritorijos bendrajame plane (2002) buvo numatyta įdiegti apie 30 aplinkkelių, iš kurių įgyvendinta tik apie 30 %.

Tyrimų objektas

Darbo tyrimų objektas – aplinkkelių ir greito eismo gatvių įrengimo padėties poveikis transporto srautų pasiskirstymui miesto gatvių tinkle.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – sudaryti miesto aplinkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką, panaudojant transporto srautų modeliavimą, siekiant sumažinti miesto gyventojų atliekamų kelionių laiko sąnaudas.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti miesto SS laidumo problemų sprendimo būdus ir metodus.
2. Atrinkti ir įvertinti veiksnius, reikalingus aplinkkelio ir greito eismo gatvės vietos parinkimui.
3. Sudaryti veiksmų sąrašą bei nustatyti jų eiliškumą miesto aplinkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimui.
4. Atlikti Vilniaus ir Kauno miestų SS analizę bei praktiškai pritaikyti miesto aplinkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką gatvių tinklui.

Tyrimų metodika

Darbe panaudoti šie tyrimo metodai: mokslinė teorinė analizė, natūriniai transporto srautų tyrimai, transporto srautų modeliavimas, erdvinė analizė panaudojant GIS.

Naudojant mokslinės teorinės analizės metodą atlikta šiuolaikinės mokslinės literatūros, EK leidinių ir kitų teisinių šaltinių apžvalga.

Taikant transporto srautų modeliavimą sudaryta aplinkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika skirtingų dydžių miestams bei praktiškai pritaikyta Vilniui ir Kaunui.

Naudojant duomenų analizės metodą surinkti ir nustatyti pagrindiniai gatvių tinklo parametrai dviem didžiausiems Lietuvos miestams – Vilniui ir Kaunui.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie transporto inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurta miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika, kuri paremta iš anksto atliktų variantinių transporto srautų modeliavimo rezultatais, siekiant sumažinti miesto gyventojų patiriamas kelionių laiko sąnaudas.
2. Taikant miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką dviem didžiausiems Lietuvos miestams – Vilniui ir Kaunui nustatytos racionalios aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos, kuriose įgyvendinus sprendinius būtų sumažinamos miesto gyventojų atliekamų kelionių laiko sąnaudos.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Disertacijoje pateikta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika, kuri gali būti praktiškai taikoma planuojant teritorijas rengiant bendruosius ar specialiuosius planus, taip pat formuojant transporto vystymo strategijas. Sukurta metodika, leidžia fundamentalias žinias turintiems transporto srautų modeliavimo specialistams nenaudojant brangaus ir daug laiko reikalaujančio miesto transporto sistemos modeliavimo nustatyti potencialias aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietas mieste, kurios duotų didžiausią naudą SS, t. y. minimizuotų miesto gyventojų patiriamas transporto priemonėmis atliekamų kelionių laiko sąnaudas. Sukurta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika tinkama Lietuvos didmiesčiams ir kitiems panašaus dydžio užsienio šalių miestams, kurių centrinėse miesto dalyse gyventojų skaičius kinta tarp 50 tūkst. ir 500 tūkst.

Baltojoje knygoje numatytas aplinkkelių tiesimas, kuris Lietuvoje perkeltas į Nacionalinę susisiekimo plėtros 2014–2022 metų programą (Nacionalinė susisiekimo plėtros... 2013) ir įtrauktas į I kelių transporto plėtros prioritetą – „Valstybinės ir vietinės reikšmės kelių tinklo infrastruktūros modernizavimas ir plėtra“. Šiame prioritete išsikeltas uždavinys – „Diegti aplinką tausojančias priemones valstybinės reikšmės keliuose“, o tam pasiekti numatyta priemonė – „Miestų ir miestelių aplinkkelių tiesimas“. Sukurta miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika leidžia nustatyti racionaliausias aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietas: jų padėtį gatvių tinklo ir kelių tinklo atžvilgiu.

Aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika pritaikyta dviem didžiausiems Lietuvos miestams – Vilniui ir Kaunui.

Ginamieji teiginiai

1. Variantinis modeliavimas parodė, kad esant pagrindinių miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiui ≥ 6 aplinkkelių ar greito eismo gatvių poveikis kelionių laiko sąnaudoms – teigiamas, t. y. bendras kelionės laikas trumpėja.
2. Didžiausią teigiamą poveikį miesto SS turi greito eismo gatvių tinklo diegimas 0,6–0,8 santykinio atstumu nuo miesto centro, kai mieste 50–500 tūkst. gyventojų bei ≥ 6 pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų.

Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 5 moksliniai straipsniai: keturi – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į Clarivate Analytics Web of Science duomenų bazę, vienas – recenzuojamame leidinyje.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti trijose mokslinėse konferencijose Lietuvoje ir užsienyje:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2014 m. Vilniuje;
- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2015 m. Vilniuje;
- Tarptautinėje konferencijoje „*28th European conference on operational research*“ 2016 m., Poznanėje, Lenkijoje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai ir bendrosios išvados, literatūros sąrašas ir autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas. Pateikiama vienuolika priedų.

Darbo apimtis yra 131 puslapis, neskaitant priedų, tekste panaudota 14 numeruotų formulių, 52 paveikslai ir 16 lentelių. Rašant disertaciją buvo panaudota 122 literatūros šaltiniai.



1

Mokslo darbų, skirtų susisiekimo sistemos problemoms spręsti, analizė

Skyriuje pateikiamos pagrindinės miesto SS problemos, jų atsiradimo priežastys bei poveikis darniam miesto vystymuisi. Apžvelgiami pasaulyje ir Lietuvoje taikomi SS problemų sprendimo metodai, dažniausiai taikomos SS problemų sprendimo priemonės. Atlikta transporto politikos Lietuvoje bei Europoje apžvalga.

Skyriaus tematika paskelbti du autoriaus straipsniai (Lagerev *et al.* 2017; Barauskas *et al.* 2018).

1.1. Šiandieninė miesto susisiekimo sistemos problematika ir poveikis darniam miesto vystymuisi

Gyventojų judrumas per pastaruosius 100 metų augo daugiau kaip 10 kartų ir auga toliau. Didelis gyventojų judrumas yra laikomas šiuolaikinės civilizacijos požymiu. Judrumo augimą lėmė daugybė priežasčių – pramonės, ūkio, verslo pokyčiai, miesto teritorinė plėtra, transporto priemonių, ypač lengvųjų, tobulėjimas, gyvenimo lygio augimas ir t. t. (Juškevičius 2003).

Lengvųjų automobilių tobulėjimas bei augantis gyvenimo lygis lėmė automobilizacijos lygio augimą. Per pastaruosius dešimtmečius automobilizacijos lygis augo sparčiau, nei investicijos į SS plėtrą bei jos pakankamo kokybinio lygio užtikrinimą. Esamos SS problemos tapo dar opesnės, o šalia jų atsirado dar ir naujų, todėl šiandieniniai miestai neišvengiamai susiduria su grūstimis. Grūstys neigiamai veikia ekonomiką, socialinę sferą, sveikatą ir aplinką. Ekonomikoje kelionės laikas išreiškiamas pinigais, o gyventojų sugaištamas laikas – laikomas jo sąnaudomis. Todėl vis didesnis kelionės laikas reiškia didesnes išlaidas. Dėl grūstčių susidaranti išlaidos Europos miestuose siekia apie 100 mlrd. eurų per metus arba net 1 % ES BVP (Urban mobility. 2017). Jei SS veiktų sklandžiai, žmonės ir kroviniai nevēluotų bei būtų sumažintas neigiamas poveikis aplinkai (Griškevičiūtė-Gečienė 2012).

Tyrimai rodo, kad > 50 % žmonių populiacijos gyvena miestuose (Europoje ši dalis siekia net 74 %), o motorizuotas transportas išskiria apie 40 % viso CO₂, bei 70 % kitų teršalų (Urban mobility. 2017). Nustatyta, kad CO, NO_x, SH_x, SO₂ koncentracijos ore tiesiogiai priklauso nuo transporto priemonių intensyvumo gatvių tinkle (Baltrėnas *et al.* 2008). Transporto sukeliama aplinkos tarša, bei netikslingas išteklių ir žemės naudojimas paskatino tarptautines organizacijas imtis veiksmų, siekiant užtikrinti darnią miestų plėtrą.

Darni miestų plėtra neatsirado naujaisiais laikais, pastarosios idėjos išsakytos dar XIX a., tačiau tuo metu dėl pakankamai lėto miestų augimo nebuvo tokios aktualios kaip šiandien. 1972 m. Stokholme vykusioje JTO konferencijoje dėl žmogaus aplinkos dar vadinamoje „Stokholmo konferencija“ buvo pirma kartą įvardintos aplinkosaugos problemos, kas padėjo pamatus aplinkos apsaugos politikos formavimui (Rasoolimanesh *et al.* 2012). Taip aplinkosaugos problemos tapo tarptautinėmis problemomis.

Daugelis mokslininkų siūlė savo „darnios plėtros“ apibrėžimą, – Burinskienė (2003) darnią miestų plėtrą apibūdino kaip „pastangas suderinti ekonominį miesto augimą ir socialinę pažangą, neeikvojant neatsinaujinančių gamtos išteklių ir nekeliant grėsmės ekologiškai pusiausvyrai, susiejant tokius miesto komponentus: sveiką ir švarią aplinką, gyvybingą ekonomiką, socialinę gerovę, miesto visuomenės aktyvų dalyvavimą darnos procese“.

Tvarumo ir darnios plėtros koncepcijos nėra statinės ar baigtinės, o besikeičiančios ir kompleksinės (Zheng *et al.* 2014), įtraukiančios į nuolatinį procesą, kuriame siekiama nuolat reaguoti į besikeičiančią gamybos produkciją ir ekologinę sistemą (Pickett *et al.* 2013).

2003 m. Lietuvoje patvirtinta Nacionalinė darnaus vystymosi strategija, kurioje iki 2020 m. iškelti ilgalaikiai transporto tikslai – „sukurti saugią, ekonomiškai efektyvią ir palankią aplinkai transporto sistemą, daugiau naudojančią alternatyvių degalų, sumažinti transporto neigiamą poveikį žmonių sveikatai ir

aplinkai, užtikrinti vienodas konkurencijos sąlygas laisvam ir saugiam keleivių vežimui“ (Nacionalinė darnaus vystymosi... 2003).

Neveiksminga SS sutrikdo viso miesto veiklą, – stabdo ekonomikos sėkmingą plėtrą bei blogina žmonių gyvenimo kokybę, todėl būtina siekti darnios ir efektyvios SS, kuri pasižymėtų aukšto lygio infrastruktūra, minimaliu poveikiu aplinkai bei pagrįsta kaina. Tai savo darbuose pabrėžia ne vienas mokslininkas (Litman 2007, Jakimavičius 2008, Rasoolimanesh *et al.* 2012, Grigonis *et al.* 2014, Zheng *et al.* 2014, Sivilevičius *et al.* 2015, Brendel and Mandrella 2016, Puodžiukas *et al.* 2016, Diez *et al.* 2018).

1.1.1. Miesto susisiekimo sistemos problemos ir jų atsiradimo priežastys

SS problemos kyla, kai SS infrastruktūra tampa nebepajėgi užtikrinti augančių SS poreikių – atsiranda disbalansas, kuris didėja augant automobilizacijos lygiui. Miestų augimas tik dar labiau skatina automobilių kiekio didėjimą miestuose. 1950 m. apie 30 % pasaulio gyventojų gyveno miestuose, 2014 m. gyventojų skaičius viršijo 50 % ir pasiekė 54 %. Prognozuojama, kad 2050 m. miestuose gyvens 66 % pasaulio gyventojų (World Urbanizations Prospects. 2014). Tai tik dar sparčiau gilins jau esamas SS problemas.

Michael Thomson knygoje *Great Cities and Their Traffic* (Thomson 1977) išskyrė 7-ias SS problemas, kurios būdingos ir šiai dienai: eismo judėjimas ir grūstys, eismo įvykiai, viešojo transporto perpildymas piko metu, viešojo transporto neišnaudojimas ne piko metu, pėsčiųjų eismo sunkumai, poveikis aplinkai bei parkavimo sunkumai. Prie pastarųjų dar būtų galima priskirti – motorinių transporto priemonių tranzitą per miesto teritoriją bei didelį teritorijos poreikį susisiekimo infrastruktūros (toliau – SI) statiniams. Įvardytos SS problemos ir jų atsiradimo priežastys apžvelgiamos detaliau:

- Eismo judėjimas ir grūstys. Dar 1960 m. grūstys įvardytos kaip problema (Smeed 1964), o šiai dienai net trečdalis kelionių didžiuosiuose miestuose atliekama grūstyse. Grūstys susidaro, kai gatvių tinklas tampa nebepajėgus aptarnauti reikiamo kiekio transporto. Paprastai tai nutinka piko metu, kai vyksta kelionės iš namų į darbą ir atvirkščiai. Grūstyse gaištamas laikas rodo SS neefektyvumą, o atvirkštinis rodiklis – sutaupomas kelionės laikas yra laikomas esminiu SI išsivystymo rodikliu (Axhausen *et al.* 2004, Caulfield and O’Mahony 2007, Kinderytė-Poškienė ir Sokolovskij 2008). Mokslininkai sutaria, kad netolimoje ateityje nors ir taikant naujas eismo valdymo, autonominių automobilių ar automobilių dalijimosi technologijas grūstys sumažės, tačiau jos visiškai neišnyks, – bus tik lengviau nuspėjamos (Hensher 2018, Wu *et al.* 2018).

- Eismo įvykiai. Miestuose gatvės ne tik tarnauja kaip SS jungtys, tačiau turi ir kitas funkcijas kaip, – gyvenamoji, prekybos, biurų, gamybos ir pan. Tokiose vietose ypač padidėja eismo įvykių tikimybė su pėsčiaisiais, dviratininkais, mopedų ar motociklų vairuotojais (Kraay and Dijkstra 1989). Net 69 % eismo įvykių įvyksta miestuose ir net 1 iš 3 mirtinų eismo įvykių urbanizuotose teritorijose, kuriuose dalyvauja pėstieji ir dviratininkai, – labiausiai pažeidžiami eismo dalyviai (Žalioji knyga 2007). Išaugęs eismo intensyvumas bei neišvystyta SI lemia eismo įvykių padidėjimą (Skrodenis *et al.* 2011, Antov and Smirnovs 2016). Pastarieji dar labiau padidina grūstis, taip mažindami gatvių tinklo efektyvumą bei didindami žmonių patiriamus kelionės laiko nuostolius. Nustatyta, kad eismo įvykių kiekis tiesiogiai koreliuoja su eismo intensyvumu – kuo didesnis intensyvumas, tuo didesnė eismo įvykio tikimybė (Rodrigue 1997). Europos Sąjungos šalyse mirtinų eismo įvykių skaičius per 2004–2013 m. laikotarpį sumažėjo apie 42 %, kai tuo tarpu mirtinų eismo įvykių pasiskirstymas tarp miesto ir užmiesčio teritorijos padidėjo nuo 36 % iki 38 % (Bauer 2016), o JAV nuo 41 % iki 49 % (Roadway and environment. 2016) per tą patį laikotarpį.
- Nepakankamas viešojo transporto stotelių pasiekiamumas. Pasiekiamumas priklauso nuo gatvių tinklo tankio ir užstatytų teritorijų išsidėstymo. Jis laikomas viena iš pagrindinių viešojo transporto problemų, iš esmės veikianti jo kokybę. Pastarasis ryšys nagrinėtas daugelio mokslininkų (Ewing and Cervero 2001, Alshalalfah 2007, Dill 2003, Zhao *et al.* 2003, Daniels and Mulley 2013, El-Generdy *et al.* 2014). Visi mokslininkai sutinka, kad trumpesnis kelionės laikas iki stotelės didina viešojo transporto patrauklumą ir turi priešingą poveikį, kai atstumas didėja.
- Viešojo transporto perpildymas piko metu. Viena pagrindinių viešojo transporto problemų, kurią spręsti ypač sudėtinga. Pastarąją lemia piko metu staigiai padidėjančių keleivių skaičius bei grūstys gatvių tinkle, trikdančios viešajam transportui judėti pagal grafiką.
- Viešojo transporto pajėgumų neišnaudojimas ne piko metu. Pagrindinė priežastis kodėl viešasis transportas ne piko metu yra neišnaudojamas yra netolygi viešojo transporto infrastruktūros plėtra per pastaruosius dešimtmečius vykstant sparčiam automobilizacijos lygio augimui (Burinskienė *et al.* 2011).
- Pėsčiųjų judėjimo sunkumai. Išaugęs eismo intensyvumas bei SI užimami plotai apsunkena pėsčiųjų judėjimą, o kartais net visai juos izoliuoja. Ilgėja pėsčiųjų nueinamas atstumas bei sugaištamas laikas, todėl neretai pėstieji renkasi net ir trumpas keliones atlikti transporto priemone. Mokslininkai siūlo mažinti automobilių vietų skaičių miestuose, taip užleisdami atsilaisvinusius plotus pėstiesiems ir dviratininkams (Rantasila

2016). Tai pagerintų ne tik jų judėjimo sąlygas, bet ir turėtų teigiamą poveikį aplinkos kokybei (Brendel and Mandrella 2016).

- Poveikis aplinkai. Didėjantis eismo intensyvumas daro neigiamą poveikį aplinkai teršdamas orą bei keldamas triukšmą. Ne vienas mokslininkas (Baldauf *et al.* 2013, Carpentieri *et al.* 2012) atkreipia dėmesį, kad transporto išmetamos dujos nulemia miesto oro kokybę. Neabejotiną ryšį tarp transporto intensyvumo ir taršos lygio taip pat patvirtina ne vieno mokslinio straipsnio rezultatai (Park *et al.* 2004, Berkowicz *et al.* 2006, Clements *et al.* 2009, Kim and Guldmann 2011). Būtent automobilizacijos lygis yra tas veiksnys, kurio didėjimas lemia blogėjančią miestų aplinkos kokybę (Baltrėnas 2007).
- Motorinių transporto priemonių parkavimas. Dažna automobilio nuosavybės problema yra rasti vietą, kur ją būtų galima parkuoti. JAV atlikti natūriniai tyrimai nustatė, kad vidutinis parkavimo vietos paieškos laikas svyruoja nuo 3,5 iki 14 min ir tai gyvenamosiose vietovėse gali sudaryti iki 30 % transporto intensyvumo (Shoup 2006). Ši problema neretai pati sukelia grūstis prie gyvenamųjų kvartalų ar prekybos centrų. Daugelis mokslininkų (Yuen and Chor 1998, Herala 2003) parkavimo problemą įvardina kaip vieną iš sudėtingiausių, nes papildomiems parkingams reikalingas miesto plotas, kurį atiduoti ekonomiškai nėra naudinga. Statistiškai apie 23 val. per parą automobilis būna pastatytas laikinojo ar nuolatinio parkavimosi vietose, todėl parkavimosi vietų numatymo problema laikoma viena iš dažniausiai išskylančių problemų, su kuriomis susiduria planuotojai bei projektuotojai (Litman 2010).
- Motorinių transporto priemonių tranzitas per miesto teritoriją. Ekonominės augimas bei išaugęs vartojimas lėmė pervežamų krovinių augimą. Deja, bet daugeliu atveju kroviniai gabenami tomis pačiomis gatvėmis, kuriomis vyksta ir miesto eismas, todėl kaip miestų išvadavimo nuo tranzitinio srauto imtasi tiesti aplinkkelius. Daugelį metų buvo manoma, kad naujų aplinkelių statyba, kurie būtų statomi toli nuo miesto, bus svarbiausias veiksnys, padėsiantis miestams išsivaduoti nuo juos kertančių tranzitinio transporto srautų (Griškevičiūtė-Gečienė 2012). Tačiau dabartinė patirtis rodo, kad tokie tolimi aplinkkeliai neatneša tiek naudos, kiek manyta, lėtai arba visai neatsiperka bei sunkiai pakeičia nusistovėjusius žmonių keliavimo įpročius (Juškevičius *et al.* 2009, Kastrom *et al.* 2009, Ratkevičiūtė *et al.* 2011). Tik integruota užmiesčio magistralinių kelių tinklo ir miesto greito eismo gatvių tinklo sistema duotų teigiamų ir kur kas greičiau atsiperkančių rezultatų. Greito eismo gatvių tinklas pritrauktų ir nukreiptų pagrindinius transporto srautus taip pagerindamas aplinkinių gatvių eismo sąlygas bei sumažindamas neigiamą poveikį aplinkai (Juškevičius 2003a).

- Didelis teritorijos poreikis SI statiniams. Didesni SS poreikiai reikalauja didesnio ploto SI statiniams, kurie gali užimti net 30–50 % miesto teritorijos.

Akivaizdu, kad visų aukščiau išvardintų SS problemų priežastis tiesiogiai ar netiesiogiai yra sparčiau augantis automobilizacijos lygis ir su tuo nesusidorojanti SS infrastruktūra. Kitame poskyryje automobilizacijos lygis nagrinėjamas detaliau.

1.1.2. Automobilizacijos lygio kitimas Lietuvoje bei Europoje

1896–1914 m. – pirmasis automobilizacijos etapas Lietuvoje. 1896 m. vasarą nupirkta pirmasis automobilis Lietuvoje – Panhard et Levasseur 4CV skirtas kelią Ryga–Šiauliai–Tauragė aptarnavusios Rusijos imperijos Susisiekimo ministerijai pavaldžios 2-osios kelių distancijos Šiauliuose reikmėms. 1908 m. įkurtos pirmosios automobilių dalių parduotuvės, taip pat atsiranda galimybė automobilių išsinuomoti. 1913 m. Vilniuje tebuvo 16 asmeninių automobilių, o kituose miestuose ir miesteliuose – po vieną ar kelis (Driskius ir Suslavičius 2005).

1918 m. prasidėjo antrasis automobilizacijos etapas. 1921 m. visi automobiliai imti registruoti išduodant valstybinius numerius (Driskius ir Suslavičius 2005).

1935 m. buvo užregistruota 930 asmeninių automobilių, o 1940 m. jau – apie 2 tūkstančius. Po II pasaulinio karo automobilių kiekis šalyje smarkiai sumažėjo, 1950 m. siekė tik 460. Vėliau jų skaičius ėmė sparčiai didėti: 1955 m. – 2400, 1965 m. – 18 100, 1970 m. – 32 700, kol 8-ojo dešimtmečio pradžioje automobilizacijos lygis Lietuvoje pasiekė 10 aut./1000 gyv. (Adomavičius *et al.* 1985). Vėliau šis augimas dar paspartėjo ir tapo akivaizdu, kad miestų SI nebespėja tenkinti išaugusios automobilizacijos. 1985 m. didžiųjų miestų automobilizacijos lygis siekė apie 92 aut./1000 gyv., tuo tarpu mažųjų miestų – 102 aut./1000 gyv. Šį skirtumą lėmė tai, kad mažuosiuose miesteliuose buvo mažai darbo vietų, todėl miesto gyventojams tekdavo įsigyti automobilius, kad pasiekti gretimas apylinkes, kur buvo galima įsidarbinti (Juškevičius *et al.* 2013).

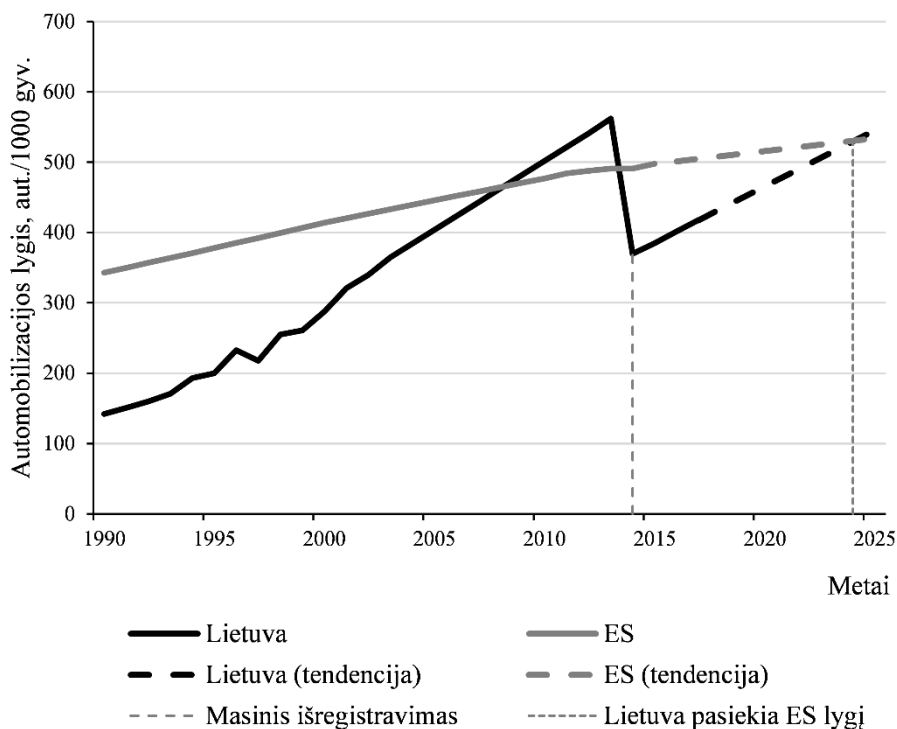
1990 m. Lietuvai atgavus nepriklausomybę atsivėrė keliai į vakarų Europą iš kurios imta importuoti naudotus automobilius. 1993 m. automobilizacijos lygis pasiekė beveik 200 aut./1000 gyv., tačiau palyginti su Europa buvo apie 1,5 karto mažesnis (Number of passenger... 2017), o su Vokietija net 3 kartus (Burinskienė and Munch 2003).

1990 m. Europos Sąjungos šalyse automobilizacijos lygis siekė 343 aut./1000 gyv. ir iki 2000 m. (414 aut./1000 gyv.) kasmet paaugdavo apie 2 %, vėliau šis augimas ėmė lėtėti ir nuo 2010 m. augimas sumažėjo iki 1 % per metus. 2015 m. automobilizacijos lygis Europos Sąjungos šalyse siekė 498 aut./1000 gyv. (Number of passenger... 2017).

Lietuvos automobilizacijos lygis pastarąjį dešimtmetį buvo vienas iš didžiausių tarp Europos ir pasaulio valstybių iki pat 2014 m., kai įsigaliojus Saugaus eismo automobilių keliais įstatymo pataisoms buvo atliktas masinis neapdraustų, neatitinkančių techninės apžiūros reikalavimų, taip pat tų transporto priemonių, kurių savininkai nesumokėjo valstybei priklausančių mokesčių, išregistravimas. Taip automobilizacijos lygis nuo 562 aut./1000 gyv. 2013 m. smuko iki 370 aut./1000 gyv. 2014 m. (Individualių lengvųjų automobilių... 2019) ir smarkiai atsiliko nuo Europos šalių vidurkio 491 aut./1000 gyv. 2014 m. (Number of passenger... 2017).

Lietuvos statistikos departamento (toliau – LSD) duomenimis automobilizacijos lygis per pastaruosius metus kasmet augo apie 4 % ir 2017 m. siekė 418 aut./1000 gyv. (Individualių lengvųjų automobilių... 2019).

1.1 paveiksle pateikiamas Lietuvos ir ES automobilizacijos lygio kitimas nuo 1990 m. iki 2015 m. bei automobilizacijos lygio kitimo tendencijos iki 2025 m.



1.1 pav. Automobilizacijos lygis Lietuvoje ir Europoje, 1990–2025 m. (sudaryta autoriaus panaudojus duomenis iš Lietuvos statistikos departamento bei www.statista.com)

Fig. 1.1. Motorisation level in Lithuania and Europe, 1990–2025 (created by author using data from Statistics Lithuania and www.statista.com)

Pagal pastarųjų metų automobilizacijos lygio kitimo tendencijas, Lietuva ES automobilizacijos lygio vidurkį turėtų pasiekti 2024 m.

Pasak Juškevičiaus automobilizacijos lygis neturėtų išaugti daugiau kaip 600 aut./1000 gyv. (Juškevičius *et al.* 2006).

1.2. Transporto politika Lietuvoje bei Europoje

SS problemų sprendimo priemonių įgyvendinimas prasideda nuo politinių sprendimų. Visų pirma tai būtų politinės strategijos, kurių veiksmų priemonės integruojamos ir pritaikomos priimant įstatymus, taisykles ir kitus dokumentus ar rekomendacijas. Nuo 2004 m. gegužės 1 d. Lietuva tapo Europos Sąjungos nare ir įsipareigojo vykdyti narystės įsipareigojimus, todėl didžia dalimi transporto politiką Lietuvoje formuoja ES.

ES transporto politikos svarbiausias siekis – sukurti visuomenės ekonominius, socialinius ir aplinkos apsaugos lūkesčius atitinkančią darniojo transporto sistemą, kuri skatintų visuomenės įtrauktį ir Europos integraciją bei konkurencingumą.

Miestų transporto sektorius dėl savo kompleksiško reikalauja kompleksinių sprendimo priemonių, todėl ES pasitelkė darnaus miestų planavimo ir efektyvaus mobilumo paklausos valdymo sprendimus.

2007 m. EK išleido Žaliąją knygą „Nauja mobilumo mieste kultūra“, kurioje pateikiami siūlymai kaip spręsti grūsčių ir aplinkos taršos problemas, pereiti prie pažangesnio miesto transporto, užtikrinti miesto transporto prieinamumą bei saugumą. Šiame dokumente įvardijamos mobilumo problemos bei būdai kaip jas galima spręsti (Žalioji knyga 2007). Su šiuo dokumentu Europoje pradėtos diskusijos dėl miestų judumo vystymo strategijos bei suformuoti pamatai teisinę galią turinčiai Baltajai knygai, kurioje jau numatomi konkretūs tikslai ir priemonės jiems pasiekti.

2011 m. EK išleido Baltąją knygą „Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas“, kurioje per ateinančius dešimtmečius siekiama padidinti judumą, išnaudojant alternatyvius susisiekimo būdus, sumažinti neigiamą transporto poveikį aplinkai bei užtikrinti konkurencingą ir augančią ekonomiką. Baltojoje knygoje skatinama viešojo transporto, susisiekimo dviračiais ir pėsčiomis plėtra. Knygoje iškelti tokie pagrindiniai tikslai iki 2050 m.: vidaus degimo varikliais varomų transporto priemonių atsisakymas miestuose; 0 žuvusiųjų; transporto išskiriamų emisijų sumažinimas 60 %; 50 % vidutinio ilgio kelionių bei krovinių vežimo tarp miestų atlikti ne kelių, o geležinkelių ir vandens transportu (Baltoji knyga 2011).

Pagal Baltąją knygą Europos miestai yra skatinami pasirengti darnaus judumo mieste planus. 2013 m. EK išleido komunikatą „Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos judumo sistemos mieste kūrimas“ (European Commission (EC). 2013a), kuris įpareigojo pasirengti darnaus judumo mieste planus, kaip būtiną sąlygą siekiant gauti ES struktūrinių fondų finansavimą miesto transporto projektams. Tais pačiais metais išleistas atskiras leidinys-gairės – *Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*. Šiose gairėse nurodoma penki uždaviniai, kuriuos būtina išspręsti, kad būtų tenkinami bent minimalūs darnaus judumo plano reikalavimai. Šie uždaviniai yra: visi gyventojai turi turėti galimybes pasiekti pagrindinius miesto traukos centrus ir paslaugų vietas, turi būti pagerintas saugumas bei apsauga, sumažinta oro tarša, triukšmas, šiltnamio dujų išskyrimas bei energijos suvartojimas, padidintas keleivių ir krovinių gabenimo efektyvumas bei mažinamos išlaidos, dedamos pastangos stiprinant miesto aplinkos patrauklumą, siekiant naudoti piliečiams, socialinei bei ekonominei aplinkai (European Commission (EC). 2013b).

2013 m. Lietuvoje patvirtinta Nacionalinė susisiekimo plėtros 2014–2022 metų programa, kurioje išsikeltas tikslas – sukurti darnią, aplinkai nekenksmingą, konkurencingą ir didelę pridėtinę vertę kuriančią Lietuvos SS. Programoje išsikelti 5 tikslai, kurių trečiasis – skatinti vietinio (miestų ir priemiesčių) transporto sistemos darnumą (Nacionalinė susisiekimo plėtros... 2013).

Visuose darnią plėtrą reglamentuojančiuose leidiniuose įvardinta, kad kelių tinklo plėtra turi tenkinti tris darnios plėtros kriterijus – neigiamo poveikio aplinkai, žmonių sveikatai ir rūšių įvairovei sumažinimas ar bent esamos situacijos išlaikymas. Tam pasiekti išskirtos priemonės: aplinkkelių statyba, kelių ir gatvių rekonstrukcija bei kietos dangos įrengimas.

1.3. Susisiekimo sistemos problemų sprendimo priemonės

SS problemų sprendimo priemonės galima suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas – „minkštąsias“ ir „kietąsias“.

Vieningo ir nusistovėjusio apibrėžimo ką reikėtų laikyti „minkštosiomis“ priemonėmis nėra. Paprastai tai laikomos priemonės, kurios nėra priskiriamos prie „kietųjų“ arba priemonės, kurias piliečiai savanoriškai priima. „Minkštosios“ priemonės paprastai orientuotos į žmogaus mentaliteto formavimą (Howard 2003, Jones and Sloman 2006, Taniguchi *et al.* 2007, Taylor 2007, Gärling and Fujii 2009). Tai neretai nuolatinis ir daug laiko trunkantis procesas, tačiau gali būti labai veiksmingas ilguoju laikotarpiu ir su minimaliomis sąnaudomis. Tą savo darbuose patvirtino ne vienas mokslininkas (Cairns *et al.* 2004, Taylor 2007, Brög *et al.* 2009, Richter *et al.* 2010). „Minkštosios“ priemonės gali būti suskirstytos į keletą kategorijų (Soft measures for... 2009):

- Švietimas. Šios priemonės tikslas – sąmoningumo ugdymas. Žmonės supažindinami su neigiamu transporto poveikiu, bei kitomis, alternatyviomis (nemotorinėmis), ar viešojo transporto judėjimo galimybėmis. Didelis dėmesys skiriamas darželinukų, mokinių ugdymui rengiant edukacinius užsiėmimus.
- Konsultavimas bei bendradarbiavimas. Tikslas – vietinių suinteresuotų verslo, visuomenės ir valdžios grupių bendradarbiavimas siekiant darnaus judėjimo tikslų bei gerosios praktikos perėmimas.
- Planavimas ir koordinavimas. Tikslas – teisinės bazės bei transportinių schemų, planų rengimas miesto savivaldybėse. Rengiami skirtingo mastelio, detalumo bei skirtingoms socialinėms asmenų grupėms skirti dokumentai.
- Informacijos sklaida ir marketingas. Tikslas – visuomenės informavimas apie alternatyvius kelionės būdus nesirenkant asmeninio automobilio taip gerinant piliečių sveikatą bei mažinant aplinkos taršą. Kuriamos reklamos, kampanijos, kurios pateikiamos per televiziją, radiją, internetinius puslapius, brošiūras. Rengiamos konferencijos, visuomenę įtraukiantys renginiai.

Nors „minkštosios“ priemonės yra būtinos ir padeda mažinti individualaus transporto naudojimą, tačiau priemonių efektyvumas yra sunkiai pamatuojamas. Mokslininkai Möser ir Bamberg atliko empirinius „minkštųjų“ priemonių efektyvumo tyrimus panaudodami kitų mokslininkų atliktų 141 studijos rezultatus. Buvo tiriamos trijų dažniausiai taikomų priemonių (darbo vietos kelionės planai, mokyklų kelionės planai, individualūs kelionės planai) efektyvumas. Nustatyta, kad pastarųjų priemonių efektyvumas padėjo sumažinti individualių transporto priemonių naudojimą pasirenkant nemotorizuotus judėjimo būdus, kurių naudojimas padidėjo 7 % – nuo 39 % iki 46 % (Möser and Bamberg, 2008).

„Kietųjų“ priemonių esminis skirtumas nuo „minkštųjų“ yra kaina. „Kietosios“ priemonės orientuotos į fizinius pasikeitimus: transporto infrastruktūros gerinimas, eismo valdymo sistemos diegimas ar tobulinimas, SI užimamo ploto pokyčiai, mokesstinės prievolės. Visa tai reikalauja didelių investicijų, todėl iki šiol politikai tokių priemonių imasi nenoriai (Gärling and Schuitema 2007). Šį neužtikrintumą tik dar labiau skatina nenusisėkusios investicijos, kai nepasiekiami prognozuota nauda (Schade and Schalg 2003, Stopher 2004). „Kietosios“ priemonės apima dvi stambias grupes, – žemės naudojimo strategiją bei transporto strategiją. Žemės naudojimo strategija yra orientuota į kelionių poreikio mažinimą, o transporto strategija – į darnią transporto sistemą. Kelionių poreikio sumažinimas gali būti pasiekiamas taikant teritorijų planavimo priemones, tokias kaip – mišrių teritorijų planavimas, esamų teritorijų tankinimas, miesto plėtros ribojimas į užmiesčio teritorijas ir pan. Darni transporto sistema skirta ne konkrečiai transporto rūšiai ar infrastruktūrai, bet žmogui, todėl apima visas galimas judėjimo rūšis bei

siekia patenkinti dabartines bei ateities mobilumo reikmes. Jos pasiekiami priimant kompleksinius sprendimus bei priemones, užtikrinančias gyventojams aukštos kokybės susisiekimo paslaugas mieste bei priemiestyje.

Viena iš didžiausių poveikį turinčių transporto strategijos priemonių yra miesto aplinkkelių diegimas. Nutiesus miesto aplinkkelius sumažėja miestą keratančio tranzitinio transporto srautas, transporto grūstys, oro tarša, triukšmas, pagerėja eismo saugumas. Į uždara apskritimą sujungti aplinkkeliai sudaro žiedą, kuris atneša dar didesnės naudos: decentralizuojamas transporto judėjimas (miesto centrinėje dalyje sumažėja transporto intensyvumas atsiradus alternatyvioms jungtims), nukreipiamas nepageidaujamas transportas (dažniausiai tranzitinis arba sunkiasvoris), padedama miestui kontroliuoti nepageidaujamą atsitiktinę plėtrą bei formuoti aiškią miesto struktūrą. Šiai dienai aišku, kad nutolę nuo miesto aplinkkeliai nėra efektyvūs, sunkiai atsiperkantys, todėl stengiamasi juos integruoti į miesto susisiekimo tinklą (toliau – ST), kur pasiekiami didesnė nauda.

Remiantis Lietuvoje atliktomis aplinkkelių diegimo studijomis galima pateikti tokias išvalgas:

- Judėjimo greitis aplinkkeliuose bent kelis kartus didesnis nei gatvių tinkle, kas užtikrina mažesnę kuro suvartojimą. Vidutinis greitis aplinkkelyje siekia apie 90 km/val., kai gatvių tinkle – apie 30 km/val. Optimalus kuro suvartojimas pasiekiamas, kai palaikomas apie 60–90 km/val. vidutinis greitis. Tuomet kuro suvartojama apie 24 % mažiau, nei judant gatvių tinkle (Ford tests shows... 2008).
- Kelionė aplinkkeliais padeda sumažinti CO₂ dujų išskyrimą. Nors dažnu atveju kelionės atstumas aplinkkeliais lyginant su kelione gatvių tinkle yra didesnis, tačiau dėl optimalaus greičio palaikymo, sumažėja ne tik transporto priemonės vidutinis kuro suvartojimas, bet ir išskiriamų dujų emisijos. Sudegintas 1 litras kuro išskiria apie 2,5 kg CO₂. Remiantis Lietuvoje atliktų aplinkkelių studijų analize nutiesus 1 km aplinkkelio vidutiniškai sutaupoma apie 1060 tūkst. litrų kuro bei į aplinką išskiriama 2650 t mažiau CO₂ (Puodžiukas *et al.* 2016).
- Aplinkkelių diegimas sumažina aplinkos taršą ne tik lokaliai, bet ir visame regione. Tam didžiausią poveikį turi tai, kad aplinkkeliai sutraukia ir nukreipia sunkiųjų ir tranzitinį transportą nuo miesto centro, kas ženkliai sumažina aplinkos taršą. Puodžiukas *et al.* (2016) nagrinėdami transporto išskiriamas emisijas ir bendrą taršos lygį miesto gatvėse ir šalies keliuose bei aplinkkeliuose priimant pagrindinį kintamąjį – greičio pokytį, nustatė, kad nutiestas 1 km aplinkkelio vidutiniškai sumažina transporto priemonės taršos emisijas apie 2 t per metus.
- Tranzitinio srauto nukreipimas į aplinkkelius sumažina triukšmo lygį miesto centrinėje dalyje. Sumažėjęs transporto srautas gatvių tinkle, sunkiųjų transporto priemonių kiekis bei vidutinio greičio pokytis lemia

triukšmo sumažėjimą. 75 % tranzitinio srauto nukreipimas iš miesto centrinės dalies į aplinkkelius gali sumažinti triukšmo lygį centrinėje miesto dalyje iki 10 dB (Puodžiukas *et al.* 2016).

- Puodžiukas *et al.* (2016) atliktoje Lietuvos aplinkkelių diegimo studijų analizėje nustatyta, kad 1 euras investuotas į aplinkkelių diegimą grįžta 3,2 eurų ekonomine nauda (kelionės laiko sutaupymas, transportavimo išlaidų sutaupymas, eismo įvykių sumažėjimas).

Kita priemonė – greito eismo gatvių diegimas. Tai aukštos kategorijos gatvės, kurios formuoja miesto gatvių tinklo karkasą bei skirsto pagrindinius transporto srautus. Kaip ir aplinkkeliai, greito eismo gatvės, sujungtos į žiedinę struktūrą, užtikrina pagrindinius srautų judėjimus tarp skirtingų miesto dalių.

Gatvių tinklo tankinimas – jos pirmiausia imamasi susidūrus su transporto grūstimis. Kuo gatvių tinklas tankesnis, tuo daugiau galimybių nuvykti iš taško A į tašką B, bei tuo tolygesnis eismo intensyvumas, tačiau tai dažnai sunkiai įgyvendinama dėl didelio užstatymo tankio bei nuosavybės interesų.

Taip pat SS problemų sprendimo priemonės galima suskirstyti į dvi kategorijas – skatinimas ir ribojimas. Skatinimas paprastai vyksta švietėjiška veikla arba dotacijomis. Vienas iš šiuo metu vykstančių procesų – darnaus judumo planų rengimas, kuriuose būtent skatinama mažinti kelionių atstumus, siūloma rinktis alternatyvius kelionės būdus, bevariklį transportą (Ge *et al.* 2015). Pasak Dekoster ir Schollaert (1999) net 50 % automobiliu atliekamų kelionių mieste yra trumpesnės nei 8 km ir net 25–30 % trumpesnės, nei 3 km, kurias būtų galima įveikti kur kas darnesniu judėjimo būdu – pėsčiomis ar dviračiu. Darnaus judumo planai nėra naujiena Europoje. Juos jau daugiau kaip dešimtmetį tobulina vokiečiai, britai, prancūzai, italai. Darnaus judumo pagrindinis tikslas – strategijos suformavimas, parenkant priemones, kurios padėtų sumažinti priklausomybę nuo privataus transporto. Paprastai tokie planai rengiami ilgam laikotarpiui – 10–15 metų, todėl jų efektyvumas ima ryškėti tik šiuo metu (Diez *et al.* 2018).

Miestuose skatinama rinkis viešąjį transportą kaip alternatyvą privačiam. Viešasis transportas pajėgus pervežti daug didesnę keleivių skaičių nei privatus transportas. Investicijos viešajame transporte nukreipiamos į viešojo transporto parko atnaujinimą, viešojo transporto juostų tiesimą ar elektroninių atsiskaitymų diegimą. Prioritetinės viešojo transporto juostos – viena iš efektyviausių priemonių, kadangi jomis viešasis transportas aplenkia susidariusias transporto grūstis bei užtikrina greitesnę susisiekimą palyginti su privačiomis transporto priemonėmis. Tai ypač aktualu piko metu, kai viešasis transportas neturėdamas prioritetinių viešojo transporto juostų yra priverstas stovėti bendrame sraute.

Valstybinės dotacijos Lietuvoje sunkiai skinasi kelią, tačiau viena populiariausių pasaulyje yra skirta ne vidaus variklio varomų transporto priemonių (dažniausiai elektromobilių) įsigijimui siekiant sumažinti automobilių sukeltą taršą miestuose. JAV atlikti tyrimai parodė, kad 1000 dolerių dotacija padidina

elektromobilių pardavimus 2,6 % (Jen *et al.* 2018), o Norvegijoje taikomos dotacijos elektromobiliams yra veiksmingesnės nei kelių mokesčiai (Möser *et al.* 2016).

Ribojimai gali būti labai įvairūs, turėti skirtingas aprėptis bei subjektus. Vienas seniausiai pradėtų taikyti ir mokslininkų labiausiai nagrinėtas – kelių arba grūsčių mokestis (Small and Yan 2001), kurį pavyko pritaikyti tik nedaugelyje miestų, pvz.: Singapūre, Londone, Stokholme. Dar 1993 metais Menon *et al.* (1993) atliko išsamią pirmos pasaulyje kordonu paremtos kelių apmokestinimo sistemos vertinimą ir nustatė, kad sistema sumažino įvažiuojančių ir išvažiuojančių iš miesto centro automobilių skaičių piko metu, padidino vidutinį susisiekimo greitį ir paskatino žmones labiau rinktis viešąjį transportą nei privatų. 1994 m. mokslininkai Yee ir Menon (1994) pasiūlė, mokesčius taikyti lanksčiai, atsižvelgiant į paros laiką, vietą ar nuvažiuojamą atstumą. 2005 m. atlikti tyrimai parodė, kad grūsčių mokestis padėjo sumažinti nuvažiuojamą vidutinį atstumą miesto centre apie 15 % ir padidinti vidutinį greitį 17 % (Prud'homme and Bocarejo 2005).

Kitas ribojimas yra griežtesnis ir taikomas tiesiogiai kontroliuojant nuosavų automobilių kiekį. Automobilių kiekis gali būti kontroliuojamas ribojant išduodamų automobilio registracijos numerių kiekį, laisvus numerius įsigyjant aukciono būdu (Chu 2012, Chen and Zhao 2013, Feng and Li 2016). Tokia praktika taikoma megapoliuose Singapūre bei Šanchajuje. Loterija taikoma Pekine (Yang *et al.* 2014). Abu taikomi būdai susilaukia gyventojų pasipriešinimo, nes pažeidžiamos žmonių teisės bei socialinė lygybė.

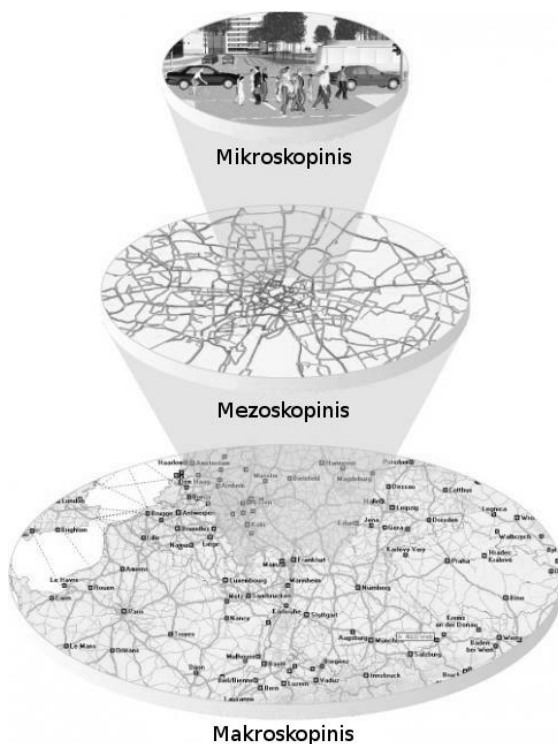
Kiek švelnesnė priemonė – riboto eismo zonų nustatymas, kai ribojamos sunkiasvorių ar interesų neturinčių transporto priemonių patekimas į teritoriją, judėjimo greitis ar parkavimas. Ribojimui dažniausiai pasitelkiami draudžiamieji kelio ženklai. Rimtesnė priemonė – kilnojami motorizuoto transporto priemonių patekimą ribojantys stulpeliai. Pastarieji dažniausiai naudojami siekiant uždaryti miesto centrą nuo motorizuoto transporto, paliekant galimybę įvažiuoti ir išvažiuoti tik ten gyvenantiems, aptarnaujančiam bei specialiajam transportui.

Parkavimo vietų apmokestinimas. Dažniausiai miestų centruose taikoma priemonė, padedanti reguliuoti transporto srautus bei mažinanti grūstis. JAV atlikti tyrimai parodė, kad 10 % padidintas parkavimo mokestis gali sumažinti asmeninėmis transporto priemonėmis atliekamų kelionių skaičių 1–3 % (Frank *et al.* 2011). Įprastai parkavimo kainos kyla artėjant prie miesto centrinės dalies. Parkavimo kainos dydis bei apmokestinimo taikymas vieni svarbiausių parkavimo klausimų, kuriuos nagrinėja mokslininkai (Litman 2010, Shoup 2011).

1.4. Susisiekimo sistemos problemų sprendimo priemonių priėmimo metodai

Ekspertinė analizė ir transporto srautų modeliavimas – metodai, kurie gali būti taikomi kartu arba atskirai sprendžiant SS problemas.

Ekspertinė analizė arba vertinimas dažniausiai taikomi, kai reikia įvertinti neišmatuojamus procesus, reiškinius arba lyginami parametrai nėra tikslūs, trūksta duomenų. Ekspertai vertinimą atlieka pagal iš anksto sutartą metodiką, kurioje numatomi vertinimo kriterijai bei vertinimo sistema. Ekspertinis vertinimas gana dažnai taikomas metodas, pasižymintis greitu atlikimu bei patikimumu. Pastarasis dažnai papildomas daugiakriteriniu vertinimu, kuris leidžia apibendrinti ekspertų nuomonę bei hierarchine tvarka pateikti gautus rezultatus.



1.2 pav. Transporto modeliavimo lygmenys (paveikslas <http://www.af-cityplan.cz>)
 Fig. 1.2. Transport modelling levels (figure <http://www.af-cityplan.cz>)

Modeliavimas – realybės atvaizdavimas abstrakčiu būdu. Transporto srautų modeliavimu siekiama tokių pagrindinių tikslų: atlikti susisiekimą variantų palyginimą, nustatyti miesto plėtros poveikį SS, pagrįsti priimamus susisiekimą sprendimus bei prognozuoti ateities perspektyvą.

Transporto modeliavimas skirstomas į tris lygmenis priklausomai nuo apimties, detalumo ir sprendžiamų klausimų: makro, mezo ir mikro. Modeliavimo lygmenys pateikiami 1.2 paveiksle. Mikroskopiniame lygmenyje modeliuojama kiekvienos individualios transporto priemonės elgsena. Modeliuojama nedidelė teritorija ar susisiekimą infrastruktūros koridorius. Šiuo modeliu siekiama detaliai išanalizuoti transporto eismo pokyčius pakitus transporto srauto dydžiui, sudėčiai, susisiekimą infrastruktūrai ar eismo valdymui. Mezoskopiniame ir makroskopiniame lygmenyje modeliuojama miesto dalies, dažniausiai viso miesto, transporto sistema. Modelyje aprašomi susisiekimą poreikiai bei galimybės, bei juos jungiantys ryšiai (individualios transporto priemonės nėra modeliuojamos).

Visi modeliavimo lygmenys turi tokias bendras sudedamąsias dalis: atvykimo-išvykimo matricą, kurioje pateikiami atskirų rūšių kelionių kiekiai iš išvykimo į atvykimo taškus; išvykimo ir atvykimo vietas-taškus. Skirtumai pasireiškia tuo, kad makro modelyje dažniausiai naudojamas statinis ekvilibriumas su nekintančia atvykimo-išvykimo matrica, kai tuo tarpu mezo ir mikro modeliavime naudojamos atvykimo-išvykimo matricos, kurios paskirstomos atskiriems laiko momentams siekiant įvardinti konkrečius rezultatus nagrinėjamiems laiko periodams. Makro ir mezo modeliai paremti gatvių tinklu sudarytu iš supaprastintų, sustambintų elementų, – gatvių atkarpu (angl. links) ir sankryžų-mazgų (angl. nodes). Modeliuose gatvių tinkle pakanka turėti tokius parametrus: gatvių atkarpu laidumą, eismo juostų skaičių, greičio ir srauto atkarpoje priklausomybės funkciją. Mikro modelyje modeliuojama gatvių tinklo atkarpa (-os) turi būti kaip įmanoma detalesnė ir atitikti realiam pasaulyje esančius parametrus, – pvz. eismo juostų skaičių, jų plotį, leidžiamą transporto priemonių greitį, sankryžos geometriją, eismo valdymo būdą, galimus transporto priemonių manevrus ir pan. Makro lygmenyje mazgai vaizduojantys sankryžas privalo turėti informaciją apie galimus manevrus, bet nebūtina informacija apie sankryžos šviesoforų valdymo planus ar šviesoforais nereguliuojamų sankryžų reguliavimą. Mikro modelyje visa informacija susijusi su sankryžos eismo reguliavimu yra būtina (šviesoforinės sankryžos šviesoforų darbo planai, stop linijų padėtys, šviesoforais nereguliuojamose sankryžose naudojamas eismo reguliavimas ir pan.). Judant nuo aukščiausio makro lygmens iki žemesnio mezo ir žemiausio mikro lygmens modeliavimo susiduriama su trūkstama informacija, kuri turi būti vis detalesnė ir atvirksčiai, judant nuo mikro modeliavimo iki makro, duomenys turi būti agreguojami.

Pagrindiniai ekspertinės analizės ir modeliavimo privalumai ir trūkumai pateikiami 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Ekspertinės analizės ir modeliavimo palyginimas (sudaryta autoriaus)

Table 1.1. Comparison of expert analysis and modelling (created by author)

Nr.	Kriterijus	Ekspertinė analizė	Modeliavimas
1	Laikas	Vidutiniškai reiklus laikui	Daug laiko reikalaujantis
2	Kaina	Pigus	Brangus
3	Reikalingų žmonių kiekis	Užtenka ir vieno, tačiau tokia praktika ydinga	Užtenka ir vieno, tačiau dažnai dėl didelės apimties darbų pasitelkiama komanda
4	Rezultatų patikimumas	Dažnai priklauso nuo pasirinktos ekspertų grupės kompetencijos, naudojamų duomenų tikslumo bei tinkamos rezultatų apdorojimo metodikos parinkimo	Aukšto patikimumo rezultatai nedideliuose projektuose; patikimumas mažėja didėjant projektams ir juose esančių kintamųjų skaičiui; rezultatų patikimumas priklauso nuo modeliuotojo kompetencijos
5	Rezultatų išsamumas	Dažnai atsakymas būna tik teigiamas arba neigiamas, tačiau pritaikant daugiakriterinius metodus rezultatai gali būti pateikiami hierarchine tvarka nuo geriausio iki blogiausio	Rezultatai išsamūs

Akivaizdu, kad ekspertinis metodas labiau tinkamas sprendžiant nedidelės apimties uždavinius, kai reikia pigaus ir greito atsakymo. Dažnai, tai būna tik patvirtinantis balsas ties iš anksto priimta nuomone. Modeliavimas daug laiko, pinigų ir žinių reikalaujantis metodas, kuris gali pateikti aukšto patikimumo rezultatus, tačiau esant nevienareikšmiams rezultatams galutinis jų interpretavimo tikslumas priklauso nuo modeliuotojo kompetencijos.

Paprastai yra modeliuojama „nauja situacija“. Dažniausiai pasitaikantys „naujos situacijos“ pavyzdžiai: statomas naujas kelias, tiltas, tunelis; kelias tiltas ar tunelis yra rekonstruojami; esamas kelias, tiltas, tunelis yra uždaromas; diegiama nauja viešojo transporto rūšis; esama viešojo transporto rūšis yra keičiama; esama viešojo transporto rūšis yra naikinama; keičiamos krovinių ir pristatymo paslaugų vežimo sąlygos; keičiamas oro uostas ir jū teikiamos paslaugos; keičiamas vandens uostas ir jū teikiamos paslaugos; kuriama nauja ar rekonstruojama esama dviratininkams skirta infrastruktūra; kuriama nauja ar rekonstruojama esama pėstiesiems skirta infrastruktūra; keičiama parkavimo tvarka; įvedami arba panaikinami apribojimai atskiroms transporto rūšims; įvedama arba keičiama

rinkliava, mokestinė politika, bilietų sistema atskiroms transporto rūšims ar paslaugoms; pasikeičia gyventojų skaičius nagrinėjamoje teritorijoje; naujų gyvenamųjų, ofisų, prekybos vietų statyba nagrinėjamoje teritorijoje; pasikeičia gyventojų transporto sistemos naudojimo įpročiai. Visais šiais atvejais modeliavimas gali padėti labiau suprasti naują situaciją bei priimti tinkamus sprendimus. Tačiau modeliavimas negarantuoja, kad visais atvejais jis bus naudingas.

Kaip modeliavimas gali pagelbėti priimant sprendimus esant įvairioms situacijoms pateikiama žemiau esančioje lentelėje.

1.2 lentelė. Transporto modelio panaudojimas (sudaryta autoriaus)

Table 1.2. Usage of a transport model (created by author)

Situacija		Modelio pateikiami atsakymai
1		2
Kelias, gatvė, greitkelis, aplinkkelis	Nauja statyba Rekonstrukcija Uždarymas	Reikalingų eismo juostų skaičius. Esamas bei prognozuojamas transporto srauto dydis bei jo sudėtis (kokią srauto dalį sudaro lengvieji automobiliai, autobusai, sunkvežimiai ir t. t.).
Gatvė, tiltas, tunelis	Nauja statyba Rekonstrukcija	Eismo reguliavimo priemonė ar jų grupė, reikalinga susikertančiose gatvėse. Esamas bei prognozuojamas transporto priemonių, gyventojų skaičius, judantis naujomis transporto jungtimis bei jų maršrutai.
Eismo mažinimas bei apribojimas		Paros metas, kuomet apribojimai gali būti taikomi. Esamas bei prognozuojamas transporto priemonių kiekis, kurį paveiks.
Viešojo transporto stotis	Nauja statyba Rekonstrukcija	Reikalingų vartų, bilietų pardavimo kasų skaičius. Esamas bei prognozuojamas keleivių skaičius.
Rinkliava, mokesčiai, bilietų sistema		Dydis. Esamos bei planuojamos pajamos. Planuojamos pajamos pagal tai kiek vartotojai yra linkę mokėti.

1.2 lentelės pabaiga

1		2
Viešojo transporto maršrutai	Nauji Keitimas	Reikalingų viešojo transporto priemonių skaičius piko metu. Paros metas, kuomet apkrovimas yra didžiausias. Esamas bei prognozuojamas keleivių skaičius maršrute, stotelėse.
Oro uostas	Nauja statyba Rekonstrukcija	Reikalingas terminalo dydis. Keleivių skaičius švenčių ar atostogų metu.
Vandens uostas	Nauja statyba Rekonstrukcija	Reikalingas priplaukų ilgis. Reikalingas laivų, keltų, vandens taksi skaičius. Esamas ir prognozuojamas keleivių skaičius.
Krovinių vežimo, pristatymo paslaugos		Esamas bei prognozuojamas transporto priemonių skaičius. Esamas bei prognozuojamas transporto priemonių srautas nagrinėjamoje atkarpoje ar vietovėje.
Infrastruktūra pėsčiams ir dviratininkams	Nauja statyba Rekonstrukcija	Žaliojo signalo trukmė sankryžoje, sankirtoje skirta pėsčiams ir (ar) dviratininkams. Srauto pasiskirstymas atskiromis kryptimis sankryžoje. Esamas bei prognozuojamas pėsčiųjų ir (ar) dviratininkų skaičius.
Teritorijos plėtra (nauji gyvenamieji pastatai, prekybos centrai, ofisai ir t. t.)		Aukščiau išvardinti atsakymai.

Lentelėje pateikiami tik pagrindiniai transporto modelio panaudojimo būdai. Modelis gali pateikti kur kas išsamesnius atsakymus į rūpimus klausimus, kurie be modelio yra sunkiai nustatomi. Taip pat modelis ne tik atspindi esamą situaciją, bet gali būti naudojamas ateities scenarijams, kai vienokie ar kitokie sprendiniai yra įgyvendinti.

Transporto modeliavimo ekspertas privalo mokėti tiksliai įvertinti situaciją bei nustatyti ar tai situacija gali būti pritaikomas transporto modelis ar ne, priešingu atveju rezultatai ne tik, kad bus nereikšmingi ir nepagrįsti, bet ir bus sugaištamasis laikas bei patiriamos netinkamos sąnaudos.

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Didėja atotrūkis tarp transporto sistemos srautų ir infrastruktūros. Tai keičia požiūrį į miesto susisiekimo sistemos vystymąsi, kuris reikalauja inovacijų ir kitų šalių patirties taikymo.
2. Viena efektyviausių, tranzitinį transporto srautą, transporto grūstis, oro taršą, triukšmą, mažinančių priemonių yra aplinkkelių įrengimas. O į bendrą sistemą sujungti aplinkkeliai decentralizuoja motorinių transporto priemonių judėjimą, sumažėja transporto intensyvumas miesto centrinėje dalyje, nukreipiamas tranzitinis transporto srautas.
3. Remiantis užsienio patirtimi bei ES rekomendacijomis Lietuvos transporto politikoje numatyta skatinti miestų ir priemiesčių transporto sistemos darnumą integruojant užmiesčio magistralinių kelių tinklo ir miesto greito eismo gatvių tinklo sistemas. Tokia užmiesčio ir miesto kelių bei gatvių tinklų sistemų sąveika užtikrina greičiau atsiperkančius rezultatus ir suteikia galimybes surasti tinkamiausią aplinkkelio ir greito eismo gatvės padėtį miesto gatvių tinklo požiūriu.
4. Transporto srautų modeliavimas – patikimas susisiekimo infrastruktūros parinkimo metodas, galintis prognozuoti jos poveikį visai miesto susisiekimo sistemai, tačiau yra brangus bei imlus laikui. Todėl siektina sukurti naują, suprantamą, pakankamo patikimumo ir nereikalaujančią didelių piniginių kaštų susisiekimo sistemos analizės metodiką, kuri tiktų strateginiam susisiekimo sistemos planavimui.
5. Lietuvos bei užsienio literatūros analizė paskatino išsikelti šiuos uždavinius:
 - 5.1. išanalizuoti miesto susisiekimo sistemos laidumo problemų tyrimo metodus ir sprendimo būdus;
 - 5.2. atrinkti veiksnius, siekiant parinkti aplinkkelio ar greito eismo gatvės vietą;
 - 5.3. sudaryti metodinę veiksnų seką aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimui;
 - 5.4. praktiškai patikrinti sudarytą aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką.



2

Miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodikos sudarymas

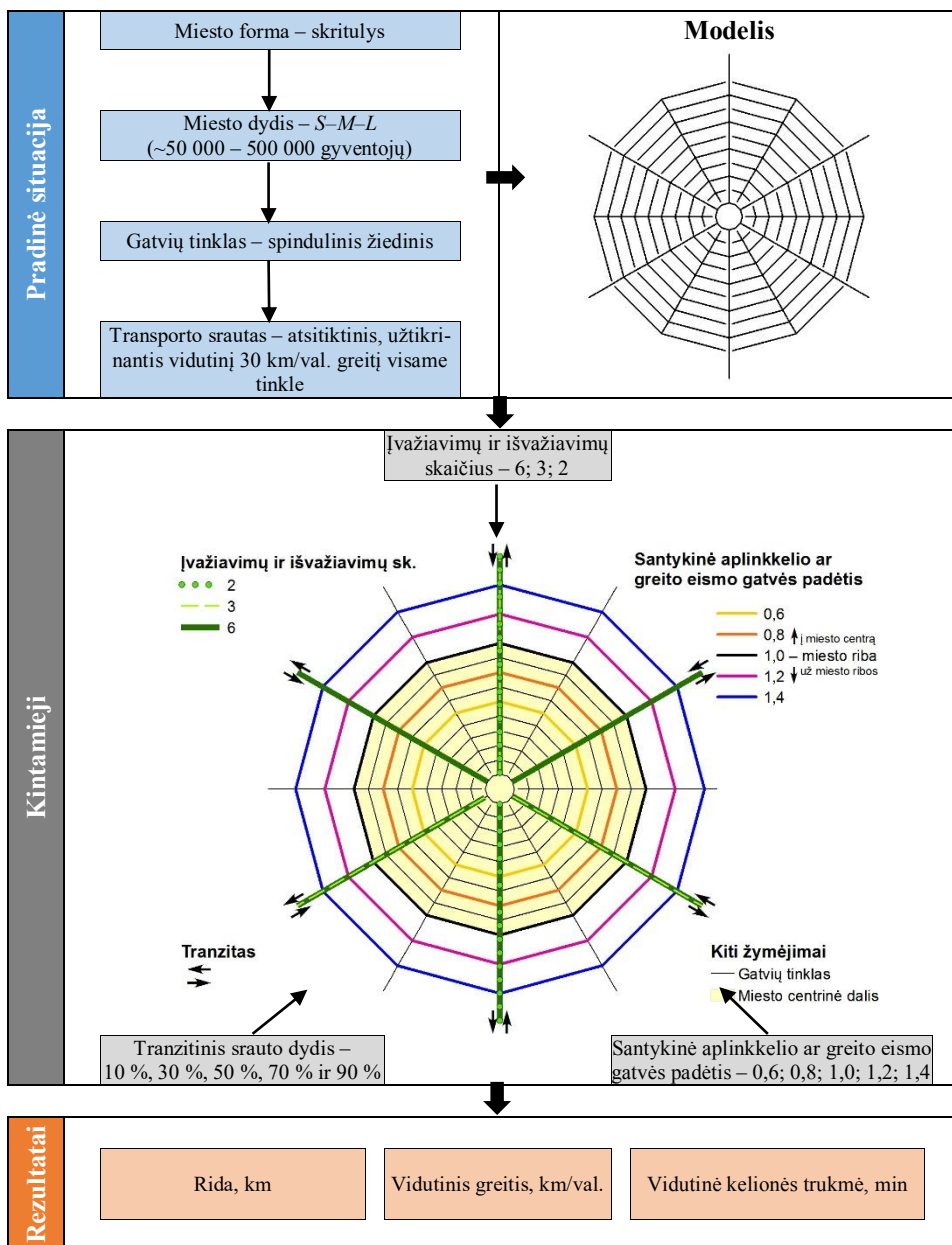
Antrame skyriuje remiantis transporto modelių variantinių modeliavimų rezultatais sudaroma miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika.

Šio skyriaus tematika publikuoti straipsniai (Dumbliauskas ir Barauskas 2015; Dubliauskas *et al.* 2018).

2.1. Idealizuoto miesto transporto modelio kūrimas

Siekiant sudaryti miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką būtina turėti idealizuoto miesto teorinį transporto modelį, kurio pagalba būtų galima išbandyti skirtingus susisiekimo infrastruktūros bei transporto srautų pokyčių variantus. Tokio sukurto teorinio transportinio modelio tiek tarp Lietuvos, tiek tarp užsienio šalių mokslininkų nėra. Todėl prieš sudarant metodiką sukurta idealizuoto miesto transporto modelis.

Apibendrinta idealizuoto miesto transporto modelio sudarymo schema pateikta 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Idealizuoto miesto transporto modelis (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.1. Transport model of idealised city (created by author)

Pagrindiniai transporto modelio kintamieji: I – miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius; T – procentinė tranzitinio srauto dalis nuo bendro srauto miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose; P – greito eismo gatvės ar aplinkkelio santykinė padėtis miesto geometrinio centro ir miesto ribos atžvilgiu. Viso parengta ir sumodeliuota 90 skirtingų variantų.

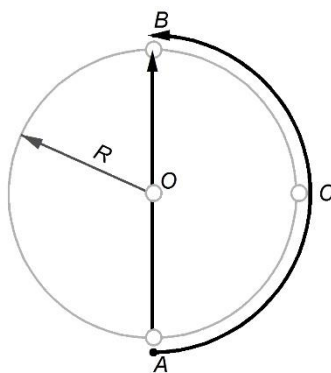
Tolimesniuose poskyriuose detalizuojamas modelio sudarymas bei analizuojami gauti modeliavimo rezultatai.

2.2. Pagrindinių parametru metodikos sudarymui nustatymas

Miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodikos tikslas – mieste atliekamų kelionių laiko minimizavimas, panaudojant aplinkkelių ir greito eismo gatvių tinklą, kuriam nereikėtų sudėtingo, daug laiko ir lėšų reikalaujančio viso miesto transporto srautų modeliavimo.

Pagrindiniai metodikos faktoriai:

- Trasos parinkimas. Stengiamasi išlaikyti kuo trumpesnę trasą;
- Trasos padėtis miesto atžvilgiu. Trasos padėtis nulemia ar aplinkkelis skirtas tik tranzitui, ar tranzitui ir miesto vidiniams poreikiams, ar tik miesto vidiniams poreikiams (greito eismo gatvė).



2.2 pav. Abstrakti aplinkkelių ar greito eismo gatvių, sudarančių žiedą, ilgio schema (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.2. An abstract length scheme of bypasses or fast traffic streets (created by author)

Aplinkkelio ar greito eismo gatvės privalumai pasireiškia tuomet, kai sutaupomas kelionės laikas judant greičiau, nei įprastinėmis miesto gatvėmis. Tai galima pagrįsti abstrakčiu pavyzdžiu. Tarkime aplinkkelis ar greito eismo gatvė sudaro pusę apskritimo perimetro, o tiesus kelias yra lygus dviem apskritimo

spinduliams. Užduotis – nustatyti judėjimo greičių santykį tarp aplinkkelio arba greito eismo gatvės ir tiesaus kelio skersmeniu, kai judėjimo laikai yra lygūs. Abstrakti schema pateikta 2.2 paveiksle.

Aplinkkelis ar greito eismo gatvė yra naudinga tik tuomet, kai kelionės laikas iš taško A į tašką B per tašką C yra trumpesnis už kelionės laiką per tašką O . Aplinkkelio arba greito eismo gatvės ilgis yra lygus pusei apskritimo ilgio:

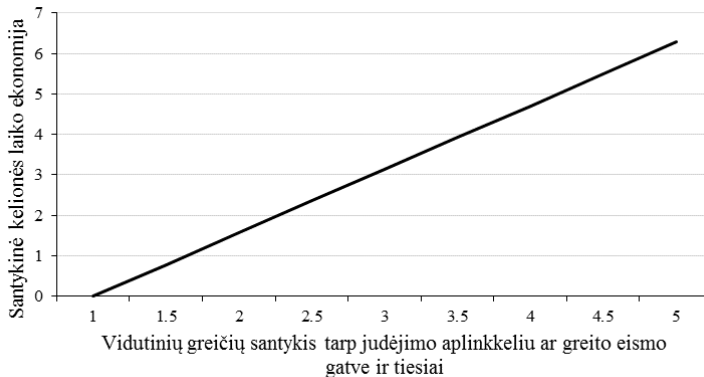
$$ACB = \frac{2\pi R}{2} = \pi R. \quad (2.1)$$

Tiesaus kelio ilgis:

$$AOB = 2R. \quad (2.2)$$

Tuomet santykis tarp judėjimo aplinkkeliu arba greito eismo gatve ir tiesiu keliu:

$$\frac{ACB}{AOB} = \frac{\pi R}{2R} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57. \quad (2.3)$$



2.3 pav. Santykinė kelionės laiko ekonomija (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.3. Relative travel time economy (created by author)

Gautas rezultatas rodo, kad judant aplinkkeliu arba greito eismo gatve, judėjimo greitis turi būti 1,57 karto didesnis, kad kelionės laikai, judant aplinkkeliu arba greito eismo gatve ir tiesiu keliu, būtų lygūs. Kuo didesnis judėjimo greičių santykis, tuo didesnė santykinė laiko ekonomija judant aplinkkeliu arba greito eismo gatve (žr. 2.3 pav.).

Akivaizdu, kad teoriniam idealizuoto miesto transporto modeliui tinkamiausia geometrinė forma yra skritulys su žiediniu gatvių tinklu arba branduolinio tipo miestas.

2.2.1. Idealizuotas miestas

Transporto srautų modeliavimas atliekamas idealizuotam miestui. Vienas pagrindinių miesto parametrų yra jo dydis. Miestai įprastai skirstomi į dydžius ne pagal užimamą plotą, bet pagal juose gyvenančių gyventojų skaičių. Iki 2011 m. nebuvo aišku kaip skirstyti miestus pagal gyventojų skaičių. Tuomet Ekonominio bendradarbiavimo ir plėtros organizacija kartu su EK išleido miestą apibūdinančią metodiką. Joje miestai suskirstyti į 6-ias grupes pagal miesto centre esančių gyventojų skaičių, kai miesto centru laikoma teritorija, kurios 1 km² ploto gardelėse yra ne mažiau kaip 1500 gyventojų. Miestų klasifikacija pateikta 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Europos Sąjungos miestų klasifikacija į dydžius pagal gyventojų skaičių (European Commission (EC) 2012)

Table 2.1. European Union urban centre sizes in population (European Commission (EC) 2012)

Dydis	Gyventojų skaičius
<i>S</i>	nuo 50 000 iki 100 000
<i>M</i>	nuo 100 000 iki 250 000
<i>L</i>	nuo 250 000 iki 500 000
<i>XL</i>	nuo 500 000 iki 1 000 000
<i>XXL</i>	nuo 1 000 000 iki 5 000 000
<i>Pasaulinis miestas</i>	daugiau kaip 5 000 000

Lietuvoje išskirti du *S* dydžio (Panevėžys ir Alytus), du *M* dydžio (Klaipėda ir Šiauliai) ir du *L* dydžio (Vilnius ir Kaunas) miestai. Tuo tarpu ES vyrauja *S* dydžio miestai, kurie sudaro net 50 % visų miestų (žr. 2.2 lentelę).

2.2 lentelė. Miestų kiekis pagal dydį Lietuvoje ir Europos Sąjungoje (sudaryta autoriaus panaudojus Europos Komisijos duomenis)

Table 2.2. Number of cities in Lithuania and European Union (created by author using European Commission data)

Valstybė	<i>S</i>	<i>M</i>	<i>L</i>	<i>XL</i>	<i>XXL</i>	<i>Pasaulinis miestas</i>	Viso
Lietuva	2	2	2	–	–	–	6
ES	410	261	71	38	24	2	806
ES, %	50,87	32,38	8,81	4,71	2,98	0,25	–

Modeliui parinktas toks miesto dydis, kuris apima *S*, *M* ir *L* klasifikacijai priskiriamus miestus pagal jų gyventojų skaičių.

2.2.2. Gatvių tinklo struktūra

Išskiriama keletas gatvių tinklo tipų: spindulinis, spindulinis žiedinis, stačiakampis, stačiakampis įžambinis, mišrus ir unikalus. Unikalus gatvių tinklas labiausiai paplitęs, tokį tinklą turi daugelis Lietuvos miestų, tačiau jis nėra tinkamas variantiniam modeliavimui dėl savo unikalų, sunkiai klasifikuojamų parametrų. Priešingybė tokiam tinklui – spindulinis žiedinis. Pastarasis yra simetriškas, gali būti lengvai modifikuojamas, keičiant spindulių, periferinių žiedų skaičių.

Spinduliniu laikomas toks gatvių tinklas, kuriame daugiau kaip dvi pagrindinės gatvės susikerta miesto centrinėje dalyje. Spindulinis žiedinis gatvių tinklas koncentruoja didžiausius transporto srautus miesto centrinėje dalyje, todėl didelė nuolatinių kamščių tikimybė. Centrinis ir kiti periferiniai žiedai sujungia spindulines gatves paskirstydami miesto bei nukreipdami užmiesčio transporto srautus.

Miestų gatvių tinklai įprastai susiformuoja natūraliai atsižvelgiant į tranzitinius maršrutus, gamtines kliūtis, užstatymą, todėl jiems būdingas unikalus gatvių tinklas. Tipiniai gatvių tinklai aiškiai matomi iš anksto suplanuotiems miestams, kurie sudaro labai mažą visų miestų dalį. Kitiems miestams gatvių tinklo tipai priskiriami atsižvelgiant į vyraujančią gatvių tinklo bruožą. Lietuvos miestams galima priskirti tokius gatvių tinklo tipus: spindulinis – Panevėžio; spindulinis-žiedinis – Vilnius, unikalus – Kauno, Šiaulių, Alytaus; stačiakampis – Klaipėdos.

Idealizuoto miesto gatvių tinklui parinktas spindulinis-žiedinis gatvių tinklo tipas, kuris yra tinkamas variantiniam greito eismo gatvių ir aplinkkelių modeliavimui dėl savo simetriškumo, universalumo bei aiškios struktūros. Šis tinklas taip pat gali būti pritaikomas miestams su spinduliniu ar unikaliumi gatvių tinklu, turinčiu spindulinio ar spindulinio-žiedinio gatvių tinklo bruožą. Gatvių tinklas spinduliniam-žiediniam miesto modeliui sudarytas laikantis pagrindinių struktūros principų, atsižvelgta į normatyviniuose dokumentuose išdėstytus techninius parametrus.

2.3 lentelė. Pagrindiniai idealizuoto miesto gatvių tinklo parametrai (sudaryta autoriaus)
Table 2.3. Main parameters of idealised city street network (created by author)

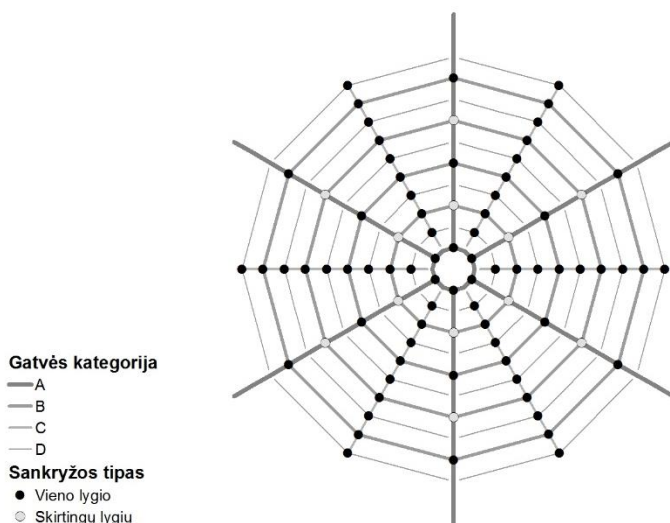
Gatvės kategorija	Projektinis greitis, km/h	Eismo juostų skaičius
A	80	4
B	60	4
C	50	2
D	50	2

Gatvių tinklą sudaro A, B, C ir D kategorijos gatvės, kurių pagrindiniai parametrai pateikti 2.3 lentelėje, o gatvių tinklo schema 2.4 paveiksle.

Greito eismo gatvės priskiriamos A kategorijos gatvėms, todėl joms taikomi numatyti techniniai parametrai. Tokie pat techniniai parametrai taikomi ir aplinkkeliams. Idealizuoto miesto centrinės dalies spindulys – 4 km. Tokio miesto plotas – 50 km². Idealizuoto miesto gatvių tinklo rišlumas β – 2,0 (geras). Gatvių tinklo rišlumas – dydis, parodantis santykį tarp gatvių atkarpų tarp sankryžų ir sankryžų skaičiaus, apskaičiuojamas pagal formulę (Juškevičius 2003):

$$\beta = \frac{g}{s}, \quad (2.4)$$

čia β – gatvių tinklo rišlumas ($1 \leq \beta \leq 3$); g – gatvių atkarpų tarp sankryžų skaičius; s – sankryžų skaičius.



2.4 pav. Idealizuoto miesto gatvių tinklas (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.4. Street network of idealised city (created by Author)

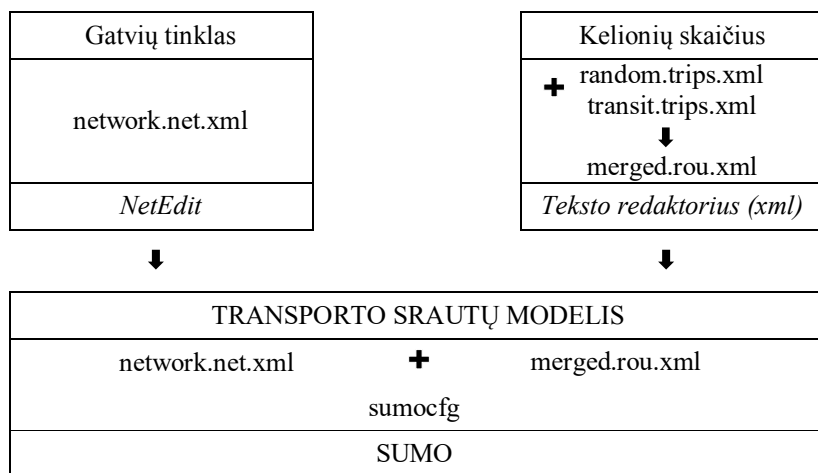
Sukūrus idealizuoto miesto gatvių tinklą pereinama prie transporto modelio sudarymo.

2.2.3. Transporto modelis

Transporto srautų modeliavimas atliktas SUMO programiniu paketu. Tai atviro kodo programinis paketas, kuris dažnai taikomas moksliniuose darbuose dėl savo lankstumo ir patikimumo. Programa pripažinta ir panaudota tokiuose projektuose: Soccer, VABENE, iTETRIS, DRIVE C2X, COLOMBO, AMITRAN. Pagrindinis

šios programos privalumas yra tai, kad ji yra atviro kodo ir nemokama. SUMO programa nuo 2001 m. sukurta ir tobulinama Transporto sistemų instituto Berlyne (angl. Institute of Transport Systems). 2018 m. išleista stabili ir visas pagrindines transporto modeliavimui reikalingas funkcijas atliekanti SUMO 1.0.0 versija, tačiau tuo darbas nesibaigė ir nuolat išleidžiami atnaujinimai ir patobulinimai. Nuo kitų transporto srautų modeliavimo programų ši programa skiriasi tuo, kad daugumą modeliavimo operacijų tenka nurodyti naudojant ne programos pateikiamas funkcijas, o pačiam jas aprašant panaudojant XML kalbą. Todėl modelio sudarymas lėtesnis nei naudojant mokamas programas su išbaigtu UI (angl. User Interface – erdvė, kur vyksta žmogaus ir kompiuterio sąveika), tačiau tai padeda užtikrinti modelio parametrų kontrolę viso modeliavimo metu.

Bendroji modelio struktūra pateikiama 2.5 paveiksle. Transporto srautų modelį sudaro dvi pagrindinės dalys, – Gatvių tinklas ir Kelionių skaičius. Gatvių tinklas kuriamas *NetEdit* programa (programos teksto ištrauka pateikta C priede). Kelionių skaičius susideda iš esamo atsitiktinio srauto (random.trips.xml) ir tranzitinio srauto miesto pagrindiniuose miesto įvažiavimuose ir išvažiavimuose (transit.trips.xml) (programos teksto ištraukos pateiktos atitinkamai D ir E prieduose). Kelionių skaičius aprašomas teksto redaktoriumi, turinčiu xml kalbos atpažinimą. Esamas atsitiktinis srautas ir tranzitinis srautas panaudojus python programą parengtą programą, sujungiami bei sugeneruojamas merged.rou.xml, kuriame aprašomi transporto priemonių judėjimo maršrutai (žr. F priedą). Gauti gatvių tinklo ir kelionių skaičiaus xml failai apjungiami panaudojus SUMO sumocfg failą, kuriame nurodomi pagrindiniai modelio atvaizdavimo parametrai bei užklausiama norimų gauti rezultatų (žr. B priedą).



2.5 pav. Bendroji modelio struktūra (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.5. Model structure (created by author)

Panaudojant SUMO programinio paketo *NetEdit* programą parengtas idealizuoto miesto gatvių tinklo transporto modelis, kuris tinkamas S (gyventojų skaičius – 50–100 tūkst.), M (gyventojų skaičius – 100–250 tūkst.) ir L (gyventojų skaičius – 250–500 tūkst.) dydžio miestams. Miesto gatvių tinkle užtikrinamas apie 30 km/val. vidutinis kelionės greitis. Vidutinis kelionės greitis parinktas remiantis 2017 m. vokiečių atliktos studijos tyrimais (Best and Worst... 2017). Šia studija siekta išsiaiškinti miestus, kuriuose yra didžiausios ir mažiausios grūstys. Viso ištirta 500 pasaulio miestų iš kurių vėliau atrinkta po 50 su didžiausiomis ir mažiausiomis grūstimis bei atitinkamai nurodytu vidutiniu kelionės greičiu. Pasielkus šiuos duomenis nustatyta vidutinė vidutinio kelionės greičio reikšmė, kuri panaudota kuriant idealizuoto miesto transporto modelį.

Idealizuotam miestui taip pat parinkta tipinė sustambinta transporto srauto struktūra: 85 % srauto sudaro lengvieji automobiliai, 15 % srauto – krovinių transporto priemonės. Transportinio modelio rezultatai gali būti taikomi esant krovinių transporto procentinei daliai bendrame sraute nuo 5 iki 25 %. Pagrindiniai transporto priemonių parametrai pateikiami žemiau esančioje lentelėje.

2.4 lentelė. Pagrindiniai transporto priemonių parametrai transporto modelyje (Vehicle type parameter... 2018)

Table 2.4. Main vehicle parameters in transport model (Vehicle type parameter... 2008)

Transporto priemonės tipas	Gabariai (ilgis, plotis, aukštis), m	Minimalus atstumas tarp transporto priemonių, m	Greitėjimo pagreitis, m/s ²	Lėtėjimo pagreitis, m/s ²	Avarinio stabdymo pagreitis, m/s ²	Maksimalus greitis, km/val.
Lengvasis automobilis	4,3 1,8 1,5	2,5	2,9	7,5	9,0	180
Sunkvežimis	7,1 2,4 2,4	2,5	1,3	4,0	7,0	130

2.4 lentelėje pateiktų pagrindinių transporto priemonių parametru, panaudotų kuriant transporto modelius, paaiškinimai:

- Minimalus atstumas tarp transporto priemonių parodo kokiu atstumu transporto priemonės laikosi viena nuo kitos, kai stovi grūstyje;
- Greitėjimo ir lėtėjimo pagreičiai parodo kaip greitai transporto priemonės įsibėgėja ir sustoja eisme nesant kritinei situacijai;
- Avarinio stabdymo pagreitis parodo koks fiziškai didžiausias galimas transporto priemonės pasiekiamas lėtėjimo pagreitis esant kritinei situacijai;
- Maksimalus greitis rodo transporto priemonės galimą maksimalų konstrukcinį greitį, tačiau jis dažniausiai nepasiekiamas dėl gatvių tinklo nurodytų leistinų greičio ribų.

Taip pat nemažiau svarbūs ir kiti parametrai, kurie naudojami transporto modelyje:

- σ – transporto priemonės sekimo modelio parametras, apibūdinantis vairuotojo netobulumą. Naudojamas SUMO programoje numatytas Krauss modelis, kuriame σ reikšmė kinta nuo 0 iki 1. Modelyje naudojama 0,5 reikšmė, kuri yra arčiausia realios vairuotojų elgsenos;
- τ – transporto priemonės sekimo modelio parametras, nurodantis vairuotojo pageidaujama laiką sprendimams priimti. Naudojamas Krauss modelis, reikšmė – 1,0 s. Tai yra laikas, kurį vairuotojas gali skirti priimti sprendimus pasikeitus eismo situacijai;
- LC2013 – įprastas persirikiavimo tarp eismo juostų modelis.

Krauss transporto priemonės sekimo modelis aprašomas formulėmis (Krauss 1997):

$$\begin{aligned}
 v_{t+T}^f &= \text{Max}[0, v_d - \epsilon a \eta]; \\
 v_d &= \text{Min}(v_f(t) + a_{max} T, v_s, V_{max}); \\
 v_s &= v_l(t) + \frac{g_n(t) - v_l(t) T}{\frac{v_f(t) + v_l(t) T}{2b} + T},
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

čia v_{t+T}^f – paskui važiuojančios transporto priemonės (sekėjo) greitis praėjus reakcijos laikui T ; v_d – pageidaujamas transporto priemonės greitis; ϵ – triukšmo amplitudė; a – transporto priemonės greitėjimo pagreitis; η – atsitiktinis skaičius; v_d – pageidaujamas transporto priemonės greitis; $v_f(t)$ – paskui važiuojančios transporto priemonės (sekėjo) greitis, laiku t ; a_{max} – maksimalus transporto priemonės pagreitis; T – reakcijos laikas; v_s – saugus transporto priemonės greitis; V_{max} – maksimalus leistinas transporto priemonės greitis; $v_l(t)$ – priekyje

esančios transporto priemonės (lyderio) greitis laiku t ; $g_n(t)$ – tarpas tarp transporto priemonių; b – transporto priemonės lėtėjimo pagreitis.

Kadangi modeliuota mezo lygmenyje, todėl pasitelkta galimybė gatvių tinklą užpildyti atsitiktiniu srautu pagal gatvių tinklo parametrus. Taip pat pradinis srauto dydis sukalibruotas, kad užtikrintų apie 30 km/val. vidutinį greitį. Atsitiktinis srautas naudotas su pradine reikšme, siekiant išlaikyti tą patį sugeneruotą srautą variantiniam modeliavimui, t. y. išlaikyti pradinį srauto dydį konstanta visais modeliuojamais variantais. Rankiniu būdu keistas tik tranzitinio srauto dydis miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose. Naudotos tokios procentinės tranzitinio srauto nuo bendro srauto reikšmės – 10 %, 30 %, 50 %, 70 % ir 90 %. Tranzitinio srauto dalis bendrame sraute aprašoma formule:

$$T_r = Dx_i, \quad (2.6)$$

čia T_r – tranzitinis srautas; D – bendras srautas; x_i – tranzitinio srauto dalis nuo bendro srauto, $i \in [0, 1 \dots 0,9]$.

Pasirinktos tranzitinio srauto procentinės reikšmės, kurios teoriškai apimtų visą galimą intervalą ir padėtų aiškiau įžvelgti parametrų kitimo tendencijas ir priklausomybes. Realiomis sąlygomis tranzitinio srauto dydis virš 50 % nuo bendro srauto sunkiai tikėtinas, galintis pasireikšti tik unikaliais, išskirtiniais atvejais. Įprastai tranzitinis srautas siekia apie 10 %, rečiau iki 30 %. Didesnis tranzitinio srauto dydis tikėtinas esant mažesniai įvažiavimų ir išvažiavimų mieste skaičiui. Tranzitinio srauto nustatymas – sudėtingas transporto uždavinys, tam reikalinga įranga, turinti galimybę fiksuoti transporto priemones ir jų valstybinius registracijos numerius, o pastaroji turi būti išdėstyta visuose miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose ir sudaryti bendrą sistemą. Tokie tyrimai yra ne tik sudėtingi, bet ir brangūs, todėl dažniausiai atliekami tik didžiuosiuose Europos miestuose, kur SS problemos yra ypač didelės ir būtina turėti kuo tikslesnį transporto modelį joms spręsti. Modelyje tranzitinis srautas paskirstytas įvažiavimuose į miestą.

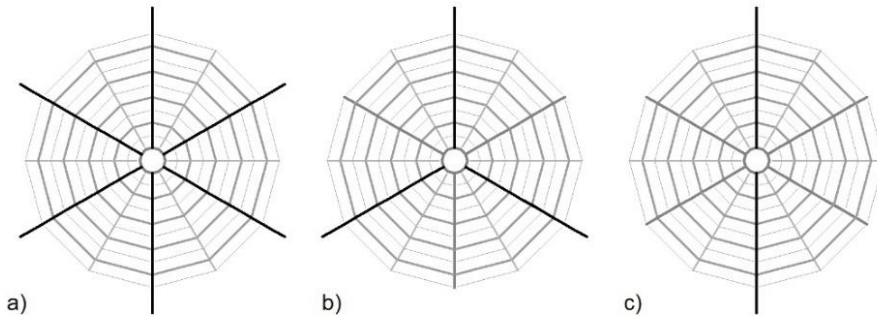
Miestai turi skirtingą skaičių pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų, todėl priimta modeliuoti tris labiausiai tikėtinius variantus, – kai mieste yra 6, 3 arba 2 pagrindiniai įvažiavimai ir išvažiavimai (žr. 2.6 pav.):

- 6 įvažiavimai ir išvažiavimai mieste užtikrina labai gerus ryšius su kitais miestais, toks ir didesnis įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius dažniausiai pasitaikantis miestuose bei optimalus greito eismo gatvių ir (ar) aplinkkelių diegimui dėl pagrindinių greito eismo gatvių ir aplinkkelio veikimo savybių;
- 3 įvažiavimai ir išvažiavimai mieste labai dažnai pasitaikanti situacija S dydžio miestuose. Santykinai dideli koncentriniai atstumai tarp įvažiavimų ir išvažiavimų blogina susisiekimo sąlygas su kitais miestais. Taip pat padidina ir miesto SS apkrovą, dėl tranzitinio srauto bei vidinių ryšių

trūkumo. Tokiais atvejais greito eismo gatvių ir (ar) aplinkkelių diegimas nėra aiškiai pagrįstas bei neišku prie kokių SS parametrų jis yra naudingas;

- 2 įvažiavimai ir išvažiavimai mieste visų Europos miestų kontekste ganėtinai retai pasitaikanti situacija, tačiau su tuo susiduria ne vienas mažesnis Europos miestas ar Lietuvos miestelis, kai dėl gamtinių ar susiklosčiusių istorinio planavimo, miestą kerta vienas kelias. Ar tokiais atvejais transporto požiūriu yra naudinga diegti greito eismo gatves ar aplinkkelius nėra aiškaus atsakymo.

6, 3 ir 2 pagrindiniai įvažiavimai ir išvažiavimai mieste pasirinkti neatsitiktinai, o siekiant įvertinti dažniausiai pasitaikančius tipinius atvejus, bei padėti atsakyti į klausimą kada greito eismo gatves ar aplinkkelius transporto požiūriu yra naudinga diegti miesto ST.



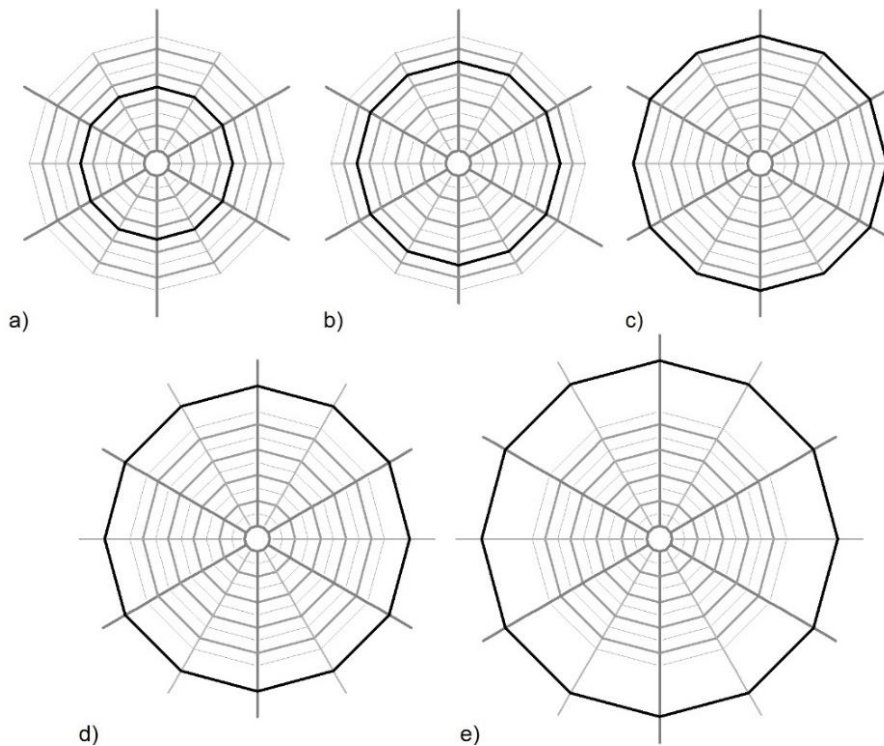
2.6 pav. Idealizuoto miesto gatvių tinklas su skirtingu pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiumi: a) 6 įvažiavimai ir išvažiavimai;

b) 3 įvažiavimai ir išvažiavimai; c) 2 įvažiavimai ir išvažiavimai (sudaryta autoriaus)
Fig. 2.6. Street network of idealised city with different count of main entries and exits: a) 6 entries and exits; b) 3 entries and exits; c) 2 entries and exits (created by author)

Paskutinis, bet svarbiausias transporto modelio kintamasis – aplinkkelio ar greito eismo gatvės santykinė padėtis miesto geometrinio centro ir miesto ribos atžvilgiu. Santykinis atstumas 1,0 yra laikomas atstumas nuo miesto geometrinio centro iki miesto ribos. Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$P_s = M_c x_i, \quad (2.7)$$

čia P_s – aplinkkelio ar greito eismo gatvės padėtis, – atstumas nuo miesto geometrinio centro; M_c – atstumas nuo miesto geometrinio centro iki miesto ribos; x_i – aplinkkelio ar greito eismo gatvės padėtis, – atstumo nuo miesto geometrinio centro, santykis su atstumu nuo miesto geometrinio centro iki miesto ribos, $i \in [0,6 \dots 1,4]$.



2.7 pav. Idealizuoto miesto gatvių tinklas su skirtingomis aplinkkelių ar greito eismo gatvių padėtimis: a) santykinis atstumas nuo miesto centro 0,6; b) santykinis atstumas nuo miesto centro – 0,8; c) santykinis atstumas nuo miesto centro – 1,0; d) santykinis atstumas nuo miesto centro – 1,2; e) santykinis atstumas nuo miesto centro – 1,4 (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.7. Street network of idealised city with different locations of bypasses or fast traffic streets: a) relative distance from city centre – 0,6; b) relative distance from city centre – 0,8; c) relative distance from city centre – 1,0; d) relative distance from city centre – 1,2; e) relative distance from city centre – 1,4 (created by author)

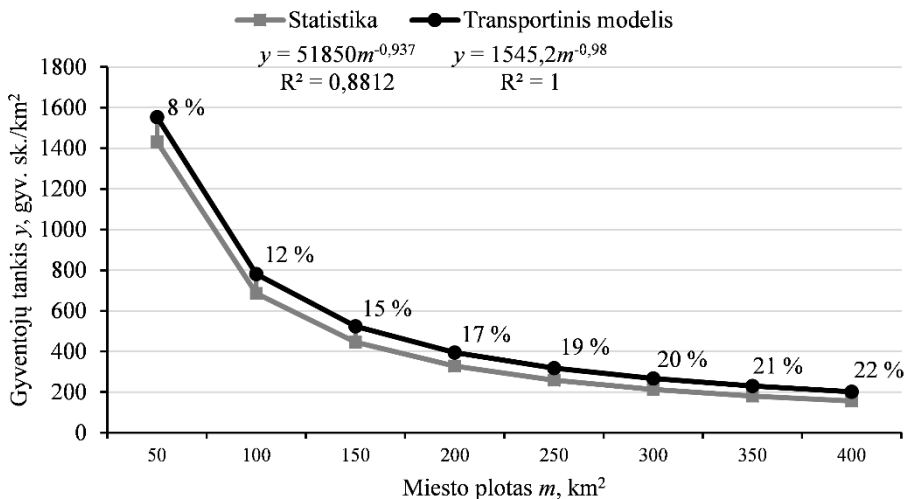
Renkantis galimus padėties variantus atsižvelgta, kad greito eismo gatvė neturėtų būti arčiau kaip 0,5, o aplinkkelis ne toliau kaip 1,5 santykiniu atstumu nuo miesto geometrinio centro. Priešingu atveju greito eismo gatvė nebeatitinka jai keliamus techninius parametrus ir tampa įprasta miesto gatve. Aplinkkeliai, kurie yra pernelyg nutolę nuo miesto ribos taip pat tampa nebenaudingi miesto susisiekimo sistemai, o ima atlikti tik tranzitinio srauto nukreipimo funkciją, kas nėra šio darbo objektas. Todėl parinkti 5 galimi padėties variantai santykiniu atstumu nuo 0,6 iki 1,4, kai pokyčio žingsnis yra 0,2: du variantai miesto zonoje ir pagal atliekamą funkciją atitinka greito eismo gatvę (santykiniai atstumai atitinkamai – 0,6 ir 0,8), du variantai už miesto ribos ir pagal atliekamą funkciją atitinka aplinkkelį

(santykinis atstumas atitinkamai – 1,2 ir 1,4), bei vienas variantas ties miesto riba, kai pagal atliekamą funkciją gali būti tiek greito eismo gatvė, tiek aplinkkelis (santykinis atstumas nuo miesto geometrinio centro –1,0).

2.2.4. Transporto modelio patikimumas

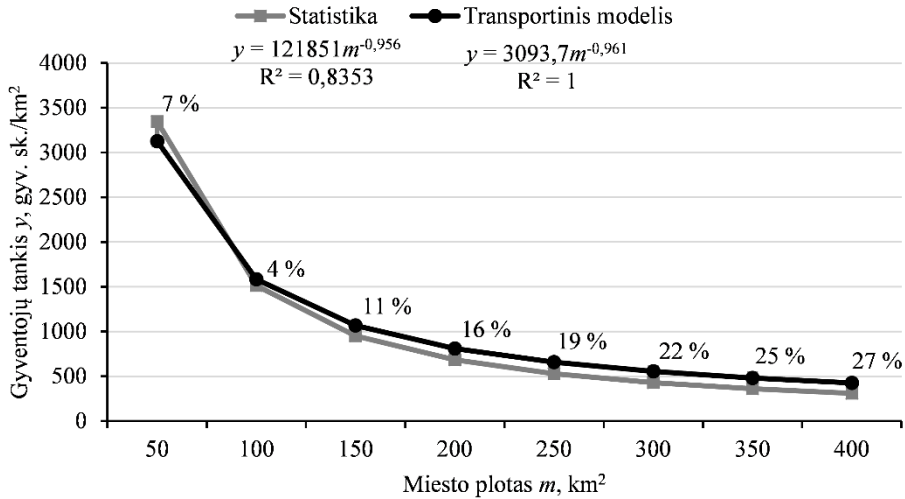
Idealizuoto miesto transporto modelio vienas pagrindinių parametru yra jo dydis. Nuo miesto dydžio priklauso transporto modelio rezultatai. Pastarieji priklauso nuo miesto dydžio ir gyventojų tankio priklausomybės. Todėl siekiant nustatyti sudaryto transporto modelio rezultatų patikimumą atliekamas miesto dydžio ir jo gyventojų tankio priklausomybės palyginimas, kai duomenys gaunami iš skirtingų šaltinių: statistinės informacijos ir transporto modelio rezultatų.

Statistinė priklausomybė apskaičiuota Europos miestams pagal Eurostat duomenis (Local administrative units... 2018), juos suskirsčius pagal transporto modelyje naudojamus miesto dydžius S , M ir L . Transporto modelio priklausomybei nustatyti sumodeliuoti esamos situacijos transporto modelio variantai, kai kinta tik miesto dydis, tačiau yra užtikrinamas vidutinis 30 km/val. kelionės greitis. Sumodeliuoti miesto variantai, kai jo spindulys yra: 3,2 km; 3,6 km; 4,0 km; 4,4 km; 4,8 km; 5,2 km; 5,6 km. Žemiau esančiose diagramose pateikiamos gautos statistinių rezultatų priklausomybės tarp Europos miestų dydžių bei gyventojų tankio jose, bei tos pačios priklausomybės iš transporto modelio rezultatų. Taip pat procentinis skirtumas tarp šių priklausomybių.



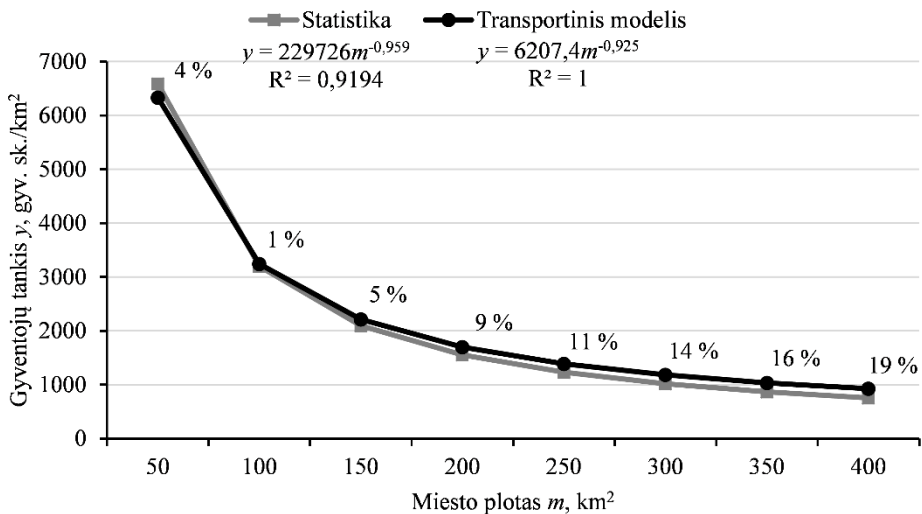
2.8 pav. Gyventojų tankio priklausomybė nuo miesto ploto, kai miesto dydis yra S (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.8. Ratio between population density and city size, when city size is S (created by author)



2.9 pav. Gyventojų tankio priklausomybė nuo miesto ploto, kai miesto dydis yra M (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.9. Ratio between population density and city size, when city size is M (created by author)



2.10 pav. Gyventojų tankio priklausomybė nuo miesto ploto, kai miesto dydis yra L (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.10. Ratio between population density and city size, when city size is L (created by author)

Iš 2.8–2.10 paveikslų matyti, kad idealizuoto miesto transporto modelio rezultatai atitinka statistinę gyventojų tankio ir miesto dydžio priklausomybę. Transporto modelio rezultatai labiausiai patikimi miestams, kurių dydis yra L (250-500 tūkst. gyv.) – procentinis skirtumas tarp statistinės ir transporto modelio gyventojų tankio ir miesto dydžio priklausomybės svyruoja nuo 1 % iki 19 %. S (50-100 tūkst. gyv.) dydžio miestui šis skirtumas siekia nuo 8 % iki 22 %, o M (100-250 tūkst. gyv.) dydžio miestui – nuo 4 % iki 27 %. Kadangi statistinės priklausomybės atitinka vidutines reikšmes, tai tokie idealizuoto miesto transporto modelio procentiniai skirtumai leidžia modelio rezultatus naudoti strateginiais planais sprendžiamų aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo klausimams spręsti konkrečioms miestams, tačiau būtina atsižvelgti ir į kitus transporto modelio taikymo kriterijus.

2.3. Modeliavimo rezultatų analizė bei apibendrinimas

Įvertinus pagrindinius transporto modelio kintamuosius galima apskaičiuoti sumodeliuotų variantų skaičių pasitelkiant paprastą formulę.

$$V=I \cdot T_v \cdot P, \quad (2.8)$$

čia V – sumodeliuotų variantų skaičius; I – miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų kiekio variantų skaičius; T_v – procentinės tranzitinio srauto dalies nuo bendro srauto miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose variantų skaičius; P – santykinės aplinkkelio ar greito eismo gatvės padėties variantų skaičius.

Viso parengta ir sumodeliuota skirtingų variantų:

$$V=3 \cdot 6 \cdot 5=90.$$

Dėl modeliavimo rezultatų pritaikomumo daugeliui miestui atsisakyta modeliuoti piko valandas ir pasirinkta modeliuoti vidutinė paros eismo valanda. Pagrindiniai nagrinėti transporto modelio rezultatai – rida, vidutinis greitis ir vidutinė kelionės trukmė. Vidutinė kelionės trukmė – svarbiausias parametras, parodantis kaip kinta vidutinė kelionės trukmė esant skirtingiems susisiekimo sprendinių variantams. Visi sumodeliuoti variantai suskirstyti į 3 grupes pagal vieną iš svarbiausių parametru, – I – miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičių. Rezultatai pateikiami kaip santykiniai dydžiai ar procentinis pokytis nuo esamos situacijos (esamoje situacijoje gatvių tinklas neturi aplinkkelių ar greito eismo gatvių), kai pagrindinis kintamasis yra greito eismo gatvės ar aplinkkelio santykinė padėtis miesto centro atžvilgiu. Detali gatvių modeliavimo rezultatų analizė pateikiama tolimesniuose poskyriuose.

2.3.1. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 6

Sumodeliuoti variantai, kai miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius (I) – 6. Gauti rezultatai pateikti 2.5 lentelėje, bei 2.11–2.13 paveiksluose.

2.5 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai I – 6 (sudaryta autoriaus)

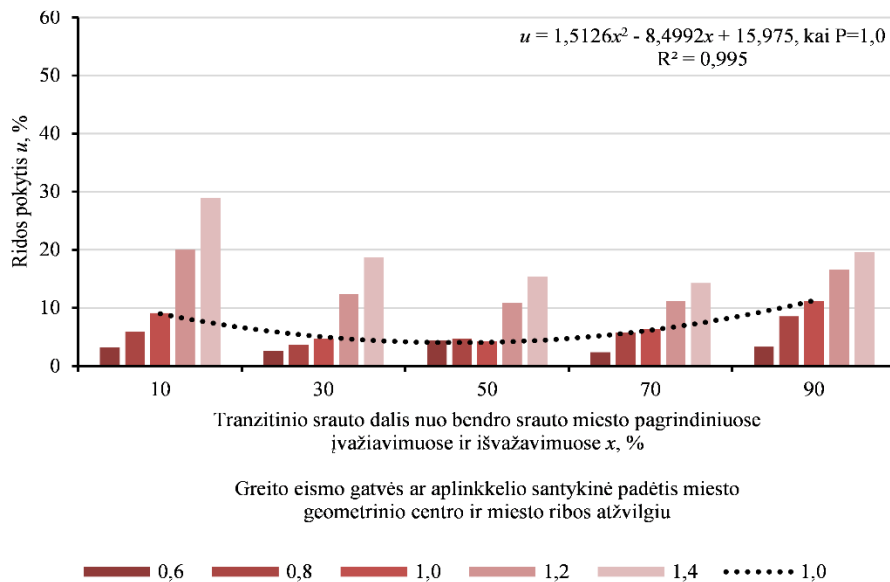
Table 2.5. Results of modelling, when I – 6 (created by author)

Parametrai			Tranzitinio srauto dalis nuo bendro srauto, %				
			10	30	50	70	90
Greito eismo gatvės ar aplinkkelio santykinė padėtis miesto geometrinio centro ir miesto ribos atžvilgiu	0*	r	61005884	93455222	116993506	135205480	142083218
		v	30	34	32	30	26
		t	18,2	18,5	20,1	21,9	25,5
	0,6	r	63054805	95985852	122338915	138501458	146937737
		v	37	40	40	39	37
		t	15,0	16,0	16,8	17,6	18,8
	0,8	s	64872796	96995074	122857655	143532792	155390525
		v	36	38	39	39	37
		t	15,8	16,7	17,3	17,9	19,0
	1,0	r	67135246	98064022	122151464	144344015	159997225
		v	33	35	36	37	37
		t	17,6	18,4	18,5	18,5	19,0
	1,2	r	76246485	106646049	131228061	152181275	170349472
		v	37	38	39	39	40
		t	17,1	17,7	18,0	18,3	18,0
	1,4	r	85828882	114908941	138285555	157755023	176678112
		v	39	39	39	40	40
		t	17,8	18,5	18,6	18,1	18,5

*Esama situacija; r – rida, km; v – vidutinis greitis, km/val.; t – vidutinė kelionės trukmė, min

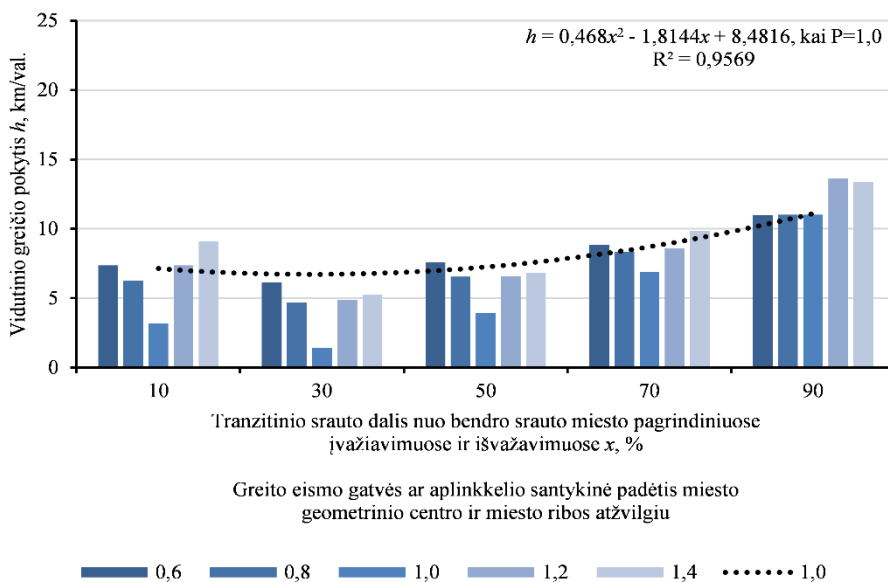
Iš 2.5 lentelės ir 2.11 paveikslo matyti, kad didžiausias ridos padidėjimas (iki 29 %) fiksuojamas esant įdiegtam aplinkkelių tinklui toliausiai nuo miesto, – 1,2 ir 1,4 santykinio atstumu nuo miesto centro (tranzitinio srauto dalis – 10 %). Ridos pokytis nežymus, kai diegiamos greito eismo gatvės (nuo 2 iki 9 %). Vidutinio greičio pokyčiai taip pat nėra dideli, – fiksuojamas iki 14 % augimas, esant 90 % tranzitiniam srautui, kai aplinkkelis yra 1,2 santykinio atstumu nuo miesto centro. Akivaizdu, kad tranzitiniam srautui esant >50 %, vidutinis greitis kyla sparčiau

dėl aplinkkelių diegimo, kuriuose yra pasiekiamas kelis kartus didesnis vidutinis greitis nei miesto gatvių tinkle.



2.11 pav. Ridos pokytis, %, kai I – 6 (sudaryta autoriaus)

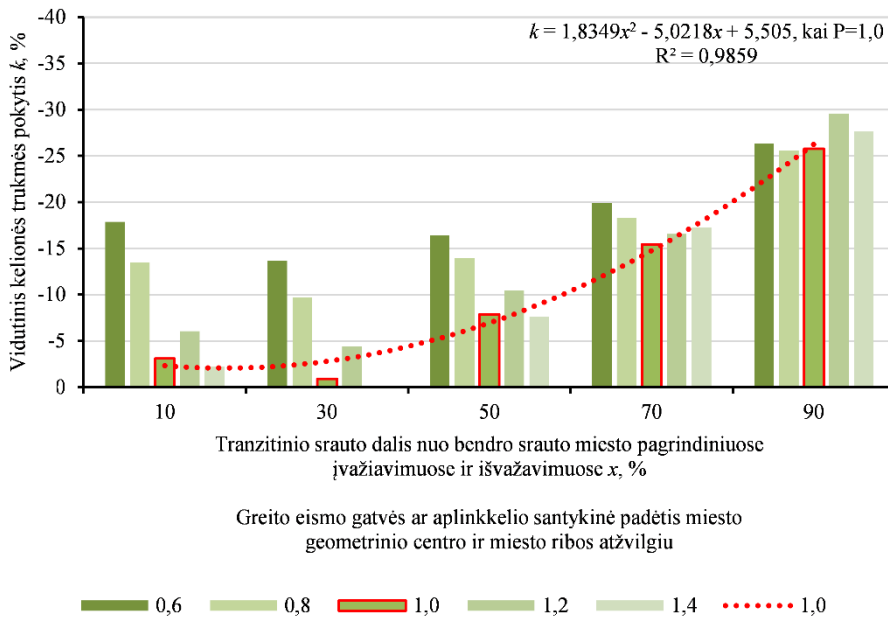
Fig. 2.11. Mileage change in percent, when I – 6 (created by author)



2.12 pav. Vidutinio greičio pokytis, km/val., kai I – 6 (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.12. Average speed change, km/h, when I – 6 (created by author)

Vidutinis kelionės trukmės pokytis visais modeliuotais variantais yra neigiamas, tai reiškia, kad diegiant tiek greito eismo gatves, tiek aplinkkelius, nepriklausomai nuo tranzitinio srauto dydžio pagrindiniuose miesto įvažiavimuose ir išvažiavimuose, vidutinė atliekamų kelionių trukmė sumažėja. Didžiausia nauda pasiekama esant realybėje sunkiai pasiekiamai teorinei 90 % tranzitinio srauto daliai nuo bendro srauto pagrindiniuose miesto įvažiavimuose ir išvažiavimuose nepriklausomai nuo greito eismo gatvės ar aplinkkelio padėties (sutaupomas vidutinis kelionės laikas nuo 25,6 iki 29,6 %). Esant 10–30 % tranzitiniam srautui aplinkkelių diegimas abejotinas, – sutaupomas vidutinis kelionės laikas siekia tik nuo 0,2 iki 6,0 %. Tuo tarpu diegiant greito eismo gatves 0,6–0,8 santykinu atstumu sutaupomas laikas yra atitinkamai 17,9 % ir 13,7 % bei 13,5 % ir 9,7 %. Geresni rezultatai pasiekiami greito eismo gatves diegiant 0,6 santykinu atstumu nuo miesto centro.



2.13 pav. Vidutinis kelionės trukmės pokytis, %, kai I – 6 (sudaryta autoriaus)

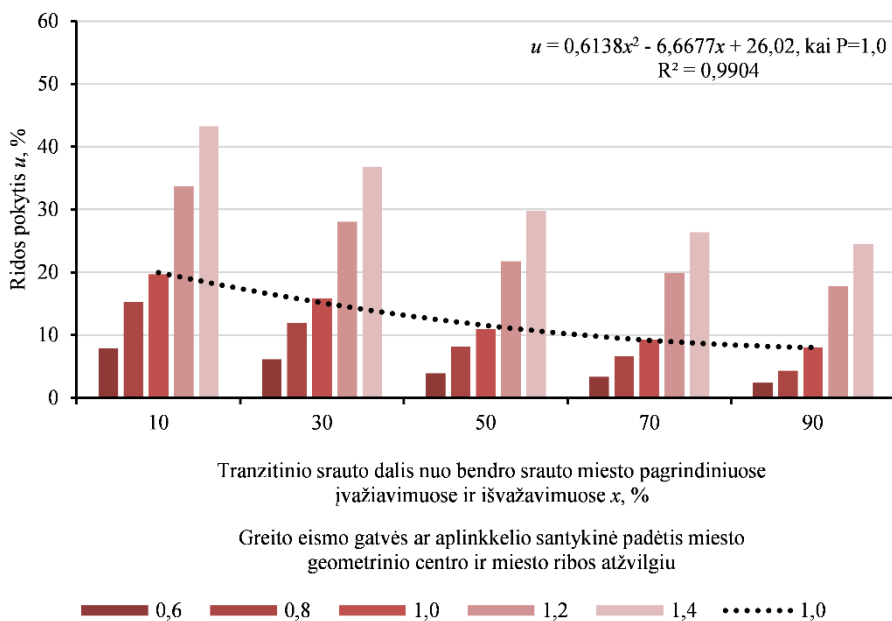
Fig. 2.13. Average trip time change, %, when I – 6 (created by author)

Todėl mieste esant pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiui 6 ir daugiau didžiausios naudos galima tikėtis diegiant greito eismo gatves 0,6–0,8 santykinu atstumu miesto centro ir miesto ribos atžvilgiu.

2.3.2. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 3

Sumodeliuoti variantai, kai miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius (I) – 3. Gauti rezultatai pateikti A priede, bei 2.14–2.16 paveiksluose.

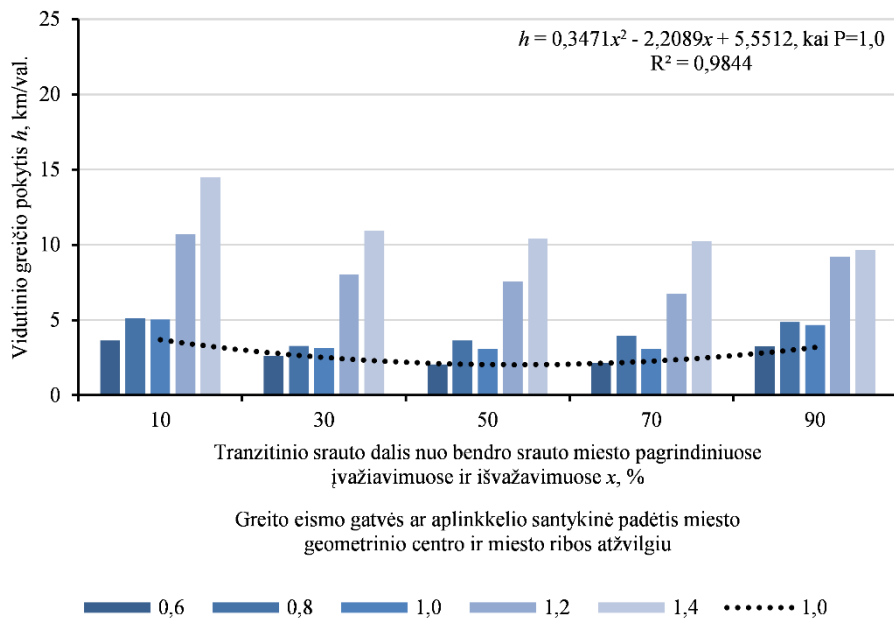
Kaip ir esant pagrindinių miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiui – 6, šiais variantais taip pat didžiausias ridos padidėjimas (iki 43 %) fiksuojamas esant įdiegtam aplinkkelių tinklui toliausiai nuo miesto, – 1,2 ir 1,4 santykiniu atstumu nuo miesto centro (tranzitinio srauto dalis – 10 %). Ridos pokytis nežymus, kai diegiamos greito eismo gatvės (nuo 3 iki 15 %). Didžiausias ridos pokytis fiksuojamas esant 10 % tranzitinio srauto daliai miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose.



2.14 pav. Ridos pokytis, %, kai I – 3 (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.14. Mileage change in percent, when I – 3 (created by author)

Vidutinio greičio pokyčiai taip pat nėra dideli, – fiksuojamas iki 15 % augimas, esant 90 % tranzitiniam srautui, kai aplinkkelis yra 1,4 santykiniu atstumu nuo miesto centro. Akivaizdžiai skiriasi vidutiniai greičiai tarp greito eismo gatvių ir aplinkkelių, – esant 30–90 % tranzitiniam srautui, skirtumas siekia 3 kartus, aplinkkeliuose vidutinio greičio pokytis svyruoja apie 9 %, kai tuo tarpu greito eismo gatvėse tik apie 3 %.

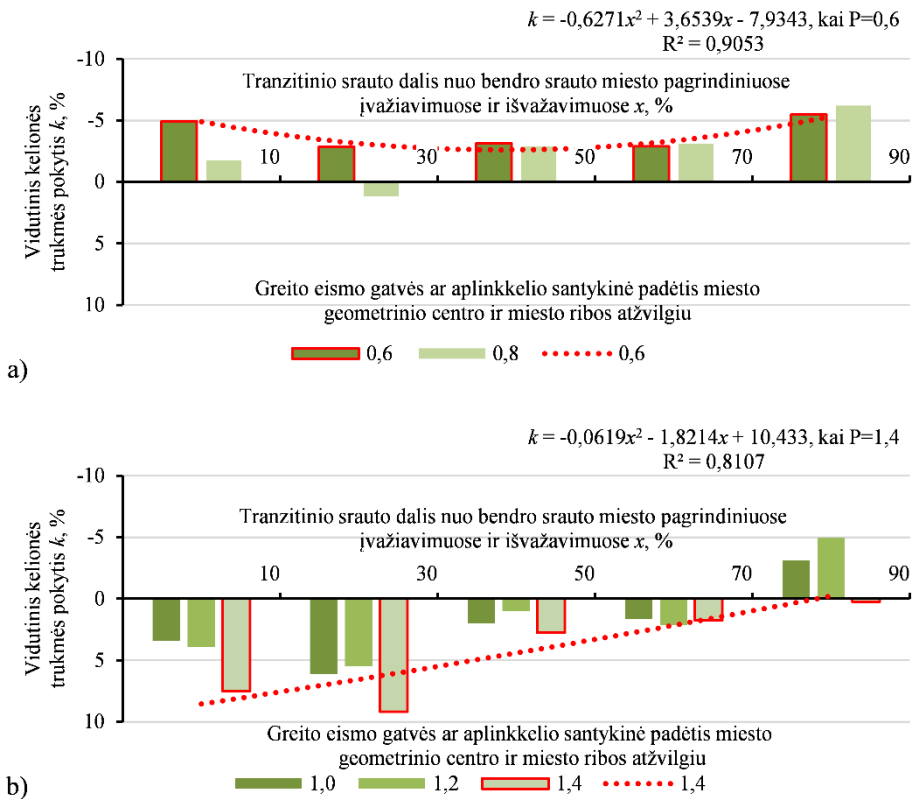


2.15 pav. Vidutinio greičio pokytis, km/val., kai $I - 3$ (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.15. Average speed change, km/h, when $I - 3$ (created by author)

Vidutinis kelionės trukmės pokytis skyrėsi priklausomai ar diegiama greito eismo gatvė, ar aplinkkelis ir atitinkamai kokia tranzitinio srauto dalis. 2.16 paveikslo a) dalyje pavaizduoti rezultatai, diegiant tik greito eismo gatves, – matyti, kad beveik visais atvejais vidutinis kelionės trukmės pokytis nors ir nežymiai, bet sumažėja (iki 6 %).

Esant tipiniam tranzitinio srauto dydžiui mieste (iki 10 %) geriausi rezultatai pasiekiami diegiant greito eismo gatvę 0,6 santykinio atstumu nuo miesto centro. Tuomet vidutinė kelionės trukmė mieste sumažėja iki 5 %. 2.16 paveikslo b) dalyje pavaizduoti rezultatai, kai diegiami aplinkkeliai ar greito eismo gatvės, esant 1,0–1,4 santykiniam atstumui nuo miesto centro. Vidutinis kelionės trukmės pokytis beveik visais atvejais išauga, išskyrus esant >70 % tranzitinio srauto daliai, kai didžiausias vidutinis kelionės trukmės sumažėjimas pasiekia apie 5 %. Labiausiai vidutinė kelionės trukmė išauga diegiant aplinkkelius 1,4 santykinio atstumu nuo miesto centro (iki 9 %).



2.16 pav. Vidutinis kelionės trukmės pokytis, %, kai I – 3: a) greito eismo gatvėse; b) aplinkkeliuose (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.16. Average trip time change, %, when I – 3: a) on fast speed streets; b) on bypasses (created by author)

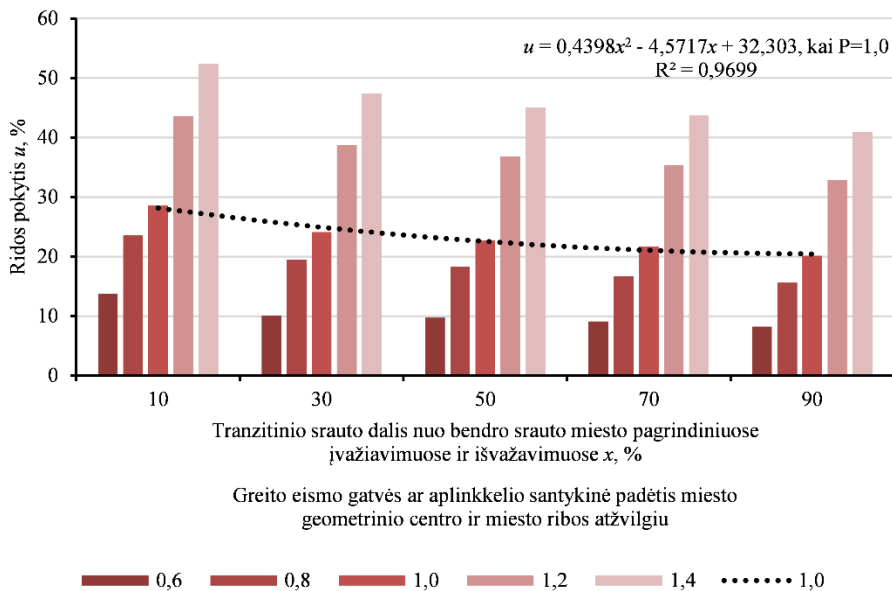
Mieste esant pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiumi nuo 3 iki 6 didžiausios naudos galima tikėtis diegiant greito eismo gatves 0,6 santykiu atstumu miesto centro ir miesto ribos atžvilgiu.

2.3.3. Modeliavimo rezultatai, kai miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – 2

Sumodeliuoti variantai, kai miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius (I) – 2. Gauti rezultatai pateikti A priede, bei 2.17–2.19 paveiksluose.

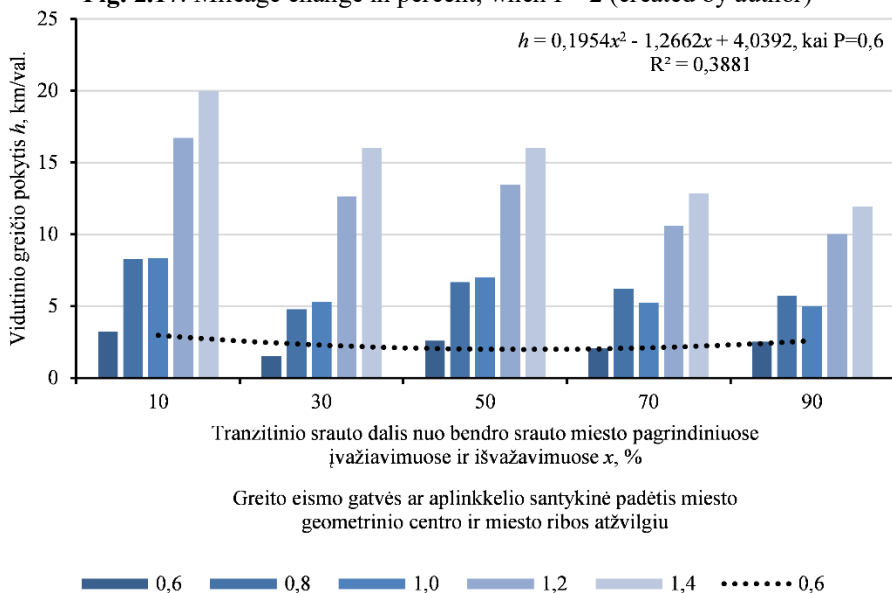
Kaip ir esant pagrindinių miesto įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiui – 6 ar 3, šiais variantais taip pat didžiausias ridos padidėjimas (iki 52 %) fiksuojamas esant

įdiegtam aplinkkelių tinklui toliausiai nuo miesto, – 1,2 ir 1,4 santykinu atstumu nuo miesto centro. Kai diegiamos greito eismo gatvės rida mažėja nuo 8 iki 24 %.



2.17 pav. Ridos pokytis, %, kai I – 2 (sudaryta autoriaus)

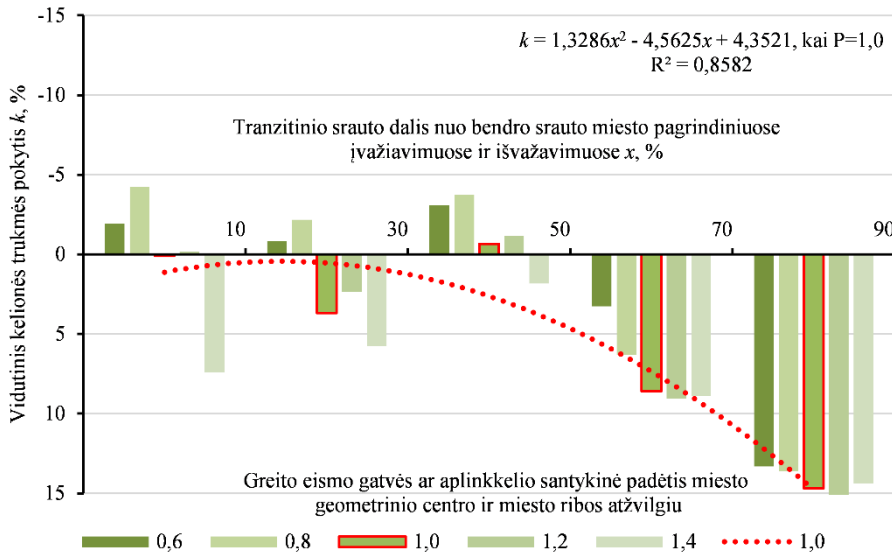
Fig. 2.17. Mileage change in percent, when I – 2 (created by author)



2.18 pav. Vidutinio greičio pokytis, km/val., kai I – 2 (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.18. Average speed change, km/h, when I – 2 (created by author)

Vidutinis greitis didėja, kai diegiami aplinkkeliai, – nuo 10 iki 20 %, diegiant greito eismo gatves teigiamas pokytis svyruoja nuo 2 iki 8 %, tai bent 2 kartus mažiau, nei tiesiant aplinkkelius.



2.19 pav. Vidutinis kelionės trukmės pokytis, %, kai I – 2 (sudaryta autoriaus)

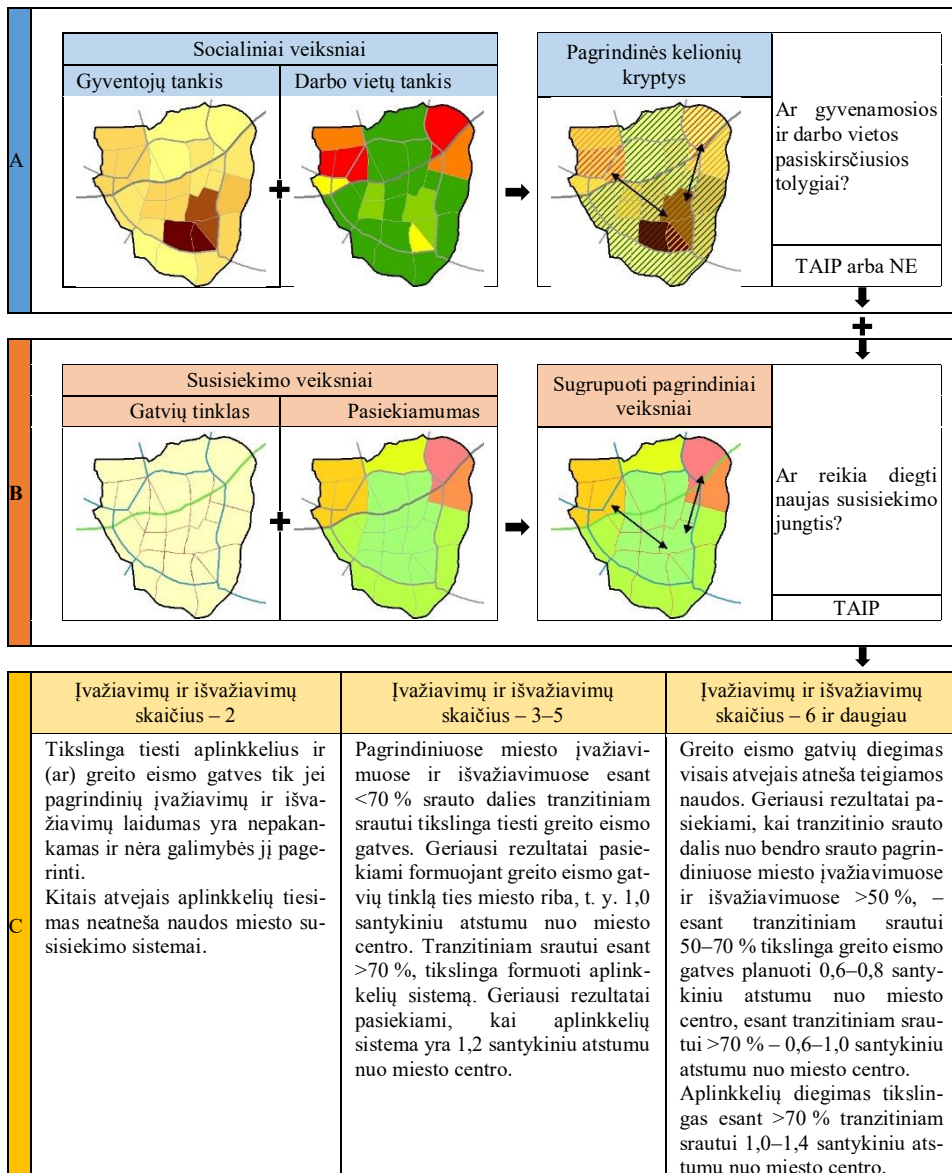
Fig. 2.19. Average trip time change, %, when I – 2 (created by author)

Vidutinis kelionės trukmės pokytis beveik visais atvejais yra teigiamas, išskyrus, kai diegiamos greito eismo gatvės, esant tranzitinio srauto daliai <70 %. Esant tipiniam tranzitinio srauto dydžiui mieste (iki 10 %) geriausi rezultatai pasiekiami diegiant greito eismo gatvę 0,8 santykinu atstumu nuo miesto centro. Tuomet vidutinė kelionės trukmė mieste sumažėja iki 4 %. Aplinkkelių diegimas visais atvejais yra abejotinas ir nepadeda sumažinti vidutinės kelionės trukmės mieste. Būtent didžiausias kelionės laiko augimas ir fiksuojamas diegiant aplinkkelius, – net iki 15 %, esant teorinei 90 % tranzitinio srauto daliai pagrindiniuose miesto įvažiavimuose ir išvažiavimuose.

2.4. Aplinkkelio ir greito eismo gatvės vietos parinkimo metodika

Įvertinus gautus modeliavimo rezultatus, esant skirtingoms parametų reikšmėms bei anksčiau apžvelgtus ir atliktus SS tyrimus, galima sudaryti aplinkkelio ir greito eismo gatvės vietos parinkimo metodiką (žr. 2.20 pav.).

Aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika tinkama miestams, kurių centrinėje dalyje gyventojų skaičius – nuo 50 000 iki 500 000 gyv.



2.20 pav. Aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika (sudaryta autoriaus)

Fig. 2.20. Methodology for situating bypass and fast traffic streets (created by author)

Pagrindiniai metodikos atlikimo žingsniai:

1. Nustatoma nagrinėjamo miesto centrinė dalis bei joje esančių gyventojų skaičius (žr. 3.3 poskyrį).

2. Nustatomos pagrindinės kelionių kryptys (žr. 2.20 pav. A dalį bei 3.6 poskyrį). Tam surenkami aktualūs duomenys apie gyventojų ir darbo vietų pasiskirstymą (duomenų šaltiniai pateikiami 2.6 lentelėje).

3. Atliekama detali SI analizė, nustatomi pagrindiniai parametrai bei surenkama informacija apie planuojamą ar vykdomą SI plėtrą (žr. 2.20 pav. B dalį bei 3.6 poskyrį, duomenų šaltiniai pateikiami 2.6 lentelėje).

4. Apskaičiuojamas santykinis transportinių rajonų pasiekiamumas (žr. 2.20 pav. B dalį bei 3.6 poskyrį).

5. Sugrupavus visus anksčiau nustatytus veiksnius įvertinama ar reikalinga SS plėtra.

6. Parenkamos aplinkkelių ir (arba) greito eismo gatvių vietos (žr. 2.20 pav. C dalį bei 2.3 poskyrį).

Detaliau aprašoma 2.20 paveiksle pateikta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodikos dalys – A, B, C:

- A dalyje vertinami socialiniai miesto veiksniai (paklausa) – gyventojų tankio ir darbo vietų tankio pasiskirstymas mieste bei jų tarpusavio santykis. Mieste siektinas mišrus užstatymas, taip išsklaidant pagrindinių kelionių namai-darbas ir darbas-namai koncentracijas bei tolygiau apkraunant miesto gatvių tinklą. Priešingu atveju formuojasi transporto grūsčių koridoriai – ryšiai tarp gyvenamųjų vietų ir darbo vietų, kurie sukelia švytuoklines keliones bei stipriai apkrauna atitinkamas gatvių jungtis. A dalyje siekiama atsakyti į klausimą, – „Ar gyvenamosios ir darbo vietos pasiskirstymas tolygiai“. Nepaisant teigiamo ar neigiamo atsakymo, gauti rezultatai perkeliama į B dalį ir atliekama tolimesnė analizė;
- B dalyje vertinami susisiekimo veiksniai (pasiūla) – gatvių tinklas bei transportinių rajonų pasiekiamumas. Nustatomi, kurie transportiniai rajonai turi blogiausią pasiekiamumą bei įvertinama ar galima ST plėtra. Plėtrą pagrindžia A dalyje gautos pagrindinės kelionių kryptys (gyvenamųjų ir darbo vietų pasiskirstymas). Galimi atvejai, kai transportinės zonos (toliau – TZ) pasiekiamumas yra žemas, tačiau šioje zonoje nėra pagrindinių kelionių kryptų, tuomet susisiekimo plėtra nėra būtina dėl per mažo toje zonoje sugeneruojamo ir pritraukiančio kelionių skaičiaus. Kai B dalies veiksniai pagrindžiami A dalies veiksniais, t. y. nustatyta, kad aplinkkelių ar greito eismo gatvių diegimas yra reikalingas, pereinama į C dalį;
- C dalyje pateikiami apibendrinti galimi aplinkkelių ir greito eismo gatvių įgyvendinimo variantai, esant skirtingiems kintamiesiems. Siūlomi variantai sugrupuoti į tris dalis pagal vieną iš svarbiausių kintamųjų – miesto

pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičių (I), kai I – 2, I – 3–5 ir I – 6 ir daugiau (detalūs rezultatai pateikiami 2.3 poskyryje). Galimi sprendinių variantai susiskirstyti pagal pagrindinį modeliavimo parametą – vidutinę vienos kelionės trukmę miesto gatvių tinkle, siekiant ją minimizuoti.

Atliekant SS tyrimus, 2.6 lentelėje apibendrintai pateikiami nustatomi parametrai, kurie panaudojami metodikoje.

2.6 lentelė. Susisiekimo sistemos tyrimo parametrai (sudaryta autoriaus)

Table 2.6. Analyzed parameters of transport system (created by author)

Parametro nr.	Parametras	Parametro nauda	Pradinių duomenų šaltiniai
1	2	3	4
1.1	Gyventojų tankis	Padedą nustatyti tankiai užstatytas teritorijas	LSD Lietuvos gyventojų surašymo duomenys Registų centro Juridinių asmenų registro duomenų bazė
1.2	Darbo vietų tankis	Padedą nustatyti didžiausias darbo vietų koncentracijas Kartu šie parametrai padeda nustatyti svarbiausias kelionių kryptis (namai-darbas ir darbas-namai) bei gali-mai labiausiai apkrautas ST jungtis	
2	Santykinis kelionės laikas	Padedą nustatyti motorinių transporto priemonių eismo intensyvumo pikus paroje	Google Maps API (Distance Matrix API)
3	Santykinis transportinio rajono pasiekiamumas	Padedą nustatyti transportinius rajonus, kuriems reikalinga ST plėtra ar esamos kokybės gerinimas	Google Maps API (Distance Matrix API)
4	Miesto pagindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius	Padedą įvertinti ST ryšius su kitais miestais bei įvertinti tranzitinio srauto poveikį miesto centrinei daliai	Atvirieji GIS duomenys
5	Bendras gatvių tinklo ilgis bei ilgis pagal gatvių kategorijas	Padedą nustatyti ST išvystymą	Atvirieji GIS duomenys

2.6 lentelės pabaiga

1	2	3	4
6	Gatvių tinklo tankis	Parodo gatvių tinklo universalumą	Atvirieji GIS duomenys
7	Gatvių tinklo rišlumas	Parodo gatvių tinklo veikimo lygį	Atvirieji GIS duomenys
8	Aplinkkelių ilgis	Padedą nustatyti ST išvystymą	Atvirieji GIS duomenys

Gyventojų tankis – gyventojų skaičius tenkantis tam tikros teritorijos plotui. Įprastai gyventojų tankis nustatomas į kvadratinį kilometrą. Bendras pasaulio gyventojų tankumas – 50 gyventojų/km². Tankiausiai apgyvendintas miestas – Manila (Filipinai), gyventojų tankis siekia 43 379 gyv./km². Tuo tarpu mažiausias tankis fiksuojamas Mongolijoje, kurioje gyventojų tankis siekia 1,78 gyv./km² (List of cities... 2017). Gyventojų tankio duomenys padeda nustatyti tankiausiai bei rečiausiai apgyvendintas miesto teritorijas. Pastarieji duomenys dažniausiai naudojami planuojant inžinerinės infrastruktūros plėtrą. Lietuvos gyventojų tankio duomenys prieinami Oficialiosios statistikos portale (osp.stat.gov.lt). Tiesiogiai gyventojų tankio duomenys sudarant transporto srautų modelį nedalyvauja. Pastarieji duomenys naudojami siekiant suprasti mieste atliekamų kelionių pagrindines kryptis. Kad rasti daugiausiai atliekamų kelionių kryptis be gyventojų tankio pasiskirstymo mieste būtina žinoti ir darbo vietų tankio pasiskirstymą. Apjungti duomenys leidžia identifikuoti svarbiausių kelionių namai-darbas ir darbas-namai pagrindines kryptis.

Gyventojų tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_{gyv.} = \frac{G}{S_t}, \quad (2.9)$$

čia $\rho_{gyv.}$ – gyventojų tankis; G – gyventojų skaičius; S_t – teritorijos plotas.

Darbo vietų tankis – darbo vietų skaičius tenkantis tam tikros teritorijos plotui. Siekiant darbo vietų tankio duomenų apjungimo su gyventojų tankiu naudojama ta pati dimensija – darbo vietų tankis į kvadratinį kilometrą. Kaip ir gyventojų tankis, darbo vietų tankis padeda nustatyti tankiausias bei rečiausias darbo vietų pasiskirstymo zonas. Duomenys oficialiai prieinami Registrų centro Juridinių asmenų registro duomenų bazėje. Duomenų vieta įprastai būna aprašyta tik adresu, todėl duomenys turi būti apdorojami pritaikant geolokacijos algoritmus panaudojant GIS, taip juos patogiau atvaizduojant žemėlapyje. Kur vykdoma duomenų statistinė analizė bei sudaromos duomenų atvaizdavimo schemos. Naudojami kartu su gyventojų tankiu.

Darbo vietų tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_v = \frac{D_v}{S_t}, \quad (2.10)$$

čia ρ_v – darbo vietų tankis; D_v – darbo vietų skaičius; S_t – teritorijos plotas.

Santykinis kelionės laikas – išvestinis dydis, parodantis kelionės laiko santykį su maksimalia reikšme. Atliekamų tų pačių kelionių, t. y. iš to pačio pradžios taško į tą patį pabaigos tašką, laiko trukmė paroje kinta. Santykinis kelionės laikas padeda nustatyti pikus, kuomet kelionės laikas yra ilgiausias, t. y. kuomet galimai formuojasi transporto grūstys. Atliekant transporto srautų modeliavimą, kuriame nėra apibrėžtas modeliuotinas laikas įprastai pasirenkamas „pavojingiausias“ laikas – piko metas, kuomet transporto srautai yra didžiausi. Taip modelio rezultatai pagrindžiami esant maksimaliai apkrovai. Kelionių laiko duomenų surinkimas ilgas ir daug resursų reikalaujantis procesas, be to brangus. Surinkti duomenys aktualūs tik tam laikotarpiui, o jų atnaujinimas reikalauja vėl tokio pat sudėtingo, ilgo ir daug lėšų reikalaujančio darbo. Išpopuliarėjus GPS prietaisams, bei ypač išmaniesiems telefonams su jais, atsirado galimybė greitai ir nebrangiai surinkti kelionės laiko duomenis. Plačiausiai naudojama nemokama, viešai prieinama priemonė yra Distance Matrix API programa sukurta Google kompanijos. Ji leidžia surinkti kelionės laiko duomenis tarp nurodytų pradžios ir pabaigos taškų iš Google serverių, kuriuose jie yra nuolat kaupiami ir apdorojami iš išmaniųjų prietaisų su GPS (duomenys nuasmeninami). Santykinis kelionės laikas tiesiogiai nedalyvauja sudarant transporto srautų modelį, tačiau padeda nustatyti pikus, kuriems modelis gali būti kuriamas.

Santykinis kelionės laikas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_s = \frac{t_{ij}}{t_{max}}, \quad (2.11)$$

čia T_s – santykinis kelionės laikas; t_{ij} – kelionės laikas iš i -osios TZ į j -ąją TZ; t_{max} – didžiausia kelionės laiko reikšmė judant iš i -osios TZ į j -ąją TZ.

Pasiekiamumo indekso (toliau – PI) blogiausia reikšmė lygi 1 reiškia, kad TZ turi blogiausią pasiekiamumą kitų zonų atžvilgiu, t. y. kelionės trukmės iš visų kitų nagrinėjamų TZ į ją ir iš jos yra didžiausios. Geriausia reikšmė artėja prie 0. TZ su mažiausiu santykiniu pasiekiamumu dažniausiai yra centrinėje miesto dalyje (geometriniame miesto centre) iš kurios kitos TZ yra lengvai pasiekiamos. Pasiekiamumą taip pat lemia gatvių tinklo išvystymas, kuriuo atliekamos kelionės. Transportinio rajono pasiekiamumas – išvestinis dydis, retai sutinkamas dėl neseniai atsiradusių pradinį duomenų prieinamumo ir reikalaujantis bent minimalių programavimo ir duomenų apdorojimo žinių. Pradiniai duomenys yra santykiniai kelionės laikai, kurie gaunami panaudojant Distance Matrix API programą. Santykinis transportinio rajono pasiekiamumas tiesiogiai nedalyvauja

sudarant transporto srautų modelį, tačiau padeda nustatyti transportinių rajonų pasiekiamumus, kurie kartu atspindi ir gatvių tinklo pajėgumus bei išvystymą.

PI apskaičiuojamas pagal formulę:

$$T_p = \frac{T_s}{T_{max}}, \quad (2.12)$$

čia T_p – santykinis transportinio rajono pasiekiamumas; T_s – santykinis kelionės laikas; T_{max} – maksimalus santykinis kelionės laikas.

Miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius – dydis, kuris padeda įvertinti ST ryšius su kitais aplinkiniais miestais. Įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius priklauso ne tik nuo pačio ST išvystymo, bet ir nuo kitų sąlygų kaip – gamtinės, istorinio planavimo, politinės ir pan. Todėl įvertinti koks įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius yra tinkamas, o koks ne sudėtinga ir turi būti ekspertiškai įvertinama kiekvienam miestui individualiai. Pagrindiniais įvažiavimais ir išvažiavimais į miestą laikomi tokie keliai, kurie priskiriami valstybinės reikšmės kelių tinklui (magistralinis, krašto, rajoninis kelias) ir kerta miesto centro ribą. S dydžio miestams (iki 100 000 gyventojų miesto centrinėje dalyje) būdinga turėti 3–6 pagrindinius įvažiavimus ir išvažiavimus. Didesniuose miestuose M , L , XL , XXL dydžio ar pasauliniame mieste pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius dažniausiai būna didesnis nei 6 ir gali siekti net kelias dešimtis. Retais atvejais pasitaiko miestų, kuriuos kerta tik vienas pagrindinis kelias, todėl jie turi tik 2 pagrindinius miesto įvažiavimus ir išvažiavimus. 6-ių didžiausių Lietuvos miestų pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius: Vilnius (L dydis) – 10, Kaunas (L dydis) – 5, Klaipėda (M dydis) – 2, Šiauliai (M dydis) – 6, Panevėžys (S dydis) – 6, Alytus (S dydis) – 4. Miesto pagrindiniai įvažiavimai ir išvažiavimai pati tinkamiausia vieta atliekant transporto srautų matavimus, kuriais siekiama nustatyti tranzitinio srauto dydį, kertantį miestą. Šias vietas padeda nustatyti GDR10LT duomenų bazėje ar Lietuvos miestų internetiniuose tinklalapiuose skelbiamuose ir platinamuose „Atviruosiuose GIS duomenyse“ esantys kelių ir gatvių tinklo duomenys bei miestų bendrieji planai.

Bendras gatvių tinklo ilgis bei ilgis pagal gatvės kategorijas – A, B, C ir D kategorijų gatvių suminis ilgis kilometrais. Gatvių ilgis kaip parametras pats nieko neparodo. Gatvių ilgis išskaidytas pagal gatvių kategorijas gali parodyti gatvių tinklo hierarchinę struktūrą. Aukščiausios kategorijos gatvių – A kategorijos ilgis turi būti mažiausias ir didėti žemėjant gatvės kategorijai. Įprastai šis didėjimas būna artimas eksponentinei kreivei. Neatitikimai eksponentinei kreivei gali reikšti, kad būtina tam tikrų gatvės kategorijų plėtra siekiant užtikrinti darnų gatvių tinklą. Gatvių ilgiai lengviausiai nustatomi iš GDR10LT duomenų bazės, kuri yra nemokama ir viešai prieinama Lietuvos erdvinės informacijos VĮ „GIS-Centras“ portale www.geoportal.lt. Duomenys pateikiami shape formatu, peržiūrėti, redaguojami bei analizuojami GIS programomis, – tokiomis kaip ArcMap ar

QGIS. Taip pat papildytus duomenis siūlo nemokamai atsisiųsti ir naudoti didieji Lietuvos miestai savo internetiniuose tinklalapiuose skiltyje „Atvirieji GIS duomenys“. Pastarieji duomenys dažniausiai būna tikslesni nei GDR10LT, nes jie naudojami kaip pagrindas ir nėra taip dažnai atnaujinami. Gatvių tinklas SS tyrimuose yra laikomas pagrindu. Gatvių tinklo geometrija paimama iš GDR10LT duomenų bazės bei esant poreikiui modifikuojama, kad atitiktų ieškomus SS parametrus.

Gatvių tinklo tankis – santykinis dydis gaunamas padalinant bendrą gatvių ilgį nagrinėjamame plote iš to ploto (km/km^2). Gatvių tinklo tankis parodo gatvių tinklo išvystymo lygį nagrinėjamame plote. Didesnis gatvių tinklo tankis užtikrina didesnę kiekį alternatyvių maršrutų, taip sumažindamas susisiekimo atstumą bei išskirstydamas transporto srautus kas sumažina tikimybę grūsčių susidarymui. Per didelis gatvių tinklo tankis taip pat gali būti problema, kai netinkamai išnaudojami žemės plotai perteklinei SS vystyti. Įprastai nagrinėjamas administracinis ploto vienetas – miestas. Duomenys atrenkami iš GDR10LT duomenų bazės arba Lietuvos miestų internetiniuose tinklalapiuose skelbiamų ir platinamų „Atvirųjų GIS duomenų“.

Gatvių tinklo tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho_g = \frac{l_g}{S_t}, \quad (2.13)$$

čia ρ_g – gatvių tinklo tankis; l_g – gatvių ilgis; S_t – teritorijos plotas.

Gatvių tinklo rišlumas – dydis, parodantis gatvių atkarpų tarp sankryžų ir sankryžų santykį. Gatvių rišlumas nustatomas A, B, C kategorijos gatvėms. Rišlumo koeficientas β būna tarp 1 ir 3. Rišliu laikomas toks gatvių tinklas, kurio $\beta > 1,0$, pakankamu, kai $\beta = 1,5$ (toks dydis užtikrina didelę tikimybę, kad nebūs kritinių sankryžų ir gatvių atkarpų, kuriose koncentruotąsi transporto srautai).

Aplinkkelių ilgis parodo koks mieste esančių aplinkkelių ilgis kilometrais. Pavienis dydis neturi didelės reikšmės ir mažai ką pasako, tačiau lyginant jį su gatvių tinklo dydžiu ir miesto dydžiu galima spręsti ar aplinkkelių ilgis yra pakankamas. Atskirų susisiekimo jungčių poveikį visam gatvių tinklui nagrinėja būtent transporto srautų modeliavimo specialistai transporto modelyje. Kaip ir gatvių ilgis aplinkkelių ilgis įprastai nustatomas iš GDR10LT duomenų bazės ar Lietuvos miestų platinamų „Atvirųjų GIS duomenų“. Aplinkkelių geometrija kaip ir viso gatvių tinklo tiesiogiai perkeliama ir naudojama transporto srautų modelyje.

Išvardinti SS apibūdinantys parametrai parinkti taip, kad juos būtų nesudėtinga nustatyti bei interpretuoti. Taip pat duomenų surinkimas ir jų nustatymas nereikalautų papildomų lėšų bei pradiniai duomenų šaltiniai būtų prieinami kiekvienam tyrėjui. Toliau taikant matematinės analizės metodus bei GIS nustatomi bei atvaizduojami ieškomi parametrai.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Aplinkkelis ar greito eismo gatvė transportiniu požiūriu naudinga tik tada, kai judėjimo aplinkkeliu ar greito eismo gatve vidutinis greitis yra 1,57 karto didesnis nei judėjimas trumpiausiu kelionės ilgio atžvilgiu maršrutu gatvių tinkle, kai judama iš to paties pradinio taško į tą patį galutinį tašką.

2. Parengta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika, kurią sudaro trys dalys apimančios socialinius miesto veiksmus (A dalis), – gyventojų tankio ir darbo vietų tankio pasiskirstymas mieste bei jų tarpusavio santykis, susisiekimo veiksmus (B dalis), – gatvių tinklas bei transportinių rajonų pasiekiamumas bei galimus aplinkkelių ir greito eismo gatvių įgyvendinimo variantus (C dalis).

3. Mieste esant 2 pagrindiniams įvažiavimams ir išvažiavimams, aplinkkelių ir (ar) greito eismo gatvių tiesimas tikslingas, tik jei pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų laidumas nėra pakankamas (formuojasi grūstys, transporto priemonių eilės) ir nėra galimybės jį pagerinti. Kitais atvejais aplinkkelių ir (ar) greito eismo gatvių diegimas nepagerina vidutinės kelionės trukmės miesto gatvių tinkle.

4. Mieste esant 3–5 pagrindiniams įvažiavimams ir išvažiavimams ir tranzitinio srauto daliai $<70\%$ nuo bendro srauto tikslinga tiesti greito eismo gatves ties miesto riba. Tranzitiniam srautui esant $>70\%$ nuo bendro srauto tikslinga formuoti aplinkkelių sistemą 1,2 santykiniu atstumu nuo miesto centro.

5. Mieste esant ≥ 6 pagrindiniams įvažiavimams ir išvažiavimams visais atvejais tikslingas greito eismo gatvių diegimas. Geriausi rezultatai pasiekiami, kai tranzitinio srauto dalis nuo bendro srauto pagrindiniuose miesto įvažiavimuose ir išvažiavimuose $>50\%$, esant tranzitiniam srautui $50\text{--}70\%$ tikslinga greito eismo gatves planuoti 0,6–0,8 santykiniu atstumu nuo miesto centro, esant tranzitiniam srautui $>70\%$ – 0,6–1,0 santykiniu atstumu nuo miesto centro. Aplinkkelių diegimas tikslingas tik esant $>70\%$ tranzitinio srauto daliai nuo bendro srauto 1,0–1,4 santykiniu atstumu nuo miesto centro.

Miesto susisiekimo sistemos tyrimai ir analizė

Skyriuje apžvelgti pagrindiniai SS tyrimai, jų svarba, atlikimo laikas, kaina, patikimumas. Išnagrinėtos skirtingų dydžių miestų – Vilniaus (550 tūkst. gyv.) ir Kauno (300 tūkst. gyv.) SS, nustatyti pagrindiniai parametrai bei pritaikyta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika.

Šio skyriaus tema publikuoti straipsniai (Dumbliauskas ir Barauskas 2015; Dumbliauskas *et al.* 2017).

3.1. Pagrindiniai transporto tyrimų būdai

Įvairiems transporto uždaviniams spręsti reikalingi įvairūs duomenys. Trumpai apžvelgiami plačiausiai taikomi tyrimai.

Vienas iš populiariausių ir patikimiausių būdų rinkti atliekamų kelionių informaciją yra apklausa. Pastarosios iki 1990 m. buvo laikomos kaip patikimiausias ir prieinamiausias tyrimo būdas. Jos gali būti atliekamos telefonu, paštu, internetu ar tiesiogiai apklausiant. Amerikoje visuotinis gyventojų surašymas laikomas vienu iš prieinamiausių duomenų šaltinių atliekant transporto srautų modeliavimą.

Veiksmingiausia apklausa forma, tačiau kartu ir brangiausia, yra tiesioginė apklausa. Atliekama nagrinėjamos teritorijos perimetre esančiuose pagrindiniuose

įvažiavimuose ir išvažiavimuose arba tam tikroje teritoriją ribojančioje linijoje. Apklausos eiga – stabdomi automobiliai ir apklausiami jų vairuotojai. Apklausos metu siekiama išsiaiškinti kelionės tikslą, maršrutą, išvykimo ir atvykimo laikus, atliekamų kelionių dažnumą. Pagrindiniai trūkumai – trukdomas motorinių transporto priemonių eismas; sudėtinga organizuoti, nes dažnai būtinas policijos įsikišimas; maža imtis; dideli kaštai vienam respondentui (gana nemažai laiko skiriama vienam respondentui); rankinis anketų apdorojimas. Pagrindiniai privalumai – didelis patikimumas, tikslūs rezultatai vietos ir laiko atžvilgiu.

Motorinių transporto priemonių eismo tyrimai. Tyrimų rezultatai paprastai panaudojami atliekant mikro modeliavimą. Gali būti atliekami rankiniu arba automatizuotu būdu. Populiariausias ir prieinamiausias stebėjimo metodas. Pasirinkta gatvės atkarpa, sankryža ar kita susisiekimo jungtis stebima iš anksto numatytą laiką pasirinktu metu (įprastai tai atliekama rytinio ar vakarinio piko metu ir priklausomai nuo transporto srauto dydžio trunka iki valandos), fiksuojamas transporto priemonių skaičius (atskiromis srautų judėjimo kryptimis, tam tikrame pjūvyje), atliekami manevrai, bei srauto sudėtis. Šis metodas – paprasčiausias, patikimas, tačiau reikalaujantis daugiausiai laiko sąnaudų.

Automatizuoti tyrimo būdai įprastai gali būti suskirstyti į 3 grupes (Dong *et al.* 2015):

- naudojantys jutiklius (indukcinės kilpos, mikrobangų radarai, lazeriniai radarai, magnetometrai, ultragarsiniai jutikliai ir t. t.);
- naudojantys vaizdo medžiagą (automobilių registracijos numerių atpažinimo sistemos);
- naudojantys radijo dažnius (radijo dažnių identifikaciniai prietaisai (RFID), trumpo nuotolio komunikacijos prietaisai (toliau – DSRC)).

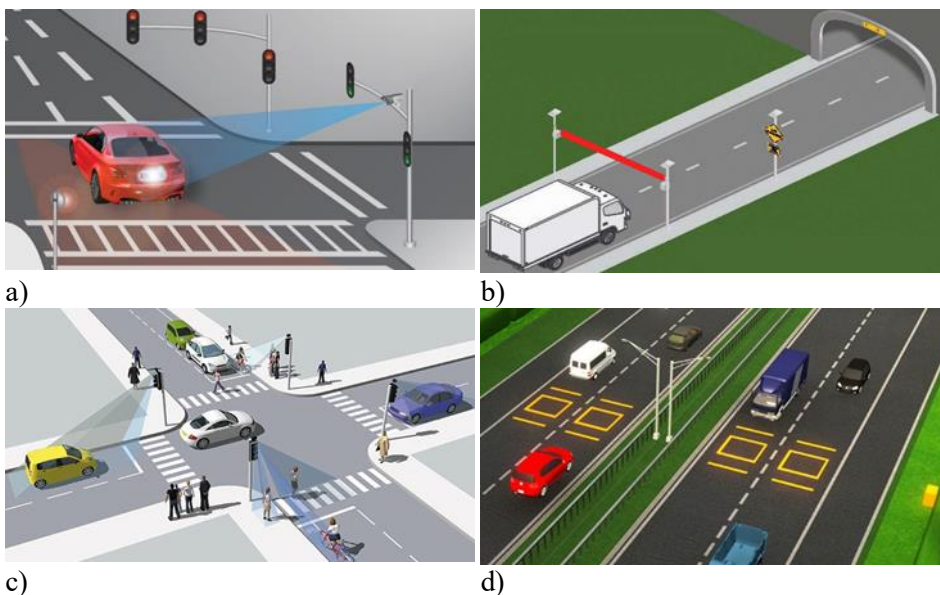
Visos šios priemonės gali padėti greitai surinkti duomenis atliekant didelės apimties ir tikslumo transporto tyrimus.

Naudojant vaizdo kameras bei vaizdą apdorojančias programas, kurios automatiškai skaičiuoja transporto srautus bei atlieka jų klasifikavimą. Jos gali veikti tiek „gyvai“, kai transliuojamas vaizdas (paprastai iš miesto SS stebėjimo sistemos), tiek apdoroti anksčiau nufilmuotą vaizdą. Ilgą laiką prieš atsirandant automatinėms vaizdo apdorojimo sistemoms buvo naudojami skirtingų tipų eismo srautų fiksavimo mechaniniai aparatai: ant asfalto ar kitos važiuojamosios dangos montuojamos suspausto oro žarnelės, kuriose fiksuojamas slėgio kitimas jas pervažiuojant skirtingų rūšių transporto priemonėms; po asfaltu montuojamos indukcinės kilpos, kurios veikia magnetinio lauko principu (kertanti transporto priemonė sutrikdo skleidžiamą magnetinį lauką, kuris užfiksuojamas ir išanalizavus įregistruojamas kaip transporto priemonė).

Kiti automatizuoti būdai atsirado su mobiliųjų telefonų bei GPS sistemų atsiradimu. Kokią transporto priemonę besinaudotų asmuo jis beveik visuomet su savimi turi mobiliąjį telefoną. Mobilusis telefonas nuolatos siunčia ir gauna signalus

iš mobiliojo ryšio antenų, taip užtikrinamas ne tik pastovus ryšys, bet ir yra galimybė, naudojant trianguliacijos metodą, iš kelių mobiliojo ryšio bokštų užfiksuotų to paties mobiliojo ryšio aparato signalo, nustatyti apytiksliai vartotojo vietą. Daugelis mokslininkų čia išvelgė galimybę greitai ir nebrangiai surinkti vartotojo judėjimo duomenis (Lane *et al.* 2010), kuriuos visų pirma galima panaudoti kuriant ryšių (angl. origin-destination arba OD) matricas (Alexander *et al.* 2015; Iqbal *et al.* 2014; Toole *et al.* 2015; Calabrese *et al.* 2011; Widhalm *et al.* 2015; Çolak *et al.* 2015), nustatant judėjimo įpročius (Alexander *et al.* 2015) ar net nustatant TZ (Dong *et al.* 2015). Šios sistemos trūkumas – ne visuomet pakankamas tikslumas bei duomenų apsauga. Vietos nustatymo paklaida įprastai siekia net 100 metrų (Patiire *et al.* 2014), tačiau prieinamas duomenų kiekis bei galimybė tuos pačius duomenų apdorojimo algoritmus pritaikyti neribotam kiekiui duomenų tai atperka bei ženkliai minimizuoja duomenų surinkimo kaštus. Jei nepakankamą duomenų tikslumą vietos atžvilgiu mokslininkai sprendžia kurdami vis geresnius duomenų apdorojimo algoritmus, tai duomenų apsauga yra kiek sudėtingesnis uždavinys. Kiekvienas asmuo turi teisę į privatumą ir tokių duomenų atskleidimą saugo įstatymas. Todėl dažniausiai surinkti duomenys nuasmeninami ir tik tuomet naudojami tyrimams arba tyrėjui suteikiamos teisės į duomenų analizę su raštišku pasisąžadėjimu neatskleisti konfidencialios informacijos (Gonder *et al.* 2015). Duomenys gali būti papildomi atsitiktinėmis reikšmėmis, nežymiai koreguojami arba naudojami kiti mokslininkų siūlomi metodai, siekiant išsaugoti privatumą. Taip pat atskirose zonose jie gali būti įslaptinti ir pateikiamas tik apibendrintas rezultatas (Seidl *et al.* 2015). Lietuvos mobiliojo ryšio operatoriai kol kas tik eksperimentuoja su gyventojų judėjimo duomenimis nors tokiomis paslaugomis jau galima pasinaudoti kitose Europos šalyse. 2018 m. gegužės mėnesį įsigaliojus ES Bendrajam duomenų apsaugos reglamentui (angl. General Data Protection Regulation), kuris sugriežtina asmens duomenų apsaugą, tokių duomenų naudojimas tapo dar sudėtingesnis, o kartais ir visai neįmanomas nepažeidžiant asmens privatumo. Pasitaiko atvejų, kai šalies įstatymai visiškai draudžia naudoti tokius duomenis, tuomet belieka imtis kitų būdų.

GPS technologija paremti būdai imti taikyti atsiradus nešiojamiems GPS imtuvams. Visų pirma juos imta dalinti atliekant raštiškas apklausas namuose. Su GPS davikliu buvo papildoma gauta informacija iš atliktų apklausų ar užpildytų kelionės dienoraščių (Shen and Stopher 2014, Vij and Shankari 2015). Taip pat atsirado galimybė pakoreguoti respondento neteisingai pateiktus duomenis pildant raštiškas apklausas (Bricka *et al.* 2009). Mokslininkų nustatyta, kad netiksliai ar neteisingai užpildytų apklausų kiekis siekdavo iki 20–30 % (Shen and Stopher 2014). GPS priemonėmis gauti duomenys gana tiksliai parodėdavo atliekamą kelionės maršrutą bei judėjimo greitį. Nors šis būdas ir buvo efektyvus, tačiau bran-
gus, kadangi kiekvienam respondentui būtina įteikti GPS prietaisą.



3.1 pav. Transporto eismo tyrimo priemonės: a) vaizdo kamera; b) infraraudonųjų spindulių jutiklis; c) radaras; d) indukcinė kilpa (paveikslai: <https://creativeaudio.net>, <https://www.gshpinc.com>, <http://www.its-ukreview.org>, <https://www.q-free.com>)

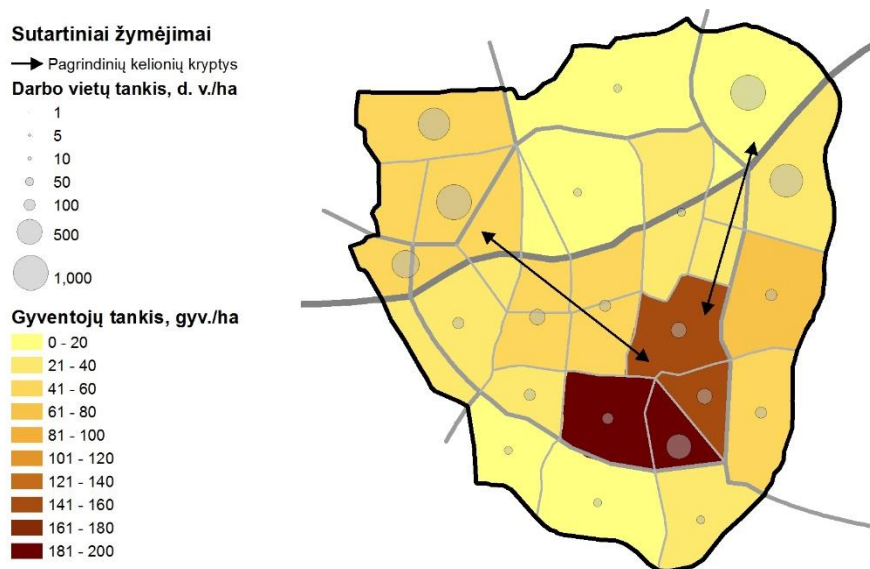
Fig. 3.1. Traffic detectors: a) camera; b) infrared; c) radar; d) induction loop (figures: <https://creativeaudio.net>, <https://www.gshpinc.com>, <http://www.its-ukreview.org>, <https://www.q-free.com>)

Vėliau atsirado išmanieji telefonai su įmontuotu GPS imtuvu, kas atvėrė naujus tyrimų kelius. Tokių prietaisų tikslumas siekia iki 10–15 metrų, o duomenys gali būti atnaujinami net kas 0,5 sekundės (Patire *et al.* 2014). Nustatyta, kad naudojant tokius tikslus duomenis pakanka surinkti 2–3 % visų duomenų, kad būtų pasiekiamas patikimas tikslumas nustatant transporto srautus ar identifikuojant transporto rūšis (Necula, 2015). Mokslininkai naudodami šį duomenų surinkimo būdą ženkliai sumažina išlaidas (Ready *et al.* 2010, Bierlaire *et al.* 2013), gali surinkti tikslus respondentų judėjimo duomenis bei greitai juos apdoroti naudojant įprastą kompiuterį. Pagrindine problema vis dar išlieka duomenų surinkimas ir apdorojimas (Dong *et al.* 2015), tačiau mokslininkai aktyviai ties tuo dirba pateikdami vis naujus algoritmus (Jin *et al.* 2013, Zheng *et al.* 2016). Šiuo metu duomenų apdorojimo algoritmų kiekis toks didelis, kad pasirinkus tinkamą algoritmą galima su dideliu patikimu nustatyti net kelionės būdą, t. y. ar kelionė atliekama pėsčiomis, važiuojama dviračiu, naudojama privati ar vieša transporto priemonė. Reddy *et al.* (2010) teigia, kad galima pasiekti net 93,6 % kelionės būdo nustatymo tikslumą.

Kiti nepaminėti tyrimo būdai yra arba specifiniai ir reikalauja specialių priemonių, atlikimo būdų ar duomenų apdorojimo, arba yra anksčiau paminėtų būdų iteracijos ar kombinacijos.

3.2. Miesto gyventojų tankis ir darbo vietų tankis

Pagrindinis transporto modelio komponentas yra kelionė. Kelionė turi savo pradžią ir pabaigą. Išskiriamos tokios pagrindinės kelionių grupės: darbo, kultūrinės-buitinės ir grįžtamosios. Būtent piko metu, kuomet atliekama daugiausia kelionių, vyrauja darbo kelionės, – iš namų į darbą – rytinio piko metu arba iš darbo į namus – vakarinio piko metu. Atliekant modeliavimą būtina žinoti gyventojų tankį bei darbo vietų tankį, kadangi tai turi tiesioginį poveikį gyventojų atliekamų kelionių skaičiui bei kelionių būdai (Jakimavičius 2008; Grigonis *et al.* 2014). Choi *et al.* (2013) atliko 119-os Europos, JAV bei Azijos miestų statistinę analizę bei nustatė, kad didėjant miestų tankiui privačiu transportu atliekamų kelionių skaičius mažėja; mažėjant miestų tankiui atliekamų kelionių greitis didėja; didesnio tankio miestuose viešuoju transportu atliekamų kelionių dalis yra didesnė. Pastarąjį teiginį Souche (2010) savo darbe tik patvirtino.



3.2 pav. Gyventojų ir darbo vietų tankių tipinė schema (sudaryta autoriaus)
 Fig. 3.2 Typical example of population and workplace density (created by author)

Turint gyventojų tankio ir darbo vietų tankio duomenis galima ne tik nustatyti, tarp kokių rajonų bus atliekama daugiausiai kelionių, bet ir nuspėti silpnąsias SS infrastruktūros vietas bei planuoti jų rekonstrukcijas ar naujų jungčių diegimą. Taip pat šie duomenys puikiai pasitarnauja vykdant viešojo transporto plėtrą bei monitoringą, – keičiant tiek maršrutus ar maršrutuose esančių viešojo transporto priemonių skaičių, tiek planuojant naujas viešojo transporto rūšis.

Tipinė gyventojų tankio ir darbo vietų tankio schema pateikta 3.2 paveiksle. Iš schemos matyti, kad didžiausia gyventojų koncentracija sutelkta pietrytinėje miesto dalyje, o daugiausia darbo vietų yra šiaurės rytinėje ir šiaurės vakarinėje miesto dalyje. Dėl skirtingų gyvenamųjų vietovių ir darbo vietų pasiskirstymo vietų mieste neišvengiamai formuosis namai-darbas kelionių švytuokliniai srautai. Tai taip pat vizualiai leidžia nustatyti ST jungtis, kuriomis tos kelionės bus atliekamos ir kurioms reikėtų skirti didesnę dėmesį ne tik palaikant esamą SS lygį, bet ir siekiant jį pagerinti.

Duomenys apie gyventojų skaičių paprastai imami iš LSD atlikto gyventojų surašymo, o apie darbo vietas iš Registrų centro Juridinių asmenų registro duomenų bazių. Šie duomenys turi turėti koordinates ar adresus, kad juos būtų galima priskirti konkrečioms vietoms mieste. Duomenų atvaizdavimui naudojama GIS programinė įranga ir atitinkamos funkcijos.

3.3. Miesto centrinės dalies nustatymas

Miesto administracinė riba neretai būna daug toliau nei reali miesto riba be priemiesčių, – dar vadinama miesto centrine dalimi. Pastarąją būtina nustatyti siekiant tikslesnių SS parametrų nustatymo bei jų įvertinimo.

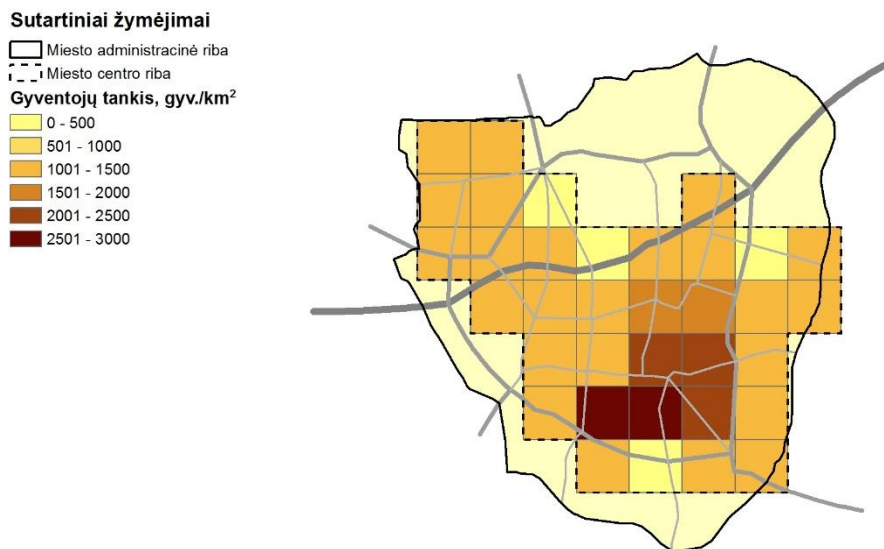
Miesto centras nustatomas pagal EK išleistą miestą apibūdinančią metodiką „Cities in Europe. The new OECD-EC definition“ (European Commission (EC). 2012). Visų pirma miestas suskirstomas į 1 km² ploto celes (1 km pločio kvadratas), kuriuose suvedami agreguoti gyventojų skaičiaus duomenys. Atrenkamos celės, kuriose yra nemažiau kaip 1 500 gyventojų. Susidarę tarpai užpildomi laikantis daugumos taisykle. Pastaroji teigia, kad jei aplink neatrinktą celę bent 5 iš 8 aplinkinių celių yra užpildytos, tai ji prijungiama, – procesas kartojamas kol tenkinama sąlyga.

Daugumos taisyklė gali būti aprašyta taip:

$$\begin{aligned} \text{jeigu } \sum C_{ij} \geq 5, \text{ tai } E_{ij} = 1, \text{ priešingu atveju } E_{ij} = 0; \\ 0 \leq C_{ij} \leq 8; \\ i \in [1 \dots 8]; \\ j \in [1 \dots 8], \end{aligned} \quad (3.1)$$

čia C_{ij} – greta E_{ij} esančios celės reikšmė (0 arba 1); E_{ij} – nagrinėjamos celės reikšmė (0 arba 1).

Tipinė miesto centro schema pateikta 3.3 paveiksle.



3.3 pav. Miesto centrinės dalies tipinė schema (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.3 Typical example of city centre (created by author)

Iš 3.3 paveikslo matyti, kad miesto centrinė dalis kai kuriose vietose gali sutapti su miesto administracine riba, tačiau įprastai yra mažesnė už ją.

3.4. Miesto gyventojų atliekamų kelionių vidutinės trukmės

Atliekant transporto srautų modeliavimą svarbu ne tik kelionių skaičius, bet ir jų atlikimo laikas. Kelionės atlikimo laikas parodo ST „pasipriešinimą“, t. y. kelionės laiko sulėtėjimą, kai pasiekama gatvių tinklo atskirų atkarpų laidumo riba. Jei gyventojų tankio ir darbo vietų schemas leidžia numatyti silpnąsias SS jungtis, tai vidutinės kelionių trukmės gatvių tinkle jas identifikuoja.

Google kompanija pristačiusi žemėlapius tuo nesustojo ir suteikė vartotojams galimybę planuoti kelionės maršrutą atsižvelgiant į tuo metu numanomą pagal istorinius duomenis gatvių tinklo apkrovimą. Visų pirma Google išvelgė, kad pasiūlydami žemėlapių bei maršrutų planavimo paslaugas vartotojai taip pat nori sutaupyti laiko atlikdami savo keliones, nes piko metu trumpiausias maršrutas ne visuomet yra greičiausias. Čia Google inžinieriai ir panaudojo išmaniųjų telefonų GPS duomenis. 2009 metais kompanija ėmė rinkti GPS duomenis iš išmaniųjų telefonų. Duomenys anonimiškai surenkami į Google serverius ir apdorojami. Apdoroti duomenys leidžia nuspėti automobilių judėjimo greičius atskiromis gatvių

tinklo atkarpomis bet kuriuo paros, savaitės ar sezono metu. Kuo daugiau duomenų surenkama tuo ši informacija tampa vis patikimesnė (Barth 2009). Šiuo metu Google kompanija teikia su žemėlapių panaudojimu susijusias paslaugas, kurios pasiekiamos per jos sukurtas taikomas programas (Google Maps API). Viena iš tų programų yra Distance Matrix API. Pastaroji suteikia galimybę pasinaudoti Google serveriuose surinktais ir apdorotais duomenimis siekiant nustatyti kelionės atstumus bei trukmes tarp nurodytų pradžios ir pabaigos taškų.

Susiejus šiuos duomenis su TZ galima vizualizuoti pastarųjų pasiekiamumą, t. y. nustatyti, kurios miesto zonos yra lengvai pasiekiamos, o kurios – sunkiai bei imtis atitinkamų SS gerinančių priemonių.

3.5. Gatvių tinklo pagrindiniai parametrai

Transporto srautų modeliavimo vieną iš pagrindinių dalių, – poreikio nustatymą, apibendrintai sudaro dvi pagrindinės dalys – paklausa ir pasiūla. Paklausa rodo kokio transporto srautai susidaro, o pasiūla – kokius transporto srautus gatvių tinklas gali aptarnauti. Todėl gatvių tinklas transporto srautų modeliavime yra laikomas pagrindu, kurio parametrai privalo būti kuo tikslesni ir atitinkantys realią ar prognozuojamą situaciją. Visų pirma gatvių tinklas yra geometrija, t. y. mazgai su savo koordinatėmis bei atkarpomis, jungiančiomis juos. Keliolika atskirų atkarpų su priklausančiais mazgais sujungtų į visumą sudaro gatvių tinklą. Kiekviena gatvių tinklo atkarpa turi turėti tokius pagrindinius parametrus: pradžią, pabaigą, kryptį bei ilgį. Modeliavimui neatsiejami parametrai yra: eismo juostos plotis, eismo juostų skaičius, leistinas greitis, leidžiamos transporto priemonių rūšys. Mazgai žymi vietas, kur prasideda ar baigiasi gatvių tinklo atkarpa, keičiasi eismo juostų skaičius, leidžiamas ar draudžiamas atskirų transporto rūšių eismas, atkarpų susikirtimus – sankryžas. Priklausomai nuo modeliavimo mastelio (makro ar mikro) sankryžų vaizdavimas supaprastinamas arba detalizuojamas. Makro modeliavime sankryžos įprastai nedetalizuojamos, užtenka nurodyti sankryžos tipą – vieno ar kelių lygių, reguliuojama šviesoforu, kelio ženklais ar nereguliuojama. Mikro modeliavime sankryžos aprašomos detalčiai – atvaizduojamos visos eismo juostos įeinančios ir išeinančios iš sankryžos, visi galimi manevrai bei judėjimo trajektorijos, įtraukiant ir papildomai atsirandančias eismo juostas dėl atskirų judėjimo manevrų atlikimo, kuo tikslesnis jų ilgis. Esant šviesoforiniam reguliavimui aprašomas šviesoforo darbo planas, o jam nesant judėjimo pirmenybė sankryžoje atsižvelgiant į kelio ženklus ir KET (kelių eismo taisyklės). Taip pat kiekvienoje atkarpoje nurodomos leidžiamos transporto priemonių rūšys bei joms taikomi apribojimai. Esant dideliems aukščių skirtumams tarp atskirų jungčių (būdinga kalnuotom vietovėm) bei tai turint įtakos eismo sąlygom, pastarieji parametrai taip pat įtraukiami aprašant gatvių tinklą.

Gatvių tinklas gali būti apibūdinamas įvairiais parametrais, tokiais kaip: gatvių tinklo ilgis, gatvių tinklo tankis, gatvių atkarpų ir sankryžų laidumas, gatvių tinklo rišlumas, tačiau reikia turėti omeny, kad miestai yra unikalios struktūros, kaip ir jų gatvių tinklas, todėl būtina nustatyti atskiro gatvių tinklo efektyvumą.

Juškevičius *et al.* (2013) yra išskyręs 5-is kriterijus, kuriais remiantis galima nustatyti gatvių tinklo efektyvumą:

- Pirmasis – minimalus pagrindinių gatvių tinklo ilgis, garantuojantis susisiekimą tarp visų rajonų bei aptarnaujantis visas užstatytas teritorijas. L_{min} – minimalus gatvių tinklo arba gatvių juostų ilgis, km.
- Antrasis – visi transporto priemonių ryšiai realizuojami mažiausiomis laiko arba nuvažiuoto kelio sąnaudomis. $Q_{i,min} = LR_i$, kur: $Q_{i,min}$ – minimali rida, greičiausias ar kitaip naudingiausias maršrutas; R_i – i -asis ryšys.
- Trečiasis – gatvės laidumas. Gatvės laidumas turi būti didesnis nei faktinis srautas. Taip pat reikia įvertinti ir sankryžų laidumą, nes pastarasis būna mažesnis nei gatvės, taip apribojantis gatvės laidumą.
- Ketvirtasis – universalus arba iš dalies universalus gatvių tinklas, t. y. gatvių tinklas turi turėti tęstinumo galimybę be didesnių miesto struktūros pertvarkų.
- Penktasis – gatvių tinklo patikimumas. Pagrindinių A, B, C kategorijų gatvių tinklo rišlumas turi būti ne mažesnis nei 1,0. $\beta = g/s$, kur: β – gatvių tinklo rišlumas ($1 \leq \beta \leq 3$); g – gatvių atkarpų tarp sankryžų skaičius; s – sankryžų skaičius. $\beta \geq 1,5$ užtikrina, kad nebūs kritinių sankryžų ir atkarpų.

Reikėtų išskirti gatvių laidumą, kuris priklauso nuo daugelio parametų: važiuojamosios dalies pločio, vidutinio transporto srauto greičio, transporto priemonės ilgio, atstumo tarp transporto priemonių, transporto srauto vienalytiškumo, sankryžų tipo ir t. t. Įprastai vienos eismo juostos laidumas yra lygus 1750 lengvųjų automobilių per valandą (Paliulis 2007). Tuo tarpu sankryžos laidumas įprastai būna mažesnis už į ją įeinančių gatvių laidumų sumą ir priklauso nuo sankryžos geometrijos, sankryžos tipo, eismo organizavimo būdo, joje susikertančių tarpusavyje konfliktuojančių transporto srautų, transporto srautų nevienalytiškumo, dalyvaujančių transporto rūšių ir nustatomas natūriniais tyrimais.

Jungties laidumas nustatomas modeliavimo metu, todėl jį lemiantys parametrai yra labai svarbūs ir laikomi pamatiniais ne tik sudarant gatvių tinklą, bet ir visą transporto modelį kaip visumą. Išskiriami tokie pagrindiniai gatvių tinklo jungties laidumą lemiantys parametrai: eismo juostų skaičius, eismo juostos plotis, leistinas greitis.

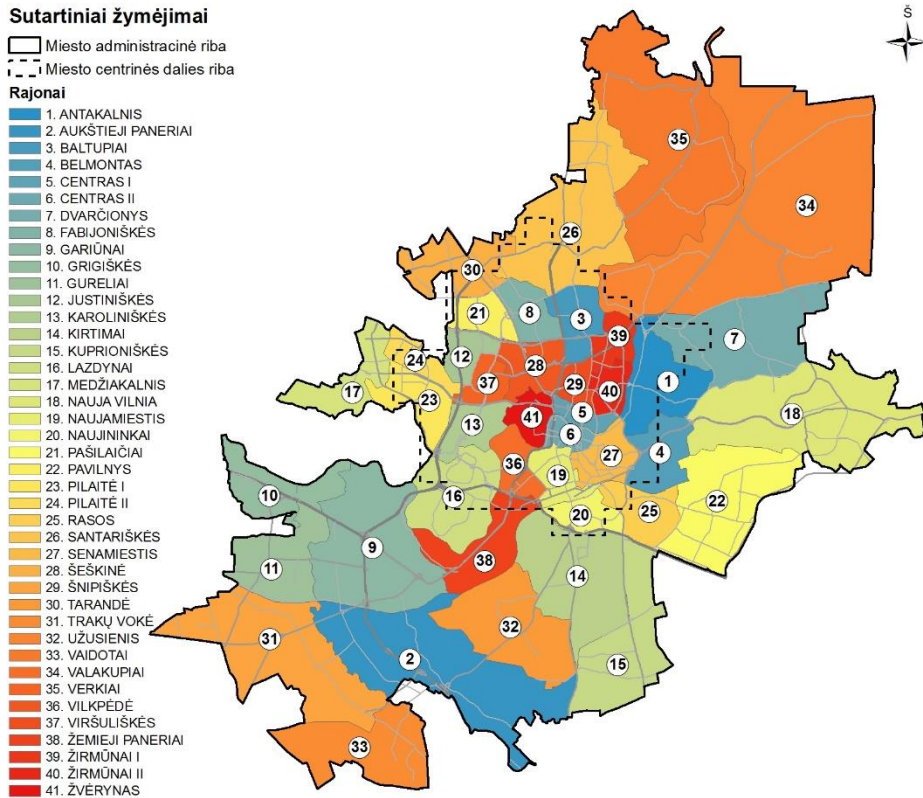
3.6. Susisiekimo sistemos tyrimai ir jų rezultatai

Lietuvoje remiantis LSD Oficialiosios statistikos portale (osp.stat.gov.lt) pateikiamais 2018 m. liepos 1 d. išankstiniais duomenimis galima išskirti 6 miestus, turinčius daugiau kaip 50 000 gyventojų: Vilnius m. sav. (549 181 gyv.), Kauno m. sav. (287 665 gyv.), Klaipėdos m. sav. (148 090 gyv.), Šiaulių m. sav. (100 429 gyv.), Panevėžio m. sav. (88 093 gyv.), Alytaus m. sav. (51 028 gyv.) (Nuolatinių gyventojų skaičius... 2018). Darbe nagrinėti pasirinkti du didžiausi Lietuvos miestai – Vilnius ir Kaunas, kuriuose transporto srautai yra didžiausi lyginant su kitais Lietuvos miestais bei kartu didžiausios bei opiausios SS problemos, kurios tiesiogiai paveikia ne tik šių miesto gyventojus, bet ir tiesiogiai ir (ar) netiesiogiai daugumą likusios Lietuvos gyventojų.

3.6.1. Vilniaus miesto susisiekimo sistema

Vilnius – didžiausias Lietuvos miestas, sostinė, kuriame veikia svarbiausi politiniai, ekonominiai, socialiniai ir kultūriniai centrai. Remiantis LSD pateikiamais duomenimis 2018 m. liepos 1 d. nuolatinių gyventojų skaičius Lietuvoje buvo 2 800 738, tuo tarpu Vilniaus mieste – 549 181, kas sudarė 19,6 % visų Lietuvos gyventojų. Gyventojų skaičius centrinėje miesto dalyje siekė 444 988 (81 % visų miesto gyventojų). Ūkio subjektų skaičius siekė apie 35 tūkst. Vilniaus miesto plotas – 401 km². Vilniaus miesto rajonų schema pateikta 3.4 paveiksle.

Vilnių sudaro 41 rajonas. Didžiausią plotą, – 5356 ha užima Valakupiai, Verkiai – 3 106 ha, Aukštieji Paneriai – 2 467 ha, Nauja Vilnia – 2 364 ha, Santariškės – 2 05 ha. Visi jie išsidėstę už miesto centrinės dalies. Mažiausią plotą turi miesto centrinėje dalyje esantys rajonai: Centras I – 156 ha, Centras II – 182 ha, Šnipiškės – 194 ha, Žirmūnai II – 252 ha, Žvėrynas – 265 ha. Į miesto centrinę dalį pilnai patenka 14 rajonų: Baltupiai, Centras I, Centras II, Fabijoniškės, Karoliniškės, Naujamiestis, Pašilaičiai, Senamiestis, Šeškinė, Šnipiškės, Vilkpėdė, Viršuliškės, Žirmūnai II ir Žvėrynas, – iš kurių didžiausią plotą užima Šeškinė su 456 ha, o mažiausią – Centras I (156 ha). Patenka bent dalis rajono ploto į miesto centrinę dalį (15 rajonų): Antakalnis, Belmontas, Dvarčionys, Justiniškės, Kirtimai, Lazdynai, Naujininkai, Pilaitė I, Pilaitė II, Rasos, Santariškės, Tarandė, Valakupiai, Žemieji Paneriai, Žirmūnai I, iš kurių didžiausią plotą užima Valakupiai su 5356 ha, o mažiausią – Žirmūnai I (272 ha). Viso miesto centrinėje dalyje yra 29 rajonai iš 41.



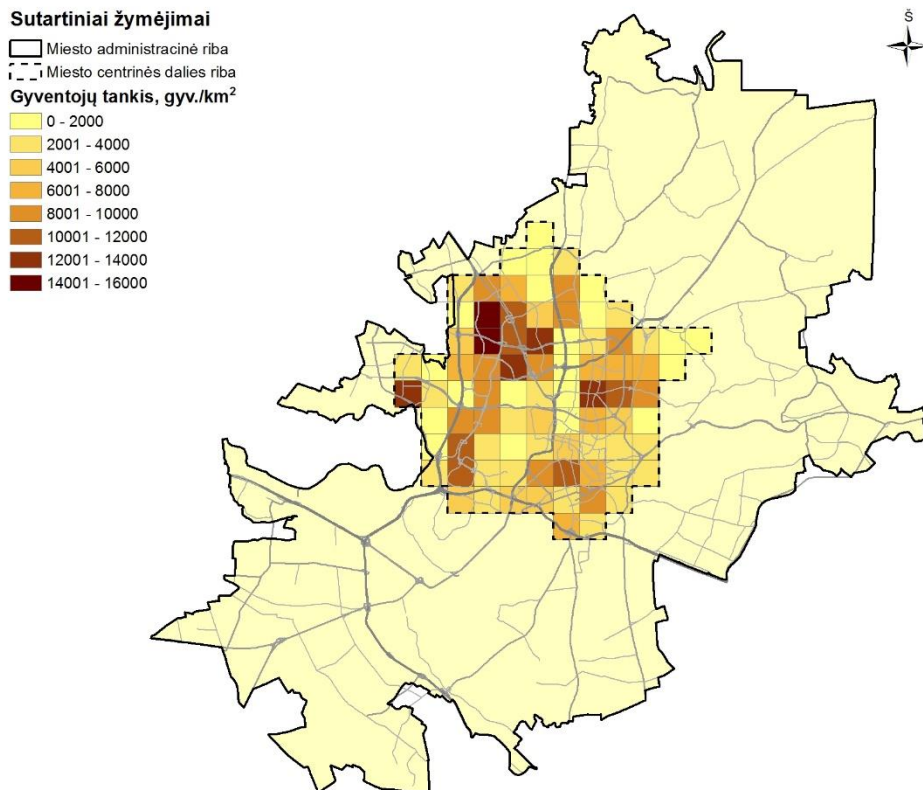
3.4 pav. Vilniaus miesto rajonų schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirusius erdvinis duomenis)

Fig. 3.4. Districts in Vilnius city (created by author using open spatial data)

3.5 paveiksle pavaizduotas gyventojų pasiskirstymas miesto centre, o 3.6 paveiksle – darbo vietų pasiskirstymas. Nustatyta, kad Vilniaus miesto centras užima 84 km² plotą (21 % viso miesto ploto), jame pagal LSD surinktus gyventojų surašymo duomenis gyvena 444 988 gyventojai ir yra 371 117 darbo vietų.

Agreguoti duomenys rodo, kad tankiausiai apgyventa miesto centrinė dalis – Senamiestis, Naujamiestis, Naujininkai, vakarinė, šiaurės vakarinė dalis – Lazdynai, Karoliniškės, Justiniškės, Viršuliškės, Šeškinė, Fabijoniškės, Pašilaičiai (miegamieji rajonai) bei šiauriau nuo centrinės dalies esantys Žirmūnai. Šeškinėje ir Justiniškėse nustatytas didžiausias gyventojų tankis, atitinkamai – 215 gyv./ha ir 214 gyv./ha. Didesnį nei 150 gyv./ha gyventojų tankį turi 6 rajonai: Žirmūnai II (185 gyv./ha), Viršuliškės (176 gyv./ha), Fabijoniškės (169 gyv./ha), Vilkpėdė

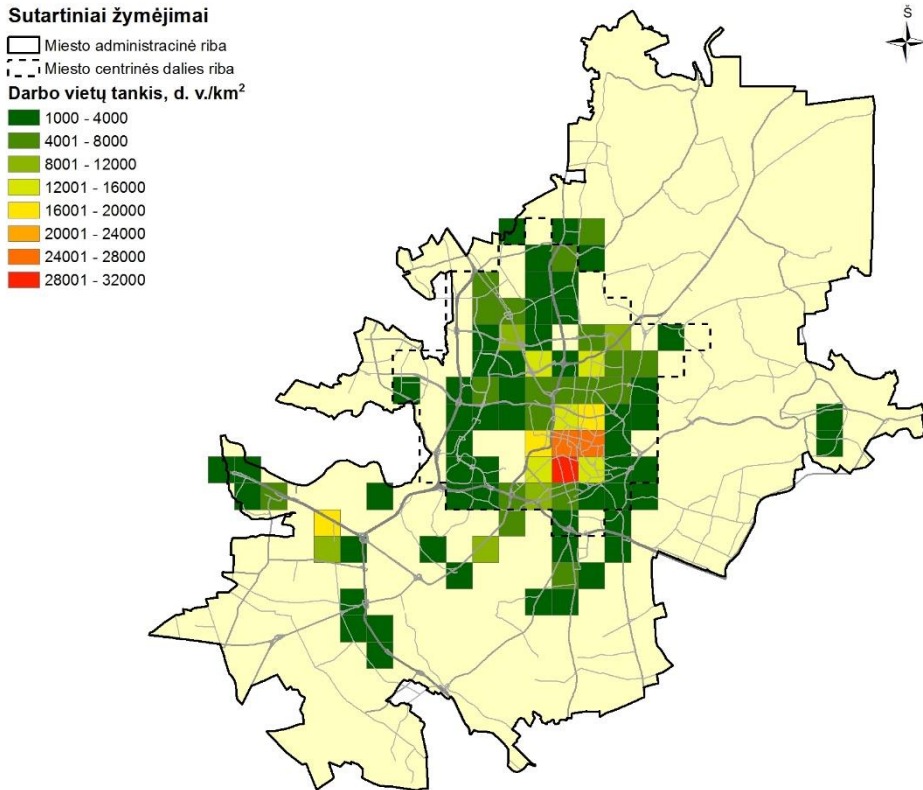
(168 gyv./ha), Karoliniškės (154 gyv./ha) ir Pašilaičiai (151 gyv./ha). Būtent miegamieji rajonai ir yra didžiausi keliones generuojantys centrai.



3.5 pav. Vilniaus miesto gyventojų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirojusius erdvinius bei Lietuvos statistikos departamento duomenis)

Fig. 3.5. Population density in Vilnius city (created by author using open spatial data and data from Statistics Lithuania)

Tuo tarpu darbo vietų pasiskirstymas (žr. 3.6 pav.) sukonzentruotas į centrinę miesto dalį – Senamiestį, Naujamiestį bei naująjį miesto centrą (Konstitucijos pr.). Čia koncentruojasi didžiausi kelionių traukos centrai. Didžiausias darbo vietų tankis siekia 492 d. v./ha Senamiesčio rajone bei 472 d. v./ha – naujajame centre (Centras II). Toliau su didesniu, nei 150 d. v./ha darbo vietų tankiu rikiuojasi Centras I (347 d. v./ha), Žvėrynas (217 d. v./ha), Naujamiestis (217 d. v./ha), Šeškinė (201 d. v./ha) ir Pašilaičiai (188 d. v./ha).



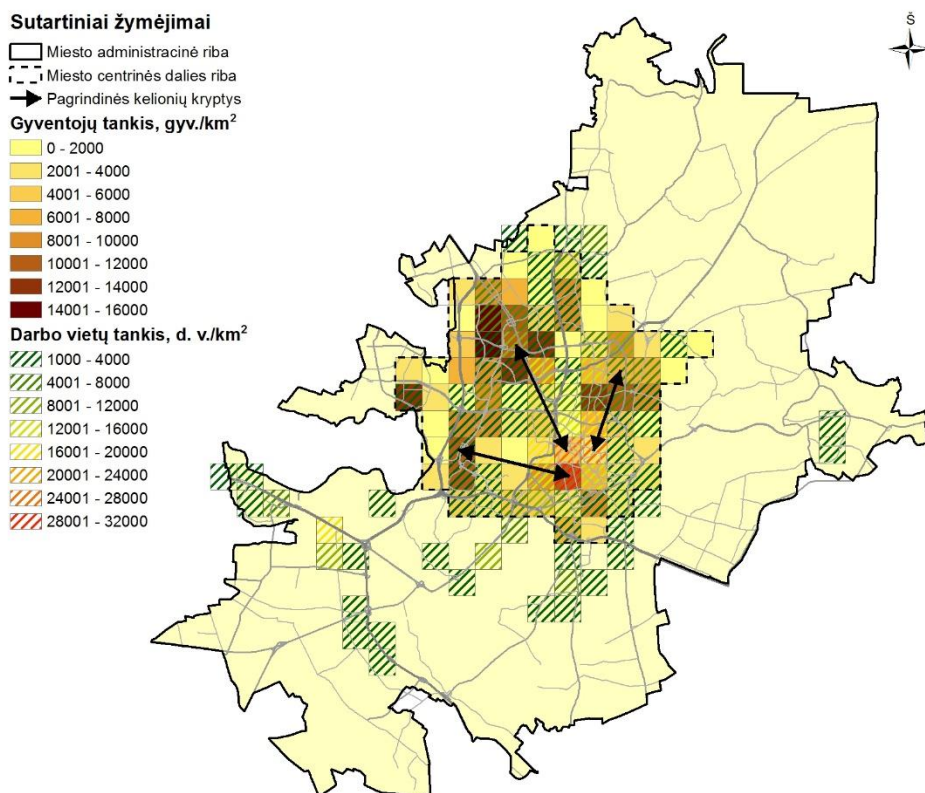
3.6 pav. Vilniaus miesto darbo vietų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirojus erdvinius bei Registrų centro duomenis)
Fig. 3.6. Workplace density in Vilnius city (created by author using open spatial data and data from Center of Registers)

Akivaizdu, kad pagrindinės piko metu atliekamos kelionės namai-darbas ir darbas-namai vyksta tarp miegamųjų rajonų ir miesto centrinės dalies bei atvirkščiai, – vyksta švytuoklinis judėjimas (žr. 3.7 pav.). Dėl to didelius transporto srautus turi aptarnauti šios miesto arterijos: Geležinio Vilko g., Ukmergės g., Konstitucijos pr. ir Narbuto g.

Panaudojant Google Maps API (Distance Matrix API), GIS bei statistinę analizę nustatytas santykinis kelionės laikas Vilniaus mieste 2018 m. balandžio mėnesį. Rezultatai pateikiami 3.8 paveiksle.

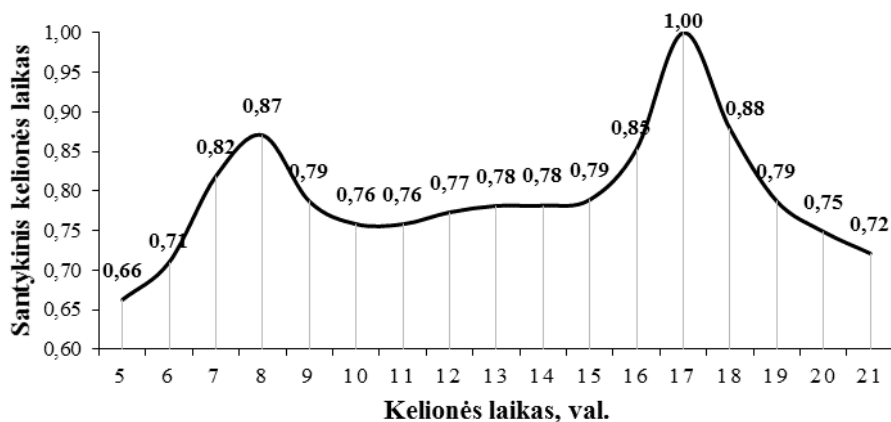
Distance Matrix API buvo pateiktos užklauskos su TZ centroidų koordinatėmis bei tyrimų laiko intervalu. Vilniaus miestas yra sudalintas į 211 TZ, kurios, nereikalaujant didelio rezultatų tikslumo, gali būti agreguotos į 41. Kadangi

Google Maps API turi 2500 užklausimų/parą limitą, pasirinkta naudoti sustambintas TZ, o laiko intervalas nuo paros sutrumpintas iki reprezentatyvių 17 valandų – nuo 5 val. ryto iki 22 val. vakaro. Viso pateiktos 27 882 užklausos. Gauti realaus laiko kelionių trukmės tarp transportinių rajonų centroidų užklaustomis valandomis. Agregavus gautus duomenis pagal valandas nustatytas santykinis Vilniaus mieste atliekamų kelionių laikas (žr. 3.8 pav.). Iš paveikslo matyti aki-vaizdūs pikai: rytinis pikas – 7:30–8:30 val. (santykinis kelionės laikas – 0,87) bei vakarinis pikas 16:30–17:30 val. (santykinis kelionės laikas – 1,00). Vakarinio piko transporto srutai yra apie 15 % didesnis nei rytinio, todėl tipiniai transporto modeliavimai turėtų būti atliekami būtent vakarinio piko laikui.



3.7 pav. Vilniaus miesto gyventojų ir darbo vietų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus Lietuvos statistikos departamento, Registrų bei atvirusius erdvinius duomenis)

Fig. 3.7. Population and workplace density in Vilnius city (created by author using data from Statistics Lithuania, Center of Registers and open spatial data)

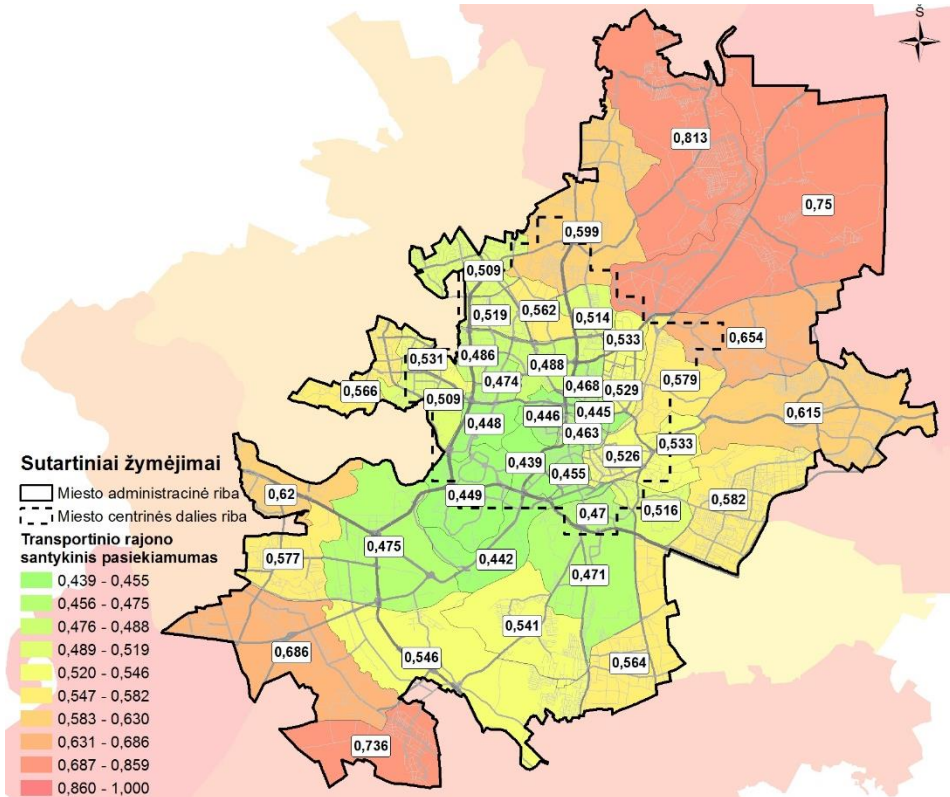


3.8 pav. Vilniaus miesto santykinis kelionės laikas (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API duomenis)

Fig. 3.8. Relative travel times in Vilnius city (created by author using data from Google Maps API)

Siekiant nustatyti transportinius rajonus, kurie neturi pakankamai išvystyto ST atliktas transportinių rajonų PI tyrimas. Šį kartą prie esamos 41 TZ pridėta 12 išorinių TZ, siekiant gauti tikslesnius su miesto riba besiribojančių TZ rezultatus. Žinant jau anksčiau nustatytą didžiausio transporto intensyvumo piko valandą (17 val.), 53 TZ centroidų koordinatės pateiktos Distance Matrix API, – viso 2756 užklauskos. Kiekviename transportiniame rajone susumuotos visų atvykstančių ir išvykstančių kelionių trukmės. Gauti rezultatai paversti santykiniais dydžiais padalinant iš didžiausios TZ esančios reikšmės. Rezultatai priskirti TZ bei panaudojant GIS atvaizduoti 3.9 paveiksle bei pateikti G priede. Kuo koeficientas mažesnis, tuo TZ turi geriau išvystytą gatvių tinklą, o kelionių trukmės iš ir į TZ yra mažiausios. Vilniaus mieste tokios zonos yra Vilkpėdės, Žemųjų Panerių, Centro I, Žvėryno, Karoliniškių, Lazdynų, Naujamiesčio, Centro II, Šnipiškių, Naujininkų rajonuose, čia PI siekia nuo 0,439 iki 0,47. Tokį gerą pasiekiamumą lemia, tai, kad visi šie rajonai išsidėstę miesto centrinėje dalyje, kur didžiausias gatvių tinklo tankis bei iš kurio patogiausia pasiekti visus kitus rajonus. Blogiausia padėtis miesto šiaurės rytinėje (Verkiai, Valakupiai, Dvarčionys, Nauja Vilnia, Santariškės, Pavilnys, Antakalnis) bei pietvakarinėje (Vaidotai, Trakų Vokė, Griškiškės, Gureliai) dalyse. Čia PI siekia nuo 0,577 iki 0,813. Tai lemia rajonų didelis atstumas nuo miesto centro ir (ar) ST nepakankamumas. Pietvakarinėje dalyje rimtų priemonių pagerinti susisiekimo sąlygas imtis nevertėtų dėl santykinai didelio atstumo iki miesto centro ribos ir nedidelio poveikio miesto centrinei daliai. Šiaurės rytinėje dalyje priešingai, – tokių priemonių verta ir reikėtų imtis, nes dalis transportinių rajonų (Dvarčionys, Valakupiai) ribojasi su miesto centro riba, todėl

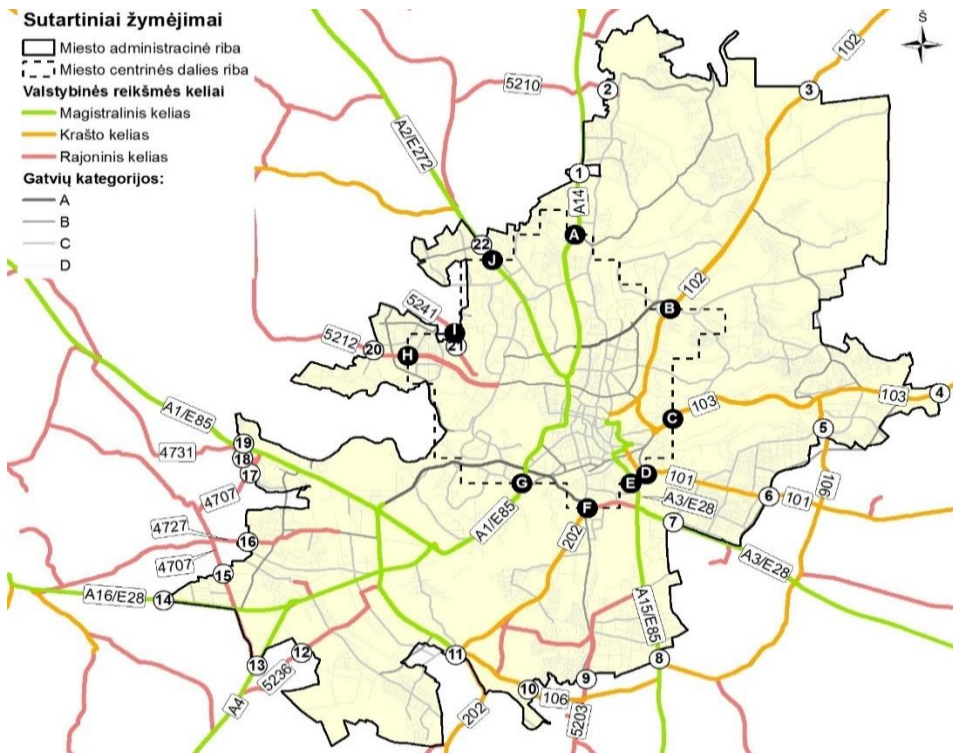
jų susisiekimo sąlygų pagerinimas atneštų juntamos naudos ir miesto centrinei daliai. ST nepakankamumas akivaizdus Antakalnio rajone (PI – 0,579), nors šis rajonas ir yra arčiausiai miesto centrinės dalies, tačiau dėl mažo pagrindinių gatvių tinklo tankio, turint tik vieną pagrindinę Antakalnio gatvę, nesugeba užtikrinti gerų susisiekimo sąlygų. Taip pat čia SS plėtrą riboja Antakalnio padėtis išilgai gamtinės kliūtys – Neris upės.



3.9 pav. Vilniaus miesto santykinis transportinių rajonų pasiekiamumas (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atvirosius erdvinius duomenis)

Fig. 3.9. Vilnius city traffic analysis zones' relative accessibility (created by author using Google Maps API and open spatial data)

Vilniaus miesto administracinę ribą kerta 20 skirtingų valstybinės reikšmės kelių, – 7 magistralinės reikšmės, 5 – krašto reikšmės bei 8 – rajoninės reikšmės. Miesto centro ribą kerta 10 valstybinės reikšmės kelių, 5 iš šių kelių turi europinės reikšmės statusą: A1/E85, A2/E272, A3/E28, A15/E85, A16/E28. Visi valstybinės reikšmės keliai pavaizduoti 3.10 paveiksle, o detalesnė informacija pateikta 3.1 lentelėje.



3.10 pav. Vilniaus miesto kelių tinklas (sudaryta autoriaus panaudojus atviroseis erdviniais duomenimis)

Fig. 3.10. Vilnius city road network (created by author using open spatial data)

3.10 paveiksle raidėmis nuo A iki J sužymėti valstybinės reikšmės keliai, kertantys miesto centro ribą ir laikomi pagrindiniais miesto įvažiavimais ir išvažiavimais: A – A14, B – 102, C – 103, D – 101, E – A3/E28, F – 202, G – A1/E85, H – 5212, I – 5214, J – A2/E272. Būtent šiuose taškuose tikslinga atlikti transporto srautų matavimus siekiant nustatyti miesto centrinę dalį kertančio tranzitinio transporto srauto dydį. Naujų transporto rūšių diegimo Vilniaus mieste specialiajame plane (Naujų transporto rūšių... 2011) pateikta informacija, kad vidutinis tranzitinis transporto srautas Vilniaus kryptimi siekia 7,7 %, o atskiruose keliuose svyruoja nuo 3,0 % iki 12,3 %. Per pastaruosius metus tranzitinis srautas neturėjo ženklų priežasčių sumažėti ar padidėti, todėl tikėtina, kad išliko panašus ir šiai dienai ir siekia apie 8–10 %. Valstybinės reikšmės keliai kertantys Vilniaus miesto administracinę ribą pateikiami 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Valstybinės reikšmės keliai kertantys Vilniaus miesto administracinę ribą (sudaryta autoriaus)

Table 3.1. State roads crossing the boundaries of Vilnius city (created by author)

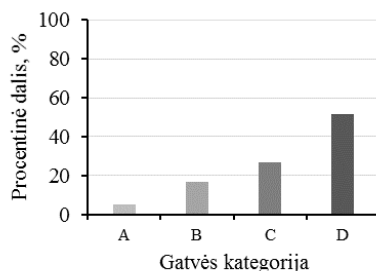
Kelio nr.	Pavadinimas	Kelio kategorija	Žymėjimas 3.10 paveiksle
Magistralinės reikšmės keliai			
A1/E85	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	I	G; 19
A2/E272	Vilnius–Panevėžys	AM	J; 22
A3/E28	Vilnius–Minskas	II	E; 7
A4	Vilnius–Varėna–Gardinas	II	13
A14	Vilnius–Utena	II	A; 1
A15/E85	Vilnius–Lyda	II	8
A16/E28	Vilnius–Prienui–Marijampolė	II	14
Krašto reikšmės keliai			
101	Vilnius–Šumskas	III	D; 6
102	Vilnius–Švenčionys–Zarasai	III	B; 3
103	Vilnius–Polockas	III	C; 4
106	Naujoji Vilnia–Rudamina–Paneriai	III	5; 10
202	Kirtimai–Pagiriai–Baltoji Vokė	III	F; 11
Rajoninės reikšmės keliai			
4707	Grigiškės–Lentvaris–Dobrovolė	IV	15; 17
4727	Trakai–Lentvaris–Mūrinė Vokė	IV	16
4731	Grigiškės–Dėdeliškės–Rykantai	V	18
5203	Ažuolijai–Juodšiliai–Jašiūnų geležinkelio stotis	IV	9
5210	Bendoriai–Riešė–Kalinai	V	2
5212	Pilaitė–Čekoniškės–Sudervė	IV	H; 20
5236	Paneriai–Šventininkai	V	12
5241	Privažiuojamasis kelias prie Buivydiškių nuo kelio Pilaitė–Čekoniškės–Sudervė	V	I; 21

Toliau nustatyti pagrindiniai Vilniaus miesto gatvių tinklo parametrai: bendras gatvių ilgis, gatvių ilgis pagal gatvių kategorijas, aplinkelių ilgis, gatvių tinklo tankis bei A, B, C kategorijų gatvių tinklo rišlumas (žr. 3.2 lentelę).

3.2 lentelė. Vilniaus miesto gatvių tinklo pagrindiniai parametrai (sudaryta autoriaus)
Table 3.2. Main parameters of Vilnius city street network (created by author)

Nr.	Parametras	Matavimo vnt.		Reikšmė	
1	Gatvių tinklo ilgis	km		1069	
1.1	A kategorijos gatvių ilgis	km	%	52	4,8
1.2	B kategorijos gatvių ilgis	km	%	181	16,7
1.3	C kategorijos gatvių ilgis	km	%	285	26,3
1.4	D kategorijos gatvių ilgis	km	%	550	50,7
1.5	Aplinkelių ilgis	km	%	16,8	1,5
2.	Gatvių tinklo tankis	km/km ²		2,67	
3.	A, B, C kategorijų gatvių tinklo rišlumas ($1 \leq \beta \leq 3$)	–		1,78	

Vilniaus miesto gatvių tinklo ilgis – 1069 km, 16,8 km sudaro aplinkkeliai. Iš anksčiau nustatytų parametru bei gatvių tinklo (žr. 3.12 pav.) akivaizdu, kad šiaurės rytinėje miesto dalyje būtina gatvių tinklo plėtra. Tai galėtų būti vidinis miesto aplinkkelis-greito eismo gatvė. Gatvių ilgių pasiskirstymas pagal kategorijas procentine išraiška atitinka eksponentinę kreivę (žr. 3.11 pav.). Tai „sveiko“ gatvių tinklo požymis. A, B, C kategorijų gatvių rišlumas pakankamas, tačiau yra potencialo jį pagerinti jau minėtoje šiaurės rytinėje miesto dalyje.



3.11 pav. Vilniaus miesto gatvių ilgių pasiskirstymas pagal kategorijas, % (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.11. Vilnius city street length distribution by category (created by author)

Vilniaus miesto gatvių tinklo karkasą sudaro A kategorijos gatvės: Garinių g., Geležinio Vilko g., Kareivių g., Kirtimų g., Minsko pl., O. Milašiaus g., Oslo g., Ozo g., Savanorių pr., Tūkstantmečio g., Vilniaus g. ir Žirnių g. Šios gatvės formuoja gatvių tinklo struktūrą, užtikrina ilgus ir nuolatinus miesto ryšius, ryšius su užmiesčiu, greitą bei intensyviai eismui pritaikytą susisiekimą. Per pastarąjį dešimtmetį šį gatvių tinklą papildė vakarinė greito eismo gatvė, pietinis aplinkkelis, o netrukus papildys ir planuojamos naujos jungtys – Mykolo Lietuvos g. ir Šiaurinė g.

Sutartiniai žymėjimai

- Miesto administracinė riba
- ⋯ Miesto centro riba
- Aplinkkeliai ir greito eismo gatvės**
- 1. Vakarinė greito eismo gatvė
- 2. Pietinis aplinkkelis
- 3. Planuojama Mykolo Lietuvos gatvė
- 4. Planuojama Šiaurinė gatvė
- Gatvių kategorijos:**
- A
- B
- C



3.12 pav. Vilniaus miesto gatvių tinklas (sudaryta autoriaus panaudojus atvirosius erdvinius duomenis)

Fig. 3.12. Vilnius city street network (created by author using open spatial data)

Vilniaus m. gatvių tinklas su gatvių kategorijomis bei naujomis ir planuojamomis jungtimis pavaizduotas 3.12 paveiksle, o naujų ir planuojamų jungčių pagrindiniai parametrai pateikiami 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė. Naujų ir planuojamų jungčių pagrindiniai parametrai (sudaryta autoriaus)
Table 3.3. Main parameters of new and planned links (created by author)

Nr.	Pavadinimas	Ilgis, km	Eismo juostų skaičius
1	Vakarinė greito eismo gatvė	9,3	6
2	Pietinis aplinkkelis	9,1*	4
3	Planuojama Mykolo Lietuvos gatvė	3,4	4
4	Planuojama Šiaurinė gatvė	6,3	6

*nurodytas pietinio aplinkkelio ilgis Vilniaus miesto administracinėse ribose

Vakarinė greito eismo gatvė (vakarinis aplinkkelis) – viena iš svarbiausių Vilniaus miesto struktūrinių gatvių, kurios statyba buvo numatyta dar 1981 m. parengtame Vilniaus miesto generaliniame plane. Statyba prasidėjo tik 2008 m. ir truko iki 2016 m. pabaigos. Vakarinė greito eismo gatvė nutiesta per Justiniškes, Karoliniškes, Lazdynus, Pašilaičius, Pilaitę I, Pilaitę II Tarandę ir Viršuliškes. Tai turi tiesioginį poveikį šių rajonų gyventojams ir jų sutrumpėjusių kelionių laikui. Viena iš šios jungties užduočių yra sumažinti Laisvės pr. apkrovimą, kuris jau buvo pasiekęs kritinę ribą ir piko metu jame formuodavosi grūstys. Taip pat nukreipti tranzitinį srautą judantį iš A1 (Vilnius–Kaunas–Klaipėda) kelio į A2 (Vilnius–Panevėžys) kelią ir atvirkščiai nuo miesto centrinės dalies.

Pietinis aplinkkelis (A19 magistralinis kelias) – jungtis tarp Vilniaus–Kauno ir Vilniaus–Minsko magistralių, skirtas tranzitinio srautui nukreipimui nuo miesto centro ir tarptautinio susisiekimo pagerinimui. Pietinis aplinkkelis nutiestas per Gariūnų ir Aukštųjų Panerių rajonus. Aplinkkelio statybos darbai prasidėjo 2011 m. ir dėl didelės apimties suskaidyti į 3 etapus, paskutinio etapo darbus numatyta užbaigti 2025 m.

Mykolo Lietuvos g. (šiaurinis aplinkkelis) numatyta kaip vakarinės greito eismo gatvės tęsinys, sujungiantis Ukmergės g. su Geležinio Vilko g. (taip pat turi būti rekonstruojama dalis Mokslininkų g. kertančios Geležinio Vilko g.). Taip sudarant galimybes tranzitiniam srautui judėti tarp A1, A2 ir A14 kelių. Mykolo Lietuvos g. kerta Tarandės ir Santariškių rajonus. Vilniaus miesto BP iki 2025 m. šiai gatvei numatyta B1 kategorija. Šiuo metu yra parengtas detalusis planas bei gauta PAV išvada.

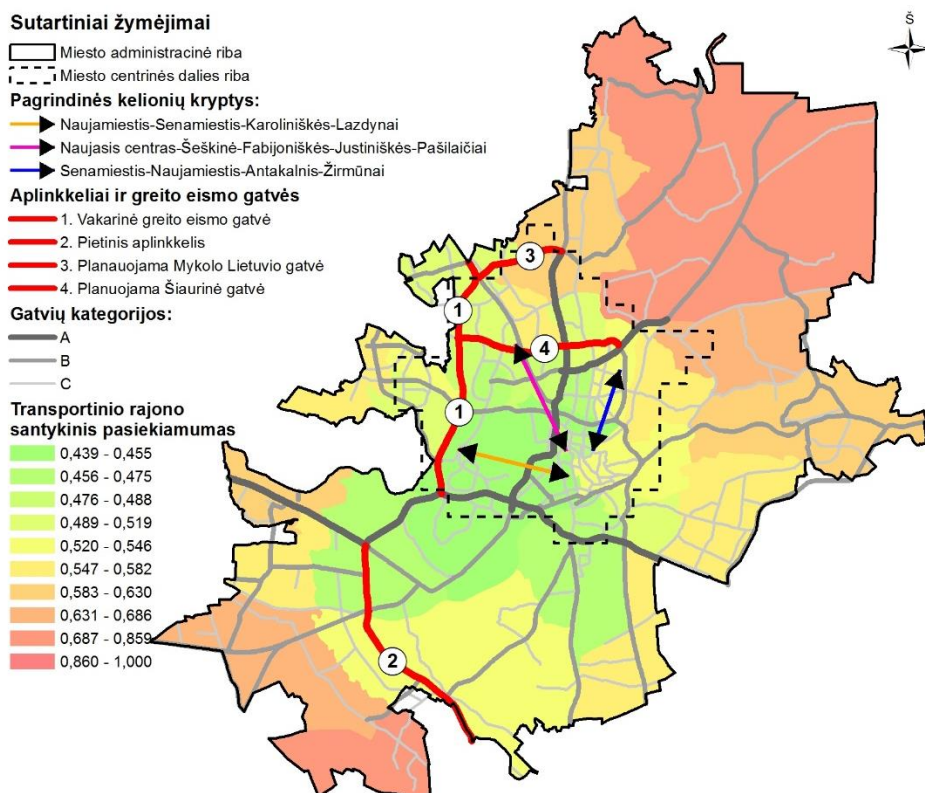
Šiaurinė g. dar viena gatvė, kuri skirta pagerinti miesto susisiekimą. Pastaroji sujungs vakarinę greito eismo gatvę su Žirmūnais kirsdama Laisvės pr., Ukmergės g., Geležinio Vilko g. ir Kalvarijų g. Pagrindinė šios gatvės paskirtis – vidinio susisiekimo šiaurinėje miesto dalyje pagerinimas bei Ozo g., Kareivių g. transporto srauto nukrovimas. Šiaurinė g. suplanuota Baltupių, Fabijoniškių, Justiniškių, Pašilaičių, Šeškinės ir Žirmūnų I rajonuose. Šiuo metu jau yra parengtas

gatvės detalusis planas, techninį projektą planuojama baigti 2019 m. rudenį. Tų pačių metų rudenį planuojama pradėti ir gatvės įrengimo darbus, kurie vyks 3 etapais.

Įgyvendinus planuojamas jungtis ženkliai pagerės šiaurinė miesto SS būklė, tiek vidiniai ryšiai, tiek tranzitinio srauto nukreipimas nuo miesto centrinės dalies.

3.6.2. Aplinkkelių vietos parinkimo metodikos pritaikymas Vilniaus miestui

Vilniaus m. SS per pastarąjį dešimtmetį gana ženkliai pasikeitė, ypač nutiesus pietinį aplinkkelį bei vakarinę greito eismo gatvę. Jau šiai dienai tranzitiniai transporto srautai yra suvaldyti ir nukreipiami nuo miesto centrinės dalies.



3.13 pav. Vilniaus miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo pagrindiniai veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atvirusius erdvinius duomenis)

Fig. 3.13. Main factors for situating bypass and fast traffic streets in Vilnius city (created by author using Google Maps API and open spatial data)

Pagal antrame skyriuje sudarytą aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką nustatyti socialiniai ir susisiekimo veiksniai (žr. 3.14 ir 3.15 pav.).

Socialiniai veiksniai: gyventojų tankis miesto centrinėje dalyje bei darbo vietų tankis miesto centrinėje dalyje. Sugrupuoti veiksniai leido identifikuoti pagrindines kelionių kryptis tarp transportinių rajonų: Naujamiestis–Senamiestis–Karoliniškės–Lazdynai; Naujasis centras–Šeškinė–Fabijoniškės–Justiniškės–Pašilaičiai.

Susisiekimo veiksniai: pagal gatvių kategorijas suskirstytas gatvių tinklas su įvardintomis greito eismo gatvėmis ir aplinkkeliais, svarbiomis planuojamomis jungtimis, bei transportinių rajonų pasiekiamumas. Sugrupuoti veiksniai padėjo įvertinti esamos SS bei planuojamų susisiekimo jungčių poveikį transportinių rajonų pasiekiamumams.

Sugrupuoti socialiniai bei susisiekimo veiksniai leidžia aiškiai įvardinti būtiną susisiekimo jungčių plėtrą atskiruose transportiniuose rajonuose.

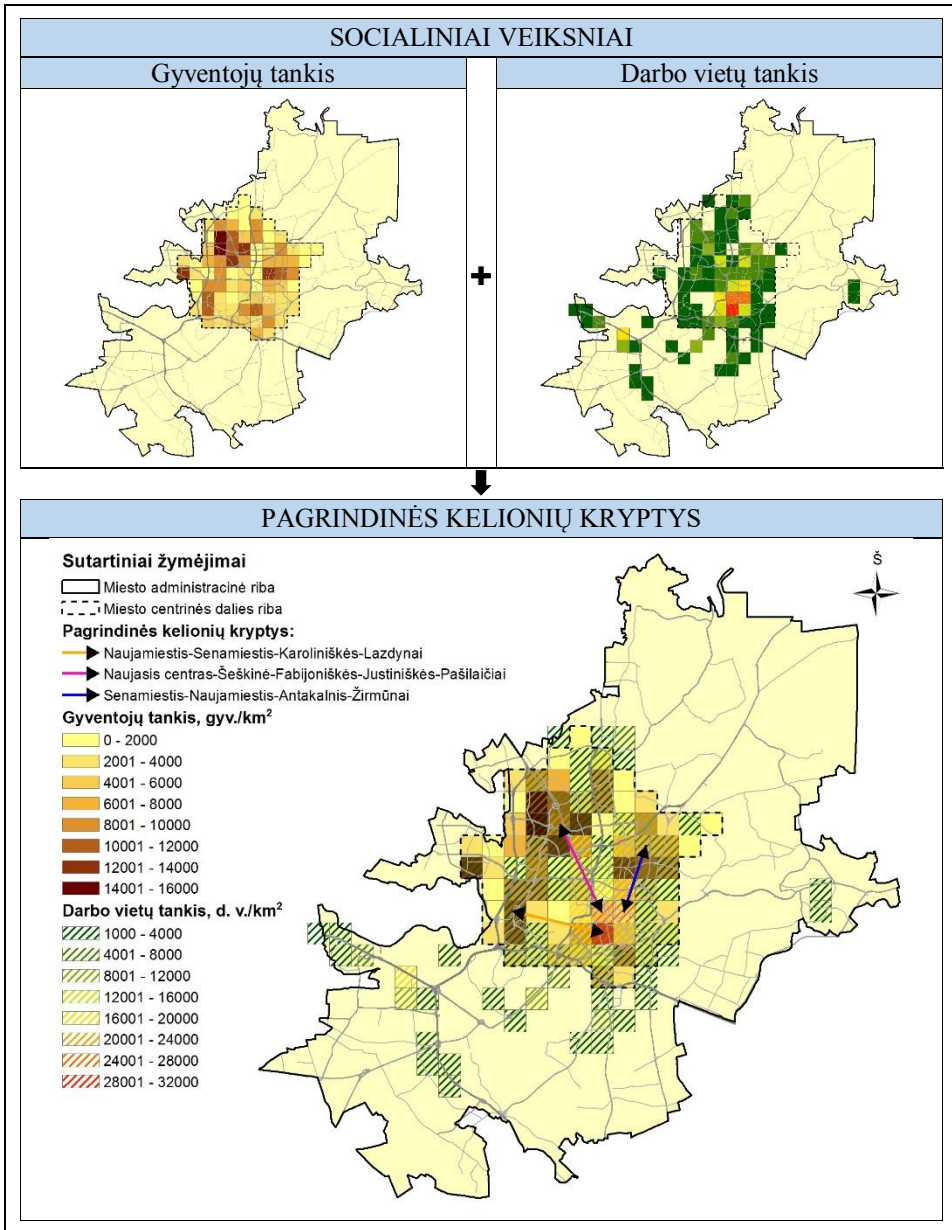
Sugrupuoti veiksniai pateikti 3.13 paveiksle, kuriame matyti, kad pagal dabartinę SS situaciją reikia plėsti aukštos kategorijos gatvių tinklą šiaurės, šiaurės rytinėje miesto dalyse ties miesto centro riba. Taip pat būtų galima naujos jungties statyba ir rytuose. Šiaurinėje dalyje jau yra numatyta Mykolo Lietuvos gatvės rekonstrukcija sujungiant Vakarinę greito eismo g. ir Geležinio Vilko g. Taip pat jau suprojektuota Šiaurinė gatvė, kuri sustiprins pagrindinių gatvių karkasą bei dubliuos Ozo g., kuri jau yra pasiekusi savo teorines laidumo ribas, o atsiradus naujam traukos objektui – nacionaliniam stadionui, būtų nepajėgi susidoroti su dar didesniais transporto srautais. Šiaurinė gatvė tęsis nuo Vakarinės greito eismo gatvės iki Žirmūnų mikrorajono. Įgyvendinus šiuos projektus, bus suformuotas rišlus aukštos kategorijos gatvių ir aplinkkelių tinklas, kuris tarnaus kaip stiprus gatvių karkasas, leidžiantis toliau pereiti į kitą SS gerinimo etapą, t. y. žemesnių kategorijų gatvių bei sankryžų rekonstrukcijas didinant jų laidumą.

Toliau nustatomi santykiniai atstumai nuo miesto centro. Panaudojant GIS apskaičiuojamas miesto centro plotas bei nustatomas centroidas nuo kurio atidedami santykiniai atstumai. Apskaičiuotas Vilniaus miesto centrinės dalies plotas – 84 km², o apskritimo spindulys R – 5,2 km.

3.4 lentelė. Santykiniai atstumai nuo Vilniaus miesto centro (sudaryta autoriaus)

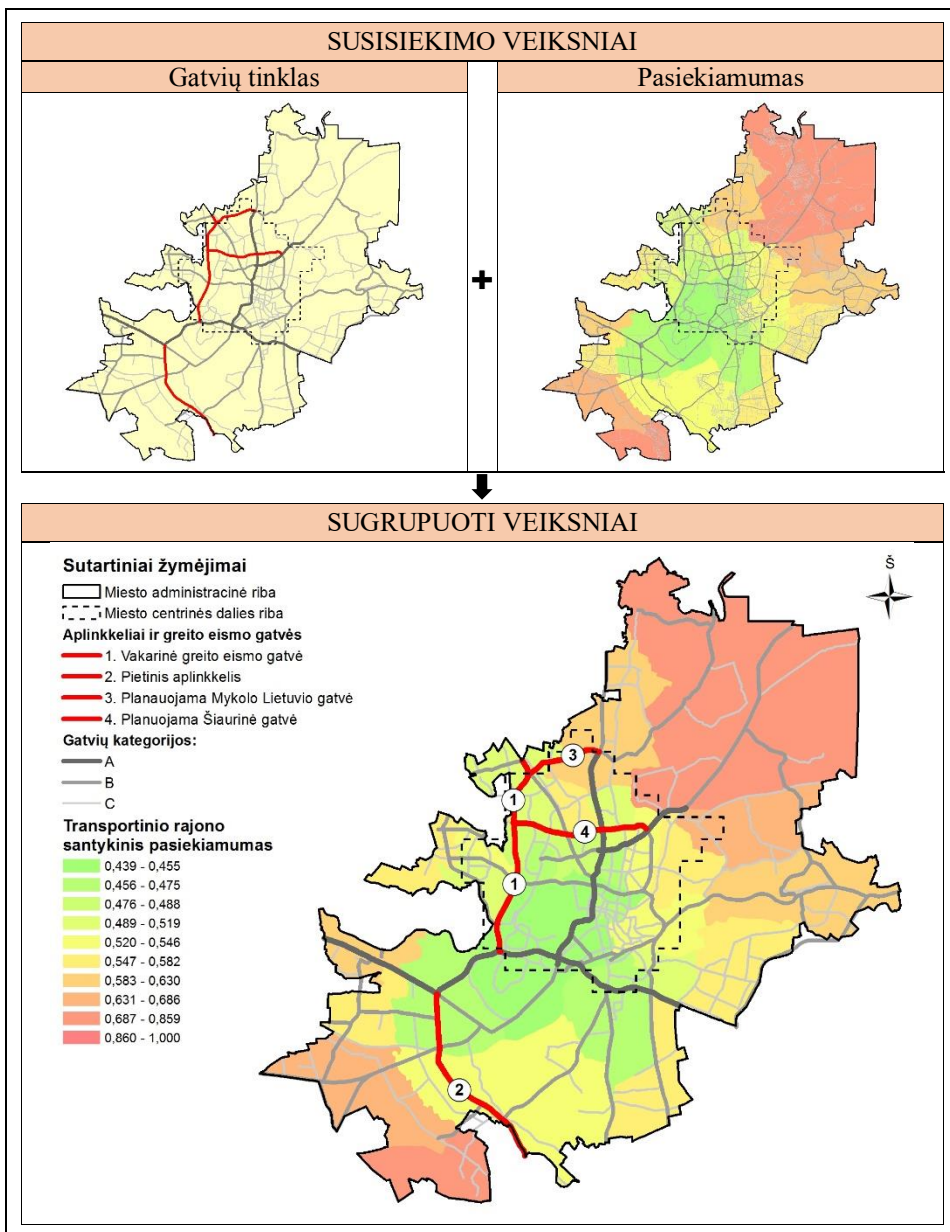
Table 3.4. Relative distances from Vilnius city centre (created by author)

Mato vienetą	Santykiniis atstumas nuo miesto centro				
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
km	3,1	4,1	5,2	6,2	7,2



3.14 pav. Vilniaus miesto socialiniai veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Lietuvos statistikos departamento, Registrų centro bei atvirosius erdvinis duomenis)

Fig. 3.14. Social factors in Vilnius city (created by author using data from Statistics Lithuania, Center of Registers and open spatial data)



3.15 pav. Vilniaus miesto susisiekimo veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atvirusius erdvinis duomenis)

Fig. 3.15. Transport factors in Vilnius city (created by author using Google Maps API and open spatial data)

Iš 3.16 paveikslo matyti, kad tiek Vakarinė greito eismo gatvė, tiek suplanuota vakarinė jungtis yra tinkamose padėtyse: Vakarinė greito eismo gatvė – 0,6–1,0 santykiniu atstumu nuo miesto centro tarnauja vidiniams miesto poreikiams kaip puiki jungtis tarp miesto šiaurinės ir pietinės dalių, tačiau kartu ir nukreipia tranzitinį srautą nuo miesto centrinės dalies, kur miesto pagrindinės gatvės – Ukmergės g. ir Geležinio Vilko g. piko metu yra ties savo transporto srautų laidumo riba; vakarinė jungtis (M. Lietuvos g.) – 1,0 santykiniu atstumu nuo miesto centro pratęs Vakarinę greito eismo gatvę taip sustiprindama gatvių tinklą šiaurinėje miesto dalyje bei sumažindama Ukmergės g. ir Geležinio Vilko g. piko metu apkrovimą.



3.16 pav. Santykiniai atstumai nuo Vilniaus miesto centro (sudaryta autoriaus panaudojus atvirusius erdvinius duomenis)

Fig. 3.16. Relative distances from Vilnius city centre (created by author using open spatial data)

Sugrupuoti veiksniai (žr. 3.13 pav.) rodo, kad reikia plėsti aukštos kategorijos gatvių tinklą šiaurės, šiaurės rytinėje bei rytinėje miesto dalyse. Žinant, kad Vilniaus miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičius $I > 6$ bei tranzitinio srauto dalis neviršija 10 %, tikslinga greito eismo gatvių plėtra 0,6–0,8 santykinu atstumu nuo miesto centro (žr. 2.13 pav.).



3.17 pav. Rekomenduojama susisiekimo infrastruktūra Vilniaus mieste (sudaryta autoriaus panaudojus atvirusius erdvinius duomenis)

Fig. 3.17. Recommended roads in Vilnius city (created by author using open spatial data)

Rekomenduojamos naujos SI vietos atsižvelgiant į anksčiau atliktą socialinių bei susisiekimo veiksnių analizę pateikiamos 3.17 paveiksle. Rekomenduojamos dvi greito eismo gatvių atkarpos pažymėtos I ir II. I atkarpa sujungtų A14 (Vilnius–Utena) kelią su 102 (Vilnius–Švenčionys–Zarasai), o II – 102 (Vilnius–Švenčionys–Zarasai) su 103 (Vilnius–Polockas). Įgyvendinus šias dvi greito eismo atkarpas Vilniaus mieste būtų suformuotas aplinkkelių – greito eismo gatvių žiedas, kuris pagerintų visos SS veiklą, pagerintų susisiekimo sąlygas

(sutrumpėtų kelionės laikas) tiek miesto centre, tiek priemiesčiuose bei pagerėtų tranzitinio srauto judėjimas, kuris turėtų geresnes galimybes aplenkti miesto centrinę dalį.

3.6.3. Kauno miesto susisiekimo sistema

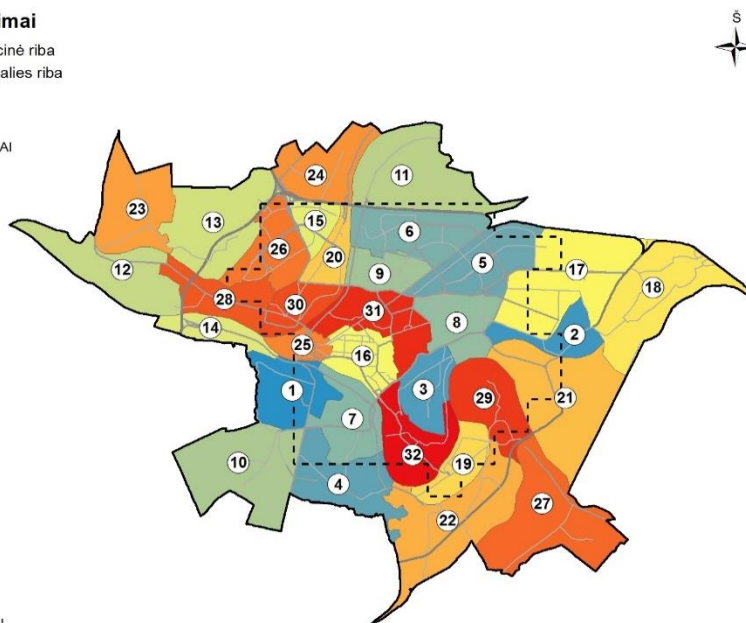
Kaunas – antras pagal dydį Lietuvos miestas. Remiantis LSD pateikiamais duomenimis 2018 m. liepos 1 d. nuolatinių gyventojų skaičius Kauno m. siekė 287 665, – per pus mažiau, nei Vilniaus mieste ir tik 10,3 % visų Lietuvos gyventojų. Gyventojų skaičius centrinėje miesto dalyje siekė 270 248 (94 % visų miesto gyventojų). Ūkio subjektų skaičius siekė apie 11 tūkst. Kauno miesto plotas – 157 km², apie 2,5 karto mažesnis, nei Vilniaus miesto užimamas plotas. Kauno miesto rajonų schema pateikta 3.18 paveiksle.

Sutartiniai žymėjimai

- ▭ Miesto administracinė riba
- - - Miesto centrinės dalies riba

Rajonai

1. ALEKSOTAS
2. AMALIAI
3. AUKŠTIEJI ŠANČIAI
4. BIRUTĖ
5. DAINAVA
6. EIGULIAI
7. FREDA
8. GRICIUPIŠ
9. KALNIEČIAI
10. KAZLIŠKIAI
11. KLEBONIŠKIS
12. LAMPEDŽIAI
13. LINKUVA
14. MARVELE
15. MILIKONIAI
16. NAUJAMIESTIS
17. NAUJASODIS
18. PALEMONAS
19. PANEMUNĖ
20. PANERYS
21. PETRAŠIŪNAI
22. ROKAI
23. ROMAINIAI
24. SARGĖNAI
25. SENAMIESTIS
26. SMĖLIAI
27. VAIŠVYDAVA
28. VERŠVAI
29. VIČIŪNAI
30. VILJAMPOLĖ
31. ŽALIAKALNIS
32. ŽEMIEJI ŠANČIAI

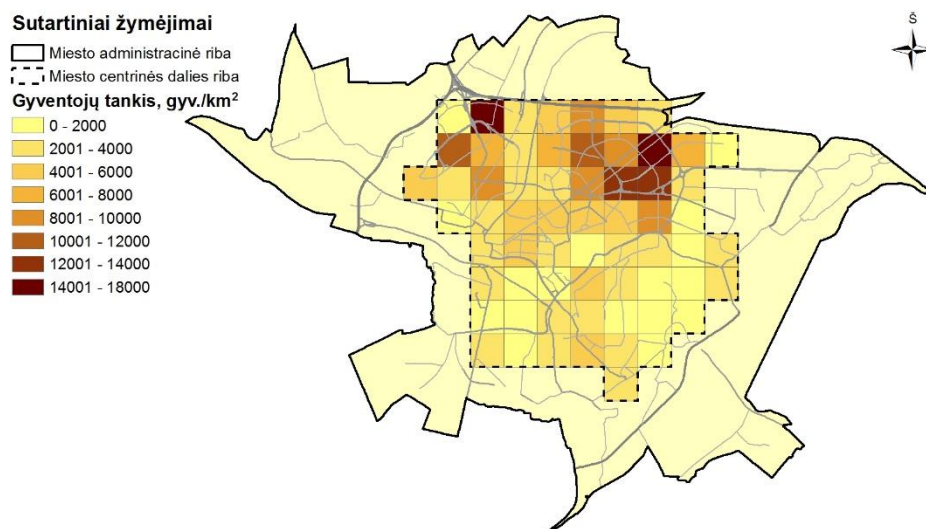


3.18 pav. Kauno miesto rajonų schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirosius erdvinis duomenis)

Fig. 3.18. Districts in Kaunas city (created by author using open spatial data)

Kauną sudaro 32 rajonai. Didžiausią plotą, – 915 ha užima Petrašiūnai, Naujasodis – 902 ha, Rokai – 874 ha, Vaišvydava – 857 ha, Kazliškiai – 818 ha. Visi jie išsidėstę už miesto centrinės dalies. Mažiausią plotą turi miesto centrinėje dalyje esantys rajonai: Senamiestis – 144 ha, Milikoniai – 175 ha, Panerys – 197 ha.

Į miesto centrinę dalį pilnai patenka 8 rajonai: Aukštieji Šančiai, Eiguliai, Freda, Gričiupis, Kalniečiai, Naujamiestis, Panerys, Žaliakalnis, – iš kurių didžiausią plotą užima Eiguliai su 534 ha, o mažiausią – Panerys (197 ha). Patenka bent dalis rajono ploto į miesto centrinę dalį (15 rajonų): Aleksotas, Birutė, Dainava, Kazliškiai, Kleboniškis, Lampėdžiai, Linkuva, Marvelė, Naujasodis, Palemonas, Petrašiūnai, Rokai, Romainiai, Sargėnai, Vaišvydava, iš kurių didžiausią plotą užima Petrašiūnai su 915 ha, o mažiausią – Marvelė (227 ha). Viso miesto centrinėje dalyje yra 23 rajonai iš 32.

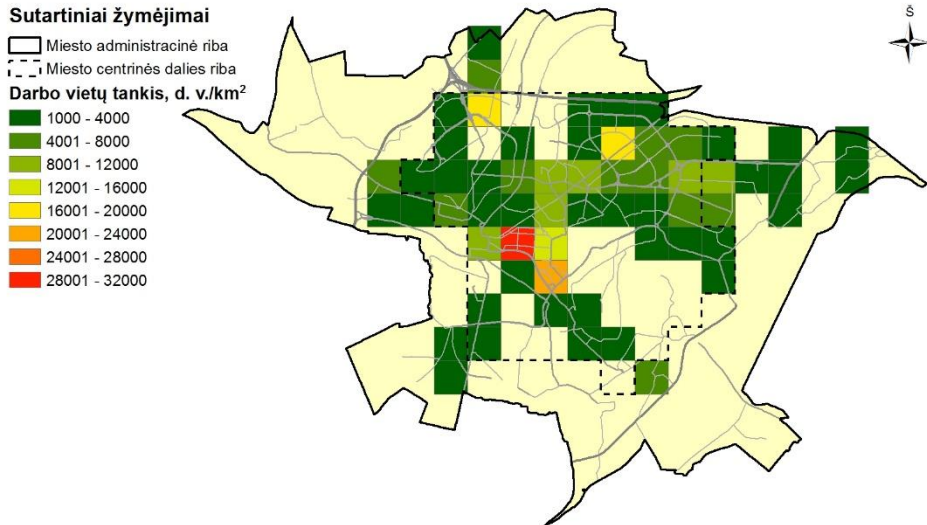


3.19 pav. Kauno miesto gyventojų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirojus erdvinius bei Lietuvos statistikos departamento duomenis)

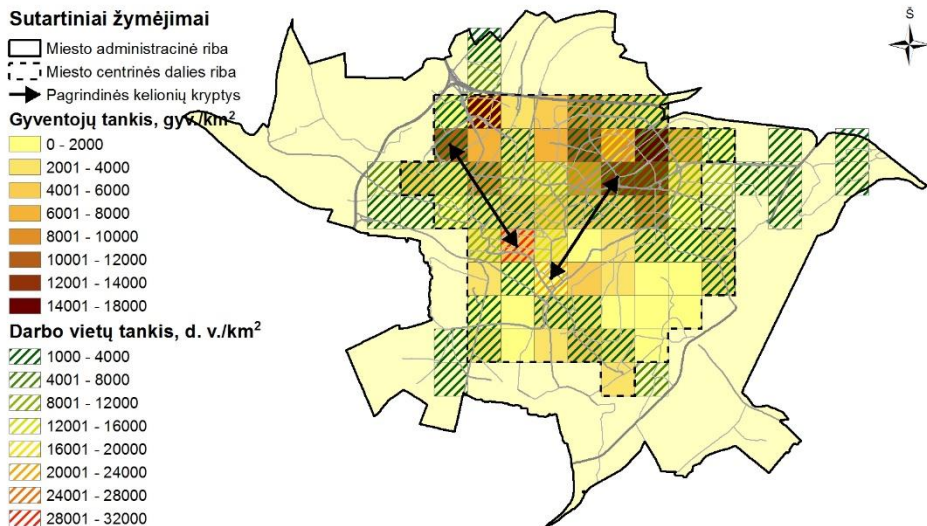
Fig. 3.19. Population density in Kaunas city (created by author using open spatial data and data from Statistics Lithuania)

3.19 paveiksle pateikiamas gyventojų pasiskirstymas miesto centre, o 3.20 paveiksle – darbo vietų pasiskirstymas. Nustatyta, kad Kauno miesto centras užima 63 km² plotą (40 % viso miesto ploto), jame pagal LSD surinktus gyventojų surašymo duomenis (2018-07-01) gyvena 270 248 gyventojai ir yra 257 480 darbo vietų.

Tankiausia apgyventa miesto šiaurės, vakarinė dalys – Eigulių ir Dainavos rajonai su atitinkamai 182 gyv./ha ir 176 gyv./ha tankiu. Tuo tarpu centrinėje miesto dalyje gyventojų tankis – vidutinis, svyruoja tarp 40 gyv./ha ir 100 gyv./ha.



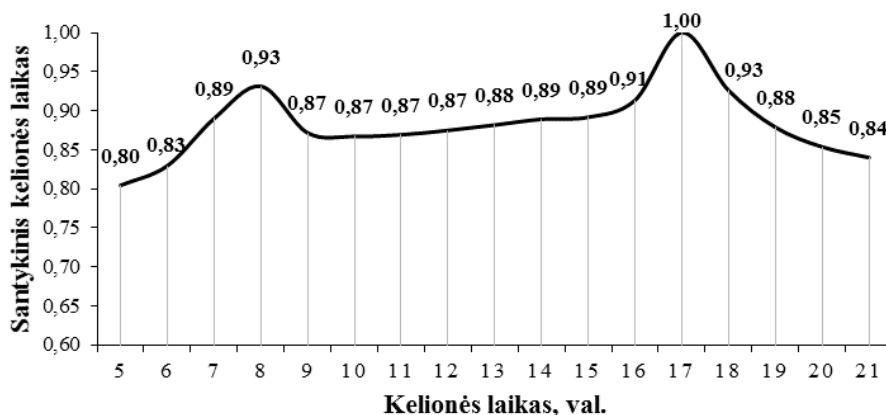
3.20 pav. Kauno miesto darbo vietų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus atvirosius erdvinius bei Registrų centro duomenis)
Fig. 3.20. Workplace density in Kaunas city (created by author using open spatial data and data from Center of Registers)



3.21 pav. Kauno miesto gyventojų ir darbo vietų tankio schema (sudaryta autoriaus panaudojus Lietuvos statistikos departamento, Registrų centro bei atvirosius erdvinius duomenis)
Fig. 3.21. Population and workplace density in Kaunas city (created by author using data from Statistics Lithuania, Center of Registers and open spatial data)

Didžiausias darbo vietų tankis siekia 549 d. v./ha Naujamiesčio rajone bei 264 d. v./ha – Milikonijų rajone. Toliau su didesniu, nei 150 d. v./ha darbo vietų tankiu rikiuojasi Žemieji Šančiai (202 d. v./ha), Eiguliai (173 d. v./ha) ir Kalniečiai (169 d. v./ha). Pagrindinės piko metu atliekamos kelionės namai-darbas ir darbas-namai vyksta tarp tankiausiai apgyvendintų miesto dalių ir miesto centrinės dalies bei atvirkščiai, – vyksta švytuoklinis judėjimas (žr. 3.21 pav.). Dėl to didelius transporto srautus turi aptarnauti šios miesto arterijos: Savanorių pr., Raudondvario pl., Linkuvos g.

Kaip ir Vilniaus m. taip ir Kauno m. panaudojant Google Maps API (Distance Matrix API), GIS bei statistinę analizę nustatytas santykinis kelionės laikas 2018 m. balandžio mėnesį. Gauti rezultatai pateikiami 3.22 paveiksle.



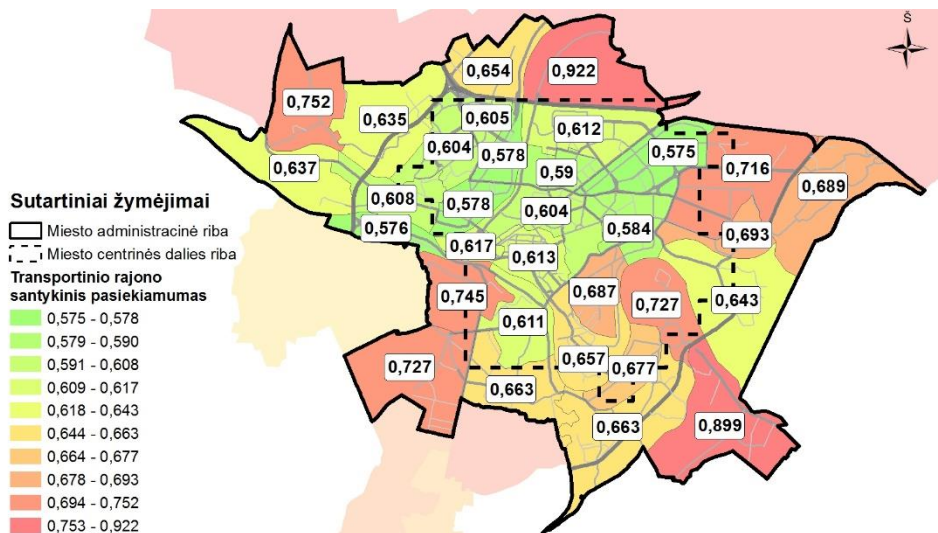
3.22 pav. Kauno miesto santykinis kelionės laikas (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API duomenis)

Fig. 3.22. Relative travel times in Kaunas city (created by author using data from Google Maps API)

Panaudojant Distance Matrix API buvo pateiktos užklauskos su TZ centroidų koordinatėmis bei tyrimų laiko intervalu nuo 5 val. iki 22 val. Viso pateiktos 16 337 užklauskos. Gauti realaus laiko kelionių trukmės tarp transportinių rajonų centroidų užklaustomis valandomis. Agregavus gautus duomenis pagal valandas nustatytas santykinis Kauno mieste atliekamų kelionių laikas (žr. 3.22 pav.). Iš paveikslo matyti akivaizdus rytinis pikas – 7:30–8:30 val. (santykinis kelionės laikas – 0,93) bei vakarinis pikas – 16:30–17:30 val. (santykinis kelionės laikas – 1,00). Vakarinio piko transporto srautai yra apie 7,5 % didesni nei rytinio, todėl tipiniai transporto modeliavimai turėtų būti atliekami būtent vakarinio piko laikui.

Siekiant nustatyti transportinius rajonus, kurie neturi pakankamai išvystyto ST atliktas transportinių rajonų PI tyrimas. Kauno miestas yra sudalintas į 165 TZ, kurios, nereikalaujant didelio rezultatų tikslumo, gali būti agreguotos į 32. Prie

esamų 32 TZ pridėta 11 išorinių TZ, siekiant gauti tikslesnius su miesto riba besiribojančių TZ rezultatus. 43 TZ centroidų koordinatės pateiktos Distance Matrix API nurodant nustatytą vakarinio piko laiką (17 val.), – viso 1807 užklausos. Gauti duomenys apdoroti ir atvaizduoti tokiu pat algoritmu kaip ir Vilniaus m. atveju (žr. 3.23 paveikslą bei H priedą).



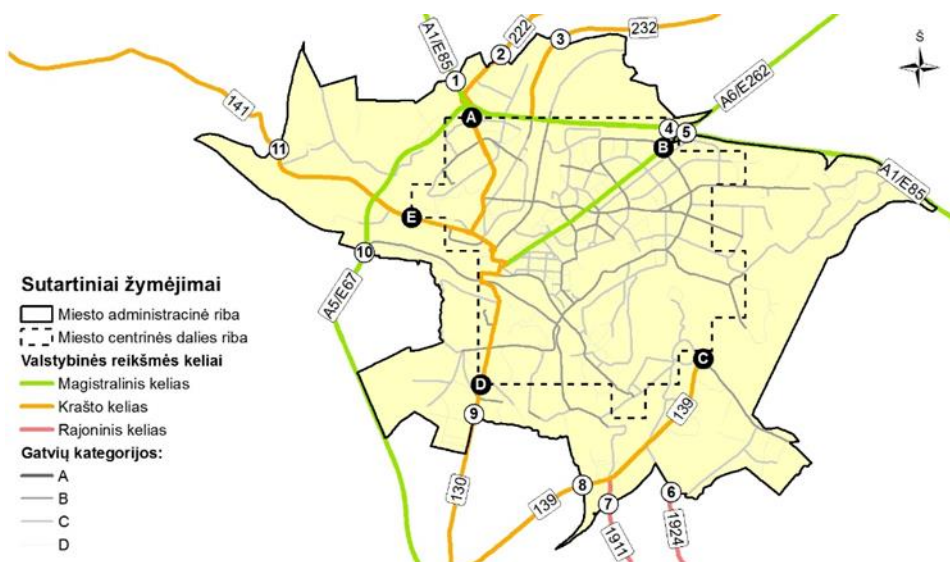
3.23 pav. Kauno miesto santykinis transportinių rajonų pasiekiamumas (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atvirusius erdvinius duomenis)

Fig. 3.23. Kaunas city traffic analysis zones' relative accessibility (created by author using Google Maps API and open spatial data)

Kuo koeficientas mažesnis, tuo TZ turi geriau išvystytą gatvių tinklą, o kelionių trukmės iš ir į TZ yra mažiausios. Kauno mieste tokios zonos yra Dainavos, Marvelės, Panerio, Vilijampolės, Gričiupio, Kalniečių, Smėlių, Žaliakalnio, Miliakonių, Veršvių rajonuose, čia PI siekia nuo 0,575 iki 0,608. Visi šie rajonai yra išsidėstę centrinės miesto dalies šiaurėje. Blogiausia padėtis miesto centrinės dalies priegose: Aleksote, Amaliuose, Aukštuosiuose Šančiuose, Kazliškėse, Kleboniškyje, Naujasodyje, Palemone, Romainiuose, Vaišvydavoje, Vičiūnuose. Čia PI siekia nuo 0,687 iki 0,922. Tai lemia rajonų didelis atstumas nuo miesto centro ir (ar) ST nepakankamumas. ST nepakankamumas akivaizdus Kleboniškyje, Vaišvydavoje, Naujasodyje, Romainiuose, Aleksote, Kazliškiuose, kur esama vos po vieną ar kelias pagrindines gatves. Į šiaurę nuo miesto centro imtis rimtų priemonių pagerinti susisiekimo sąlygas nevertėtų (Romainiai, Kleboniškis, Naujasodis, Amaliai, Palemonas). Pastarieji transportiniai rajonai išsidėstę už pagrindinių kelių bei mažai turi įtakos susisiekimo sąlygoms miesto centrinėje dalyje. Nauja-

sodyje vertėtų didinti gatvių tinklo tankį. Pietinėje dalyje priešingai, – vertėtų imtis susisiekimo sąlygas pagerinančių priemonių. Čia į miesto centrinę dalį patenka Aukštųjų Šančių, Vičiūnų, Aleksoto transportiniai rajonai. Kaip ir Naujasodyje tikslinga didinti gatvių tinklo tankį tiesiant C ar net B kategorijos gatves. Pastarieji SS pokyčiai turėtų įtakos ir miesto susisiekimo sąlygoms, taip pagerindami ir jų pasiekiamumą.

Kauno miesto administracinę ribą kerta 10 skirtingų valstybinės reikšmės kelių, – 3 magistralinės reikšmės, 5 – krašto reikšmės bei 2 – rajoninės reikšmės. Miesto centro ribą kerta 5 valstybinės reikšmės keliai, 3 iš šių kelių turi europinės reikšmės statusą: A1/E85, A5/E67, A6/E262. Visi valstybinės reikšmės keliai pa-vaizduoti 3.24 paveiksle, o detalesnė informacija pateikta 3.7 lentelėje.



3.24 pav. Kauno miesto kelių tinklas (sudaryta autoriaus panaudojus atvirojus erdvinius duomenis)

Fig. 3.24. Kaunas city road network (created by author using open spatial data)

3.24 paveiksle raidėmis nuo A iki E sužymėti valstybinės reikšmės keliai, kertantys miesto centro ribą ir laikomi pagrindiniais miesto įvažiavimais ir išvažiavimais: A – 222, B – A6/E262, C – 139, D – 130, E – 141. Būtent šiuose taškuose tikslinga atlikti transporto srautų matavimus siekiant nustatyti miesto centrinę dalį kartančio tranzitinio transporto srauto dydį. Tikėtinas vidutinis tranzitinio srauto dydis turėtų siekti apie 10 % nuo bendro srauto.

Valstybinės reikšmės keliai kertantys Kauno miesto administracinę ribą pateikiami 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Valstybinės reikšmės keliai kertantys Kauno miesto administracinę ribą (sudaryta autoriaus)

Table 3.5. State roads crossing the boundaries of Kaunas city (created by author)

Kelio nr.	Pavadinimas	Kelio kategorija	Žymėjimas 3.24 paveiksle
Magistralinės reikšmės keliai			
A1/E85	Vilnius–Kaunas–Klaipėda	I	1; 4
A5/E67	Kaunas–Marijampolė–Suvalkai	II	10
1	2	3	4
A6/E262	Kaunas–Zarasai–Daugpilis	II	B; 5
Krašto reikšmės keliai			
130	Kaunas–Prienai–Alytus	III	D; 9
139	Kauno HE–Garliava	III	C; 8
141	Kaunas–Jurbarkas–Šilutė–Klaipėda	III	E; 11
222	Kaunas–Vandžiogala	III	A; 2
232	Vilijampolė–Žeimiai–Šėta	III	3
Rajoninės reikšmės keliai			
1911	Rokai–Girininkai–Pirvininkai	V	7
1913	Rokeliai–Vainatrakis–Pakuonis	V	6

Toliau nustatyti pagrindiniai Kauno miesto gatvių tinklo parametrai: bendras gatvių ilgis, gatvių ilgis pagal gatvių kategorijas, aplinkelių ilgis, gatvių tinklo tankis bei A, B, C kategorijų gatvių tinklo rišlumas (žr. 3.6 lentelę).

3.6 lentelė. Kauno miesto gatvių tinklo pagrindiniai parametrai (sudaryta autoriaus)

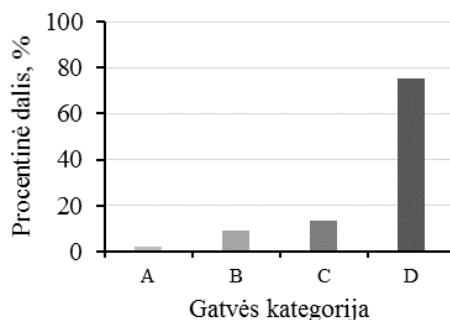
Table 3.6. Main parameters of Kaunas city street network (created by author)

Nr.	Parametras	Matavimo vnt.		Reikšmė	
1	Gatvių tinklo ilgis	km		1048	
1.1	A kategorijos gatvių ilgis	km	%	22	2,1
1.2	B kategorijos gatvių ilgis	km	%	95	9,1
1.3	C kategorijos gatvių ilgis	km	%	140	13,3

3.6 lentelės pabaiga

1.4	D kategorijos gatvių ilgis	km	%	791	75,5
1.5	Aplinkkelių ilgis	km	%	–	–
2.	Gatvių tinklo tankis	km/km ²		6,68	
3.	A, B, C kategorijų gatvių tinklo rišlumas ($1 \leq \beta \leq 3$)	–		1,77	

Kauno miesto gatvių tinklo ilgis siekia 1048 km. Iš anksčiau nustatytų parametrų bei gatvių tinklo (žr. 3.26 pav.) akivaizdu, kad šiaurinėje miesto dalyje būtina gatvių tinklo plėtra. Tai galėtų būti vidinis miesto aplinkkelis-greito eismo gatvė. Kaip ir Vilniaus miesto atveju, taip ir Kauno mieste, gatvių ilgių pasiskirstymas pagal kategorijas procentine išraiška atitinka eksponentinę kreivę (žr. 3.25 pav.). A, B, C kategorijų gatvių rišlumas pakankamas, tačiau yra potencialo jį pagerinti jau minėtoje šiaurinėje miesto dalyje.



3.25 pav. Kauno miesto gatvių ilgių pasiskirstymas pagal kategorijas, % (sudaryta autoriaus)

Fig. 3.25. Kaunas city street length distribution by category, % (created by author)

Kauno miesto gatvių tinklo karkasą sudaro A kategorijos gatvės: Islandijos pl., Vakarinis aplinkkelis, Žemaičių pl. bei B kategorijos gatvės: Ateities pl., Europos pr., Islandijos pl., Jiesios pl., Jonavos g., K. Baršausko g., Karaliaus Mindaugo pr., Linkuvos g., M. K. Čiurlionio g., Nuokalnės g., Piliakalnio g., Pramonės pr., Prietilčio g., Raudondvario pl., Savanorių pr., T. Masiulio g., Taikos pr., Tunelio g., Tvirtovės al., Užnemunės g., Varnių g. ir Veiverių g. Artimiausiu metu be pietrytinio aplinkkelio naujų aukštos kategorijos gatvių ar aplinkkelių nenumatyta, koncentruojamasi į esamo gatvių tinklo tankinimą rekonstruojant B ir C kategorijos gatves miesto centrinėje dalyje ar įrengiant trūkstantas atkarpas.

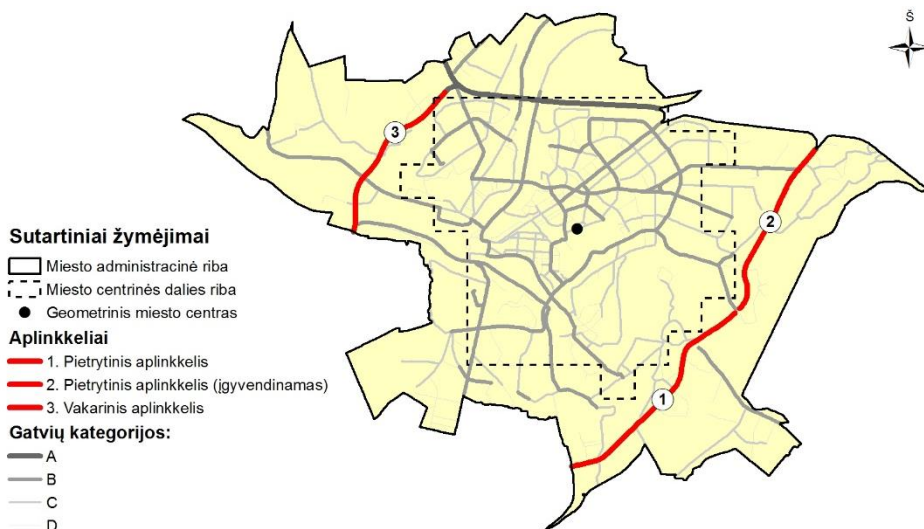
Kauno m. gatvių tinklas su gatvių kategorijomis bei naujomis ir planuojamomis jungtimis pavaizduotas 3.26 paveiksle, o naujų ir planuojamų jungčių pagrindiniai parametrai pateikiami 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Naujų ir planuojamų jungčių pagrindiniai parametrai (sudaryta autoriaus)
Table 3.7. Main parameters of new and planned links (created by author)

Nr.	Pavadinimas	Ilgis, km	Eismo juostų skaičius
1	Pietrytinis aplinkkelis	6,1	6
2	Pietrytinis aplinkkelis*	6,5	4

*šiuo metu dalis atkarpos įgyvendinama, kita dalis numatyta įgyvendinti

Vakarinis aplinkkelis jungia A1 magistralinės reikšmės kelią su A5, taip nukreipdamas tranzitinį srautą nuo miesto centro. Vakarinis aplinkkelis nutiestas per Lampėdžių, Linkuvos, Marvelės, Smėlių ir Veršvių rajonus.



3.26 pav. Kauno miesto gatvių tinklas (sudaryta autoriaus panaudojus atvirosius erdvinis duomenis)

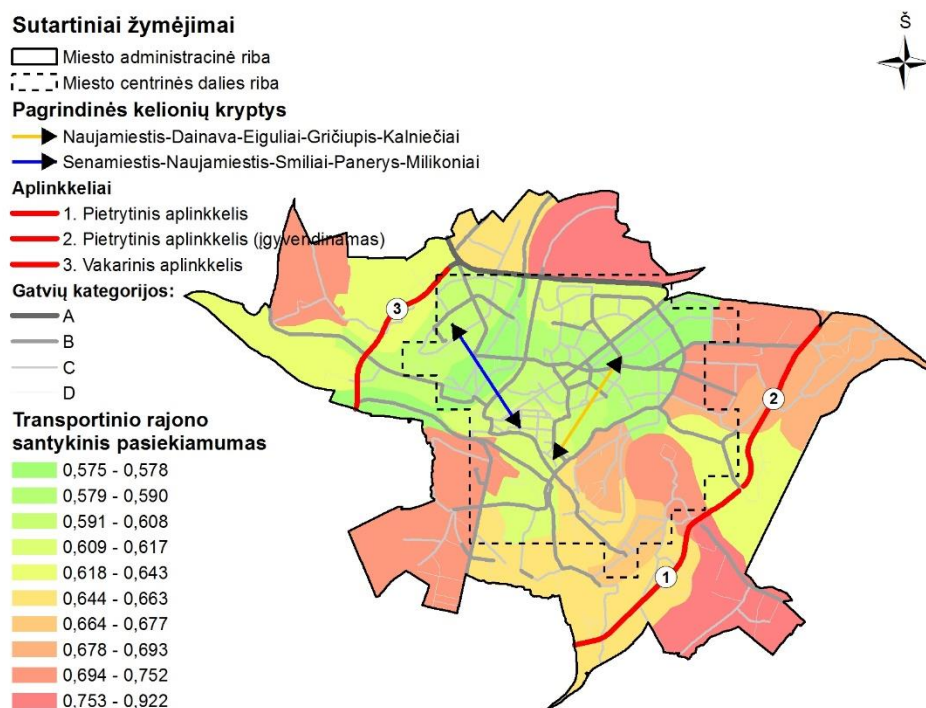
Fig. 3.26. Kaunas city street network (created by author using open spatial data)

Šiuo metu įgyvendinamas pietrytinio aplinkkelio projektas. Apie pusę pietrytinio aplinkkelio jau baigta (žr. 3.26 pav. 1 nr. pažymėta atkarpa), likusios 6,5 km dalies darbai (žr. 3.26 pav. 2 nr. pažymėta atkarpa) suskaidyti į du etapus, – šiuo metu vykdomi Ateities pl. rekonstrukcija nuo Amalių pervažos iki miesto ribos, likusią atkarpa nuo hidroelektrinės tilto iki Palemono g. ketinama užbaigti iki 2020 m. Pietrytinis aplinkkelis kerta Amalių, Naujasodžio, Palemono, Petrašiūnų, Rokų, Vaišvydavos ir Vičiūnų rajonus. Įgyvendinus projektą rytinėje miesto dalyje pagerės susisiekimo sąlygos, pagerės tranzitinio srauto judėjimo sąlygos kryptimi Marijampolė–A1 ir atvirkščiai.

Dėl Kauno geografinės padėties Lietuvos atžvilgiu, tranzitinių srautų nukreipimas vienas iš svarbiausių miesto susisiekimo uždavinių. Įgyvendintas vakarinis aplinkkelis, šiuo metu įgyvendinamas pietrytinis aplinkkelis bei numatyta A1 magistralinio kelio rekonstrukcija užtikrins sklandų tranzitinio srauto judėjimą aplink miesto centrinę dalį netrikdant vidinių Kauno mieste atliekamų kelionių.

3.6.4. Aplinkkelių vietos parinkimo metodikos pritaikymas Kauno miestui

Kauno m. SS situacija yra panaši į Vilniaus m. – daugelis SS sprendinių jau yra numatyti. Tranzitiniai transporto srautai nukreipti nuo miesto centro ir nesudaro didelių problemų.



3.27 pav. Kauno miesto aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo pagrindiniai veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atvirojus erdvinius duomenis)

Fig. 3.27. Main factors for situating bypass and fast traffic streets in Kaunas city (created by author using Google Maps API and open spatial data)

Pagal antrame skyriuje sudarytą aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodiką nustatyti socialiniai ir susisiekimo veiksniai (žr. 3.28 ir 3.29 pav.).

Socialiniai veiksniai: gyventojų tankis miesto centrinėje dalyje bei darbo vietų tankis miesto centrinėje dalyje. Sugrupuoti veiksniai leido identifikuoti pagrindines kelionių kryptis tarp transportinių rajonų: Naujamiestis–Dainava–Eiguliai–Gričiupis–Kalniečiai; Senamiestis–Naujamiestis–Smiliai–Panerys–Milikoniai.

Susisiekimo veiksniai: pagal gatvių kategorijas suskirstytas gatvių tinklas su įvardintais aplinkkeliais bei transportinių rajonų pasiekiamumas. Sugrupuoti veiksniai padėjo įvertinti esamos SS bei planuojamų susisiekimo jungčių poveikį transportinių rajonų pasiekiamumams.

Sugrupuoti socialiniai bei susisiekimo veiksniai leidžia aiškiai įvardinti būtiną susisiekimo jungčių plėtrą atskiruose transportiniuose rajonuose.

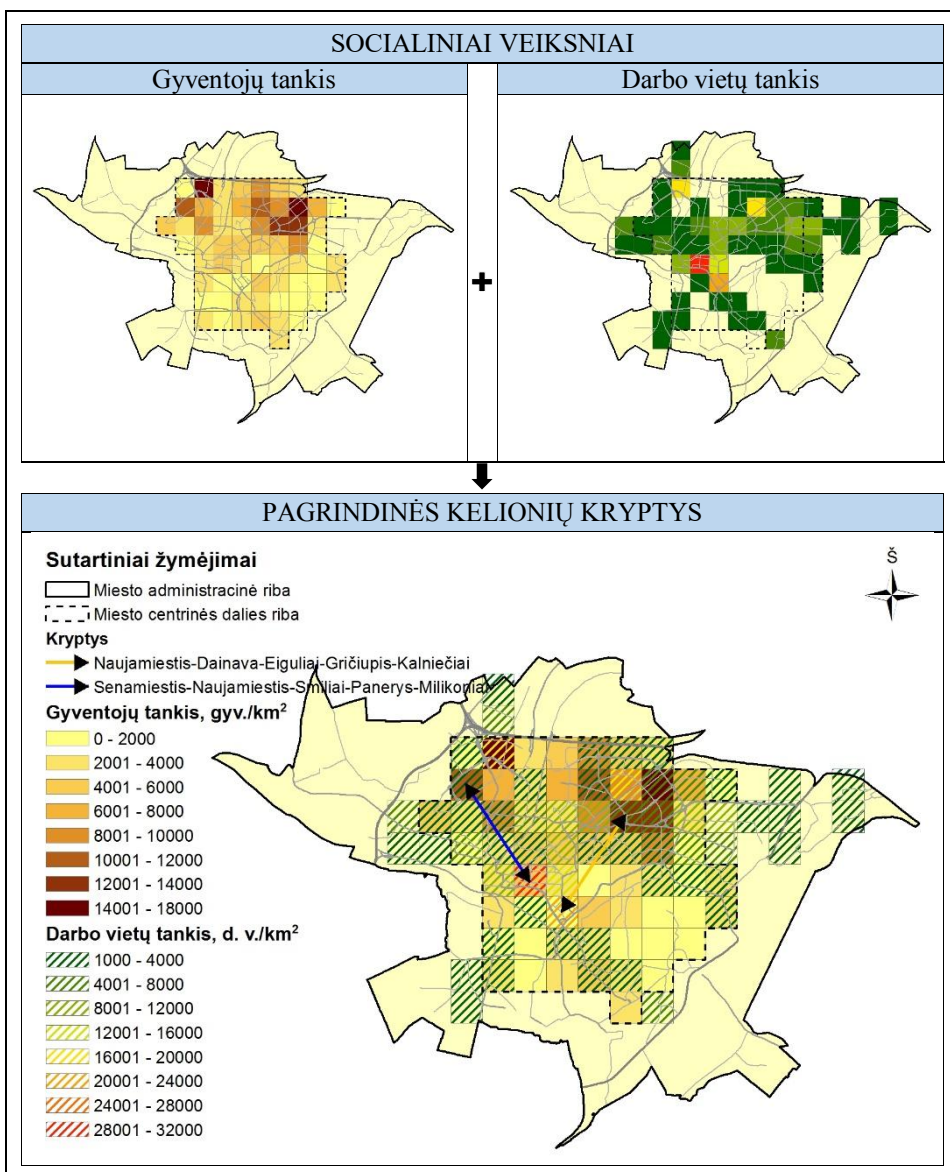
Sugrupuoti veiksniai pateikti 3.27 paveiksle. Miesto šiaurėje esantis A1 magistralinis kelias turi įtakos miesto SS, tačiau jau yra numatytos priemonės (pagrindinių mazgų rekonstrukcijos) neigiamam poveikiui sumažinti bei pagerinti tiek judėjimo magistraliniu keliu, tiek miesto gatvių tinklu laidumą. Iš 3.27 paveiklo matyti, kad blogiausias transportinių rajonų pasiekiamumas yra ties miesto centro pietrytine dalimi, kurioje jau yra numatytas esamo C kategorijos gatvių tinklo tankinimas. Šiaurės rytinėje miesto dalyje pasiekiamumas taip pat turėtų pagerėti įgyvendinus Kauno miesto BP numatytą Ateities pl. tęsinį (A2 kategorija) iki tarptautinio Kauno oro uosto. Taip pat kaip ir Vilniaus m. atveju, įgyvendinus šiuos projektus toliau turėtų būti vykdomas esamo žemesnių gatvių kategorijų tinklo tankinimas bei rekonstravimas didinant jų laidumą.

Sugrupuoti veiksniai (žr. 3.27 pav.) rodo, kad numatyti SI sprendiniai yra pakankami, o papildomi veiksmai galėtų būti gatvių tinklo pietrytinėje bei pietvakarinėje miesto dalyse tankinimas.

Taip pat kaip ir Vilniaus miesto atveju nustatomas Kauno miesto centrinės dalies plotas bei apskaičiuojamas apskritimo spindulys. Kauno miesto centrinės dalies plotas – 63 km², apskritimo spindulys lygus R – 4,5 km. Apskaičiuoti santykiniai atstumai nuo miesto centro pateikiami 3.8 lentelėje.

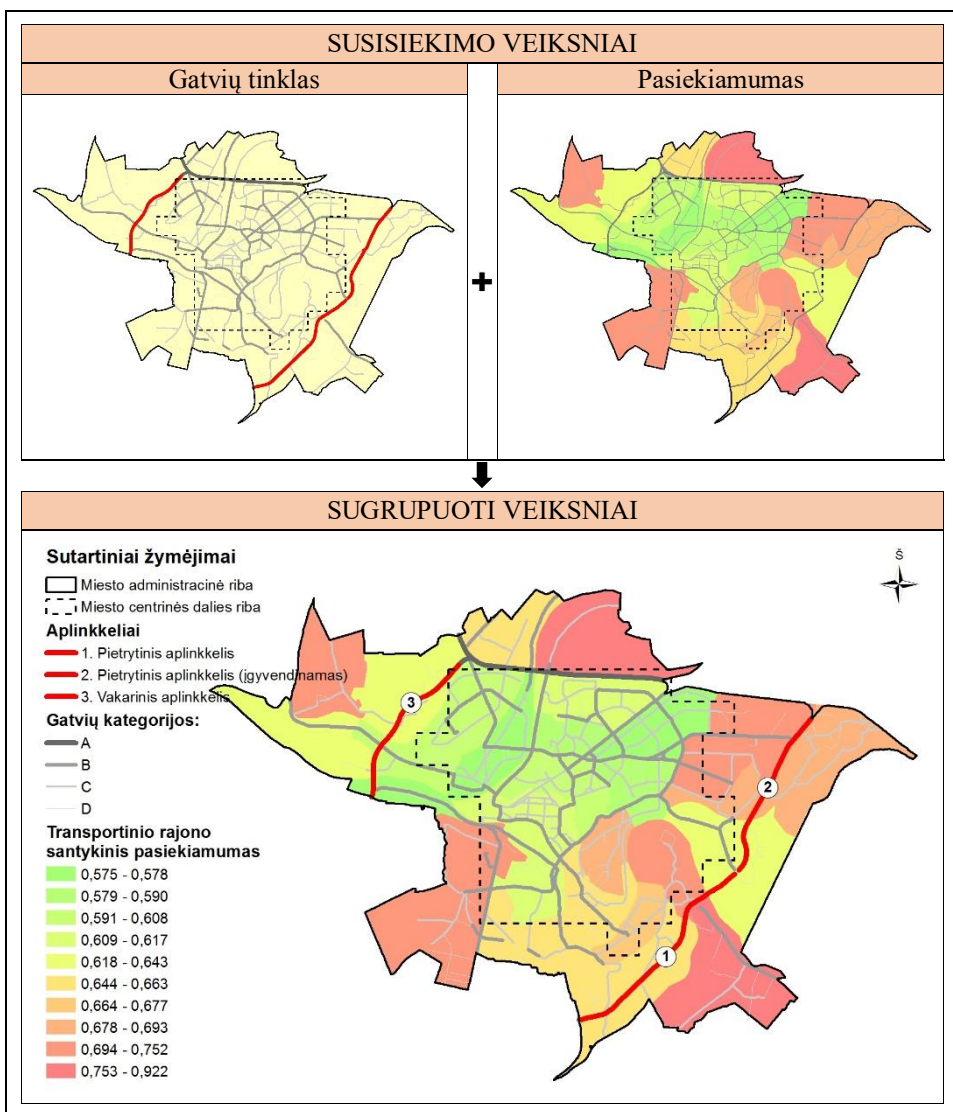
3.8 lentelė. Santykiniai atstumai nuo Kauno miesto centro (sudaryta autoriaus)
Table 3.8. Relative distances from Kaunas city centre (created by author)

Mato vienetą	Santykiniis atstumas nuo miesto centro				
	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
km	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3



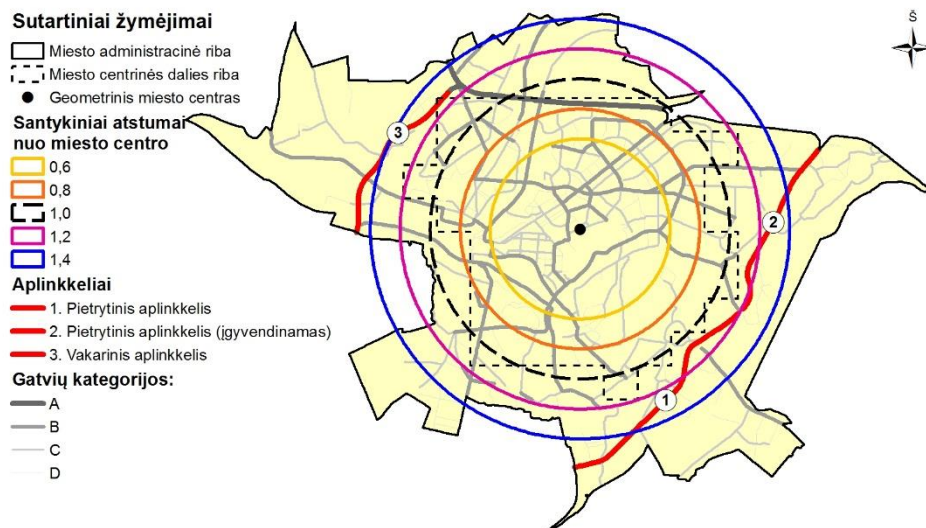
3.28 pav. Kauno miesto socialiniai veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Lietuvos statistikos departamento, Registrų centro bei atvirosius erdvinis duomenis)

Fig. 3.28. Social factors in Kaunas city (created by author using data from Statistics Lithuania, Center of Registers and open spatial data)



3.29 pav. Kauno miesto susisiekimo veiksniai (sudaryta autoriaus panaudojus Google Maps API bei atviruosius erdvinis duomenis)

Fig. 3.29. Transport factors in Kaunas city (created by author using Google Maps API and open spatial data)



3.30 pav. Santykiniai atstumai nuo Kauno miesto centro (sudaryta autoriaus panaudojus atvirosius erdvinius duomenis)

Fig. 3.30. Relative distances from Kaunas city centre (created by author using open spatial data)

Iš 3.30 paveikslo matyti, kad nustatyta viena iš didžiausių PI turinčių transportiniu požiūriu vietų – miesto centro pietrytinė dalis yra 0,6 santykinu atstumu nuo miesto centro. Būtent numatytas C kategorijų gatvių tankinimas šioje zonoje priimtas teisingai, taip sustiprinant miesto gatvių tinklo pietrytinės centro dalies ryšius. Greito eismo gatvės planavimas šioje vietoje būtų per daug drastiškas ir atneštų daugiau žalos nei naudos. Aplinkkelių ar greito eismo gatvių diegimas nėra būtinas.

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Vilniaus miesto susisiekimo sistemoje šiuo metu įgyvendintas aplinkkelių tinklas yra pakankamas. Transitiniai transporto srautai yra suvaldyti ir nukreipti nuo miesto centrinės dalies. Užfiksuotos pagrindinės pasiekiamumo problemos miesto šiaurinėje, šiaurės rytinėje dalyse, kuriose jau yra numatyta dalis sprendinių: Vakarinės greito eismo gatvės tęsinys – Mykolo Lietuvos gatvės rekonstrukcija bei Šiaurinės gatvės tiesimas. Rekomenduojama šiaurės rytinėje ir rytinėje miesto dalyse 0,6–0,8 santykinu atstumu nuo miesto centro planuoti greito eismo gatves, kurios sujungtų A14 su 102 bei 102 su 103 kelius, – pastarosios jungtys užbaigtų

aukštos kategorijos gatvių ir aplinkkelių žiedą, kuris pagerintų visos susisiekimo sistemos veiklą, sutrumpėtų kelionės laikas bei pagerėtų tranzitinio srauto judėjimas, kuris turėtų geresnes galimybes aplenkti miesto centrinę dalį. Įgyvendinus šiuos planus, būtina koncentruotis į esamo gatvės tinklo laidumo gerinimą.

2. Kauno miesto susisiekimo sistemos išvystymas nereikalauja įgyvendinti ženklios aplinkkelių ar greito eismo gatvių sistemos pertvarkos. Tranzitiniai transporto srautai nukreipti nuo miesto centro ir nesudaro didelių problemų. Šiaurės rytinėje miesto dalyje pasiekiamumas nėra pakankamas, tačiau turėtų pagerėti įgyvendinus Kauno rajono BP numatytą Ateities pl. tęsinį (A2 kategorija) iki Tarptautinio Kauno oro uosto, o ties miesto centro pietrytine dalimi pasiekiamumo gerinimas jau yra numatytas Kauno miesto BP tęsiant gatvių tinklo tankinimą bei tiesiant naujas C kategorijos gatves.

Bendrosios išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad didžiausią teigiamą poveikį susisiekimo sistemai turi bendra aplinkkelių ir greito eismo gatvių tinklo sistema, kuri decentralizuoja motorinių transporto priemonių judėjimą bei nukreipia tranzitinį srautą nuo miesto centro taip sumažindama transporto eismo intensyvumą miesto centrinėje dalyje bei sudarydama prielaidas vystyti darnesnes miesto susisiekimo sistemos posistemes (dvi-račiai, viešasis transportas).
2. Sukurta nauja, duomenų surinkimui piniginių kaštų bei transporto srautų modeliavimo nereikalaujanti, 50–500 tūkst. gyv. turinčiam miestui pritaikoma, susisiekimo sistemos metodika, kuri leidžia minimaliomis sąnaudomis nustatyti racionalią aplinkkelių ir greito eismo gatvių padėtį bei prognozuoti būsimą jų naudą ateityje.
3. Susisiekimo sistemai galioja paklausos ir pasiūlos dėsniai, todėl aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimui būtina įvertinti paklausą bei pasiūlą apibūdinančius veiksnius:
 - socialinius (paklausa) – gyventojų ir darbo vietų pasiskirstymą;
 - susisiekimo (pasiūla) – gatvių tinklą, jo parametrus ir transportinių rajonų pasiekiamumą.

4. Remiantis gautais modeliavimo rezultatais parengta aplinkkelių ir greito eismo gatvių vietos parinkimo metodika, kurioje pateikiami galimi aplinkkelių ir greito eismo gatvių įgyvendinimo variantai, esant skirtingiems kintamiesiems:
 - miesto pagrindinių įvažiavimų ir išvažiavimų skaičiui (2; 3; 6);
 - procentinei tranzitinio transporto srauto daliai nuo bendro srauto miesto pagrindiniuose įvažiavimuose ir išvažiavimuose (10 %; 30 %; 50 %; 70 %; 90 %);
 - greito eismo gatvės ar aplinkkelio skirtingai santykinei padėčiai miesto geometrinio centro ir miesto ribos atžvilgiu (0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4).
5. Vilniaus m. susisiekimo sistemos analizė parodė, kad šiuo metu įgyvendintas aplinkkelių tinklas yra pakankamas. Tranzitiniai transporto srautai yra suvaldyti ir nukreipti nuo miesto centrinės dalies. A, B, C kategorijų gatvių rišlumas yra pakankamas – 1,78 ($1 \leq \beta \leq 3$, $\beta \geq 1,5$ užtikrina, kad nebus kritinių sankryžų ir atkarpų), tačiau miesto šiaurinėje bei šiaurės rytinėje dalyse transporto pasiekiamumas gali būti pagerintas, kas jau yra numatyta įgyvendinant Vakarinės greito eismo gatvės tęsinį – Mykolo Lietuvos gatvės rekonstrukciją bei Šiaurinės gatvės tiesimą. Remiantis sukurta metodika rekomenduojama šiaurės rytinėje ir rytinėje miesto dalyse 0,6–0,8 santykinu atstumu nuo miesto centro planuoti greito eismo gatves, kurios sujungtų A14 su 102 bei 102 su 103 keliu, – pastarosios jungtys užbaigtų aukštos kategorijos gatvių ir aplinkkelių žiedą, kuris pagerintų visos susisiekimo sistemos veiklą, sutrumpintų kelionės laiką 13–18 % bei nukreiptų tranzitinį srautą nuo miesto centrinės dalies.
6. Kauno m. susisiekimo sistemos analizė parodė, kad didelių pakeitimų vystant gatvių tinklą nėra būtinybės įgyvendinti, o numatyti pakeitimai yra pakankami, – šiaurės rytinėje miesto dalyje Ateities pl. tęsinys (A2 kategorijos gatvė) iki Tarptautinio Kauno oro uosto, pietrytinėje dalyje – C kategorijos gatvių tinklo tankinimas. Esamas A, B, C kategorijų gatvių rišlumas yra pakankamas (1,77 ($1 \leq \beta \leq 3$, $\beta \geq 1,5$ užtikrina, kad nebus kritinių sankryžų ir atkarpų)), o įgyvendinus numatytus sprendinius rišlumas tik padidės.
7. Panaudojant atviros prieigos duomenis bei iš anksto atliktų transporto srautų modeliavimų rezultatus, sudaryta aplinkkelių ir greito eismo gatvių metodika buvo pritaikyta Vilniaus ir Kauno miestams. Nustatyta, kad ši metodika gali būti taikoma daugiau kaip 90 % visų Europos miestų, kuriuose centrinėje miesto dalyje gyventojų skaičius siekia nuo 50 tūkst. iki 500 tūkst. gyventojų.

Literatūra ir šaltiniai

Adomavičius, V.; Paliulis, G. M.; Tupinis, A. 1985. *LTRS Mažų miestų transporto sistemų tobulinimas*. Vilnius: LIMTI. 44 p.

Alexander, L.; Jiang, S.; Murga, M.; González, M. C. 2015. Origin-destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 58: 240–250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.02.018>.

Alshalalfah, B.; Shalaby, A. S. 2007. Case study: Relationship of walk access distance to transit with service, travel, and personal characteristics. *Journal of Urban Planning and Development* 133(2), 114–118. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2007\)133:2\(114\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2007)133:2(114)).

Antov, D and Smirnovs, J. 2016. 78 Improving road safety in the baltic states – role of strategies. *Injury Prevention* 22(2), A30.1–A30. DOI: 10.1136/injuryprev-2016-042156.78.

Axhausen, K.W.; Konig, A.; Abay, G.; Bates, J. J.; Bierlaire, M. 2004. Swiss Value of Travel Time Savings. *Proceeding of 2013 Transport Conference 2004*, Strasbourg, France. P. 18. DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005240096>.

Bauer, R; Klaus, M.; Brandstaetter, Ch.; Yannis, G.; Laiou, A.; Folla, K. 2016. Road traffic accidents in European urban areas. *1st European Road Infrastructure Congress*, 18–20 October 2016, Leeds, United Kingdom.

- Baldauf, R. W.; Heist, D.; Isakov, V.; Perry, S.; Hagler, G. S. W.; Kimbrough, S.; Shores, R.; Black, K.; Brixey, L. 2013. Air quality variability near a highway in a complex urban environment. *Atmospheric Environment* 64: 169–178. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.054>.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Nainys, V.; Grubliauskas, R.; Gudaitytė, J. 2007. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo įvertinimas. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(3): 125–134. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.65-75>.
- Baltrėnas, P.; Vaitiekūnas, P.; Vasarevičius, S.; Jordaneh, S. 2008. Modelling of motor transport exhaust gas influence on the atmosphere. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(2): 65–75. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.65-75>.
- Barth, D. The Bright Side of Sitting in Traffic: Crowdsourcing Road Congestion Data. 2009. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <<https://googleblog.blogspot.co.uk/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>>.
- Berkowicz, R.; Winther, M.; Ketznel, M. 2006. Traffic pollution modelling and emission data. *Environmental Modelling & Software* 21: 454–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2004.06.013>.
- Best and Worst Cities to Drive 2017, 2017. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–07–17]. Prieiga per internetą: <<https://www.kfzteile24.de/best-and-worst-cities-to-drive-eur>>.
- Bierlaire, M.; Chen, J.; Newman, J. 2013. A probabilistic map matching method for smartphone GPS data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 26: 78–98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.08.001>.
- Brendel, A. B.; Mandrella, M. 2016. Information systems in the context of sustainable mobility services: a literature review and directions for future research. *22nd Americas Conference on Information Systems*.
- Bricka, S.; Zmud, J.; Wolf, J.; Freedman, J. 2009. Household travel surveys with GPS: An experiment. *Transportation Research Record* 2105: 51–56. DOI: <https://doi.org/10.3141/2105-07>.
- Brög, W.; Erl, E.; Ker, I.; Ryle, J.; Wall, R. 2009. Evaluation of voluntary travel behaviour change: experiences from three continents. *Transport Policy* 16: 281–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.10.003>.
- Burinskienė, M. 2003. *Subalansuota miestų plėtra*. Monografija. Vilnius: Technika. 251 p. ISBN: 9986056640.
- Burinskienė, M.; Munch, H.; 2003. Traffic development in Lithuania and East Germany (The former GDR) in the past twenty years. *Town Planning Architecture* 27: 3–10.
- Burinskienė, M.; Ušpalytė-Vitkunienė, R.; Tuminienė, F. 2011. Public transport integration into urban planning. *The Baltic journal of road and bridge engineering* 6(2): 84–90. DOI: 10.3846/bjrbe.2011.11.

- Cairns, S.; Sloman, L.; Newson, C.; Anable, J.; Kirkbride, A.; Goodwin, P. 2004. *Smarter choices-changing the way we travel*. Final report of the research project: The influence of soft factor interventions on travel demand. Research Report, Department of Transport, London.
- Calabrese, F.; Di Lorenzo, G.; Liu, L.; Ratti, C. 2011. Estimating Origin-Destination flows using opportunistically collected mobile phone location data from one million users in Boston Metropolitan Area. *IEEE Pervasive Computing* 10(4): 36–44.
- Carpentieri, M.; Hayden, P.; Robins, A. G. 2012. Wind tunnel measurements of pollutant turbulent fluxes in urban intersections. *Atmospheric Environment* 46: 669–674. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.083>.
- Caulfield, B.; O'Mahony, M. 2007. Evaluating the economic cost of air and noise pollution generated by transport, in European Transport Conference 2007, Leeuwenhorst Conference Centre, The Netherlands 17–19 October 2007, 16 p.
- Chen, X.; Zhao, J. 2013. Biding to drive: car license auction policy in Shanghai and its public acceptance. *Transport Policy* 27: 39–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.11.016>.
- Chu, S. 2012. Allocation flexibility and price efficiency within Singapore's Vehicle Quota System. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46 (10): 1541–1550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.07.010>.
- Clements, A. L.; Jis, Y.; Denbleyker, A.; McDonald-Buller, E.; Fraser, M. P.; Allen, D. T.; Collins, D. R.; Michel, E.; Pudota, J.; Sullivan, D.; Zhu, Y. 2009. Air pollutant concentrations near three Texas roadways, part II: Chemical characterization and transformation of pollutants. *Atmospheric Environment* 43: 4523–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.044>.
- Çolak, S.; Alexander, L. P.; Alvim, B. G.; Mehndiratta, S. R.; González, M. C. 2015. Analysing Cell Phone Location Data for Urban Travel. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2526: 126–135. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/2526-14>.
- Daniels, R.; Mulley, C. 2013. Explaining walking distance to public transport: the dominance of public transport supply. *Journal of Transport and Land Use* 6: 5–20. DOI: <http://dx.doi.org/10.5198/jtlu.v6i2.308>.
- Dekoster, J.; Schollaert, U. 1999. Cycling: The Way Ahead for Towns and Cities. Office for Official Publications of the European Communities. [Interaktyvus], [Žiūrėta 2017–05–09]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/environment/archives/cycling/cycling_en.pdf>.
- Diez, J. M.; Lopez-Lambas, M. E.; Gonzalo, H.; Rojo, M.; Garcia-Martinez, A. 2018. Methodology for assessing the cost effectiveness of Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs). The case of the city of Burgos. *Journal of Transport Geography* 68: 22–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.02.006>.

Dill, J. 2003. Transit use and proximity to rail: results from large employment sites in the San Francisco, California, bay area. *Transport Research Record: Journal of transportation Research Board* 1835: 19–24. DOI: <https://doi.org/10.3141/1835-03>.

Dong, H.; Wu, M.; Ding, X.; Chu, L.; Jia, L.; Qin, Y.; Zhou, X. 2015. Traffic zone division based on big data from mobile phone base stations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 58: 278–291. DOI: 10.1016/j.trc.2015.06.007.

Driskius, K.; Suslavičius, L. *Automobilis Lietuvoje, 1918–1940*. 2005. Vilnius: Aidai. 194 p. ISBN 9789955656111.

El-Geneidy, A.; Grimsrud, M.; Wasfi, R.; Tétreault, P.; Surprenant-Legault, J. 2014. New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation* 41: 193–210. DOI: 10.1007/s11116-013-9508-z.

European Commission (EC) 2007. *Žalioji knyga „Nauja mobilumo mieste kultūra“*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0551&from=LT>>.

European Commission (EC) 2011. *Baltoji knyga „Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimui grindžiamos transporto sistemos kūrimas“*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:LT:PDF>>.

European Commission (EC) 2012. *„Cities in Europe. The new OECD-EC Definition“*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–05–09]. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2012_01_city.pdf>.

European Commission (EC) 2013a. *Communication from the commission No. 18136/13 „Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimui grindžiamos judumo sistemos mieste kūrimas“*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:82155e82-67ca-11e3-a7e4-01aa75ed71a1.0015.02/DOC_3&format=PDF>.

European Commission (EC) 2013b. *Guidelines. Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <http://www.eltis.org/sites/eltis/files/guidelines-developing-and-implementing-a-sump_final_web_jan2014b.pdf>.

Ewing, R.; Cervero, R.; 2001. Travel and the built environment: a synthesis. *Transport Research Record: Journal of transportation Research Board* 1780: 87–114. DOI: <https://doi.org/10.3141/1780-10>.

Feng, S.; Li, Q. 2018. Evaluating the car ownership control policy in Shanghai: a structural vector auto-regression approach. *Transportation* 45: 205. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-016-9733-3>.

Ford tests show eco-driving can improve fuel economy by an average of 24 percent. 2008. Ford Motor Company. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–09–13]. Prieiga per internetą: <<https://www.fleet.ford.com/news/news-item/?itemId=524>>.

Frank, L. D.; Greenwald, M. J.; Savage, S.; Devlin, A. 2011. An Assessment of Urban Form and Pedestrian and Transit Improvements as An Integrated GHG Reduction Strategy. Washington State Department of Transportation.

Gärling, T.; Fujii, S. 2009. Travel behavior modification: theories, methods, and programs. *The Expanding Sphere of Travel Behaviour Research*. Bingley, UK: Emerald, 97–128. ISBN 1848559364.

Gärling, T.; Schuitema, G. 2007. Travel demand management targeting reduced private car use: effectiveness, public acceptability and political feasibility. *Journal of Social Issues* 63, 139–153. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1540-4560.2007.00500.x>.

Ge, Ying-En; Prentkovskis, O.; Tang, Ch.; Saleh, W.; Bell, M. G. H.; Junevičius, R. 2015. Solving traffic congestion from the demand side. *PROMET – Traffic & Transportation: scientific journal on traffic and transportation research* 27 (6): 529–538. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i6.1734>.

Grigonis, V.; Burinskienė, M.; Paliulis, G. M.; Ušpalytė-Vitkūnienė, R.; Dumbliuskas, V.; Barauskas, A. 2014. Modelling a passenger car system based on the principles of sustainable mobility in Vilnius City. *Transport* 78(3): 334–341. DOI: <https://doi.org/10.3846/16484142.2014.953998>.

Hensher, D. A. 2018. Tackling road congestion – What might it look like in the future under a collaborative and connected mobility model? *Transport Policy* 66 A1–A8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.02.007>.

Herala, N. 2003. Regulating traffic with land use planning, *Sustainable Development* 11(2): 91–102. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.209>.

Howard, P. H. 2003. Travel behaviour change through individual engagement. *Handbook of Transport and the Environment*. Elsevier, Amsterdam, 110 p. ISBN 0-87371-328-1.

Individualių lengvųjų automobilių skaičius, tenkantis 1000 gyventojų. 2019. Lietuvos statistikos departamentas, 2019. [Interaktyvus], [žiūrėta 2019–04–09]. Prieiga per internetą: <[https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R086#/>](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R086#/).

Iqbal, S.; Choudhury, C. F.; Wang, P.; González, M. C. 2014. Development of origin-destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 40: 63–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2014.01.002>.

Yang, J.; Liu, Y.; Qin, P.; Liu, A. A. 2014. A review of Beijing's vehicle registration lottery: short-term effects on vehicle growth and fuel consumption. *Energy Policy* 75: 157–166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.055>.

Yuen, B.; Chor, C. H. 1998. Pedestrian streets in Singapore. *Transportation*, 25(3): 225–242. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1005055225542>.

Yee, J.; Menon, A. P. G. 1994. The need for advanced technology in road pricing – the Singapore experience. *Proceedings of the International Conference on Advanced Technologies in Transportation and Traffic Management*, Singapore, May 18–20.

Jakimavičius, M. 2008. *Multi-criteria assessment of urban areas transport systems development according to sustainability*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 148 p. ISBN 978-9955-28-358-4.

Jen, A.; Springel, K.; Gopal, A. R. 2018. Effectiveness of electric vehicle incentives in the United States. *Energy Policy* 119: 349–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.065>.

Jin, P. J.; Yang, F.; Cebelak, M.; Ran, B.; Walton, C. 2013. Urban travel demand analysis for Austin TX USA using location-based social networking data. TRB 92nd Annual Meeting Compendium of Papers.

Juškevičius, P. 2003. *Miestų planavimas*. Vilnius: Technika. 144 p. ISBN 9986-05-05-508-3.

Juškevičius, P.; Valeika, V.; Burinskienė, M.; Paliulis, G. M. 2006. *Lietuvos miestų susisiekimo sistemos*. Klaipėda. Vilnius: Technika. 184 p. ISBN 9955-28-048-4.

Juškevičius, P.; Valeika, V.; Jauneikaitė K. 2009. Tram or Metro in Urban Structure of Vilnius: Development Preconditions. *Journal of Town Planning and Architecture* 32(2): 59–70. DOI: <https://doi.org/10.3846/13921630.2008.32.59-70>.

Juškevičius, P.; Burinskienė, M.; Paliulis, G. M.; Gaučė, K. 2013. *Urbanistika: procesai, problemos, planavimas, plėtra*. Vilnius: Technika. 384 p. ISBN 978-609-457-429-0.

Jones, P.; Sloman, L. 2006. Encouraging behavioral change through marketing and management: What can be achieved? *Moving through Nets: The Physical and Social Dimensions of Travel*. Elsevier, Oxford, 189–218. ISBN 0080442137.

Griškevičiūtė-Gečienė, A. 2012. *Lietuvos miestų susisiekimo sistemų infrastruktūros plėtros pagrindimo modelis*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika. 170 p. ISBN 978-609-457-327-9.

Gonder, J.; Burton, E.; Murakami, E. 2015. Archiving Data from New Survey Technologies: Enabling Research with High-precision Data While Preserving Participant Privacy. *Transportation Research Procedia* 11: 85–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.12.008>.

Kim, Y.; Guldmann, J. M. 2011. Impact of traffic flows and wind directions on the pollution concentrations in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment* 45, 2803-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.02.050>.

Kinderytė-Poškienė, J.; Sokolovskij, E. 2008. Traffic control elements influence on accidents, mobility and the environment. *Transport* 23(1): 55–58. DOI: <https://doi.org/10.3846/1648-4142.2008.23.55-58>.

Kraay, J. H.; Dijkstra, A. 1989. Safety Aspects of Urban Infrastructure – From traffic humps to integrated urban planning. *International conference on traffic and environmental management in cities*. Prague, Czechoslovakia. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018-05-05]. Prieiga per internetą: <<https://www.swov.nl/sites/default/files/publicaties/rapport/r-89-14.pdf>>.

Krauss, S. 1997. *Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics*. University of Cologne. Daktaro disertacija.

Lane, N. D.; Miluzzo, E.; Lu, H.; Peebles, D.; Choudhury, T.; Campbell, A.T. 2010. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Communications Magazine* 48: 140–150. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2010.5560598>.

Lietuvos Respublikos teritorijos bendrasis planas. 2002. Nutarimas. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–09–06]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalaAct/lt/TAD/TAIS.284909>>.

List of cities by population density, 2017. Straipsnis. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–07–17]. Prieiga per internetą: <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cities_by_population_density>.

Litman, T. 2007. *Well Measured: Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning*. Victoria Transport Policy Institute, Canada.

Litman, T. 2010. *Parking Pricing Implementation Guidelines: How More Efficient Pricing can Help Solve Parking Problems, Increase Revenues, and Achieve Other Planning Objectives*. Victoria Transport Policy Institute, Canada. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–07–17]. Prieiga per internetą: <<https://www.vtpi.org/parkpricing.pdf>>.

Local administrative units (LAU). 2018. Straipsnis. [Interaktyvus], [žiūrėta 2019–04–13]. Prieiga per internetą: <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/local-administrative-units>>.

Menon, A. P. G.; Lam, S.-H.; Fan, H. S. L. 1993. Singapore's road pricing system: its past, present and future. *ITE Journal* 63 (12): 44–48.

Mersky, A. Ch.; Sprei, F.; Samaras, C.; Qian, Z. 2016. Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 46: 56–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.011>.

Möser, G.; Bamberg, S. 2008. The effectiveness of soft transport policy measures: A critical assessment and meta-analysis of empirical evidence. *Journal of Environment Psychology* 28: 10–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2007.09.001>.

Nacionalinė darnaus vystymosi strategija. 2003. Nutarimas. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalaAct/TAREAC62D7F8C15/TAIS_396083>.

Nacionalinė susisiekimo plėtros 2014–2022 metų programa. 2013. Nutarimas. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <<https://sumin.lrv.lt/lt/administracine-informacija/nacionaline-susisiekimo-pletros-2014-2022-metu-programa>>.

Naujų transporto rūšių diegimo Vilniaus mieste specialusis planas. 2011. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Specialusis planas. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–04–09]. Prieiga per internetą: <<https://vilnius.lt/lt/savivaldybe/miesto-pletra/specialieji-planai/nauju-transporto-rusiu-diegimo-vilniaus-mieste-specialusis-planas>>.

Necula, E. 2015. Analyzing Traffic Patterns on Street Segments Based on GPS Data Using R. *Transportation Research Procedia* 10: 276–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.077>.

Number of passenger cars per 1000 inhabitants in Europe (EU–28) between 1990 and 2015. 2017. Statistika. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <<https://www.statista.com/statistics/452238/europe-eu-28-number-of-cars-per-1000-inhabitants/>>.

Nuolatinių gyventojų skaičius liepos 1 d. 2018. Lietuvos statistikos departamentas, 2018. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–09–06.]. Prieiga per internetą: <[https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?theme=all#/>](https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?theme=all#/).

Paliulis, G. M. 2007. *Eismo inžinerija*. Vilnius: Technika. 120 p. ISBN 9789955289005.

Park, S. K.; Kim, S. D.; Lee, H. 2004. Dispersion characteristics of vehicle emission in an urban street canyon. *Science of the Total Environment* 323: 263–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.09.032>.

Patire, A. D.; Wright, M.; Prodhomme, B.; Bayen, A. M. 2014. How much GPS data do we need? *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58: 325–342.

Pickett, S. T. A.; Boone, C. G.; McGrath, B. P. 2013. Ecological science and transformation to the sustainable city. *Cities* 32, s13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.02.008>.

Prud'homme, R.; Bocarejo, J. P. 2005. The London congestion charge: a tentative economic appraisal. *Transport Policy* 12(3): 279–287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.03.001>.

Puodžiukas, V.; Švarplienė, A.; Braga, A. 2016. Measure for sustainable development of road network. *Transportation Research Procedia*, 14: 965–972. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.076>.

Rantasila, K. 2016. The impact of Mobility as a Service concept to land use in Finnish context. *International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART)*. DOI: 10.1109/SMART.2015.7399229.

Rasoolimanesh, S. M.; Badarulzaman, N.; Jaafar, M. 2012. City development strategies (CDS) and sustainable urbanization in developing world. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 36, 626. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.068>.

Ratkevičiūtė, K.; Jasiūnienė, V.; Čygas, D. 2011. Methodology for the Substantiation of Road Safety Improvement Measures on the Roads of Lithuania. *Selected papers of 8th International Conference „Environmental Engineering“*. Vilnius: Technika, 1200–1204. DOI: 10.3846/bjrbe.2010.17.

Reddy, S.; Mun, M.; Burke, J.; Estrin, D.; Hansen, M.; Srivastava, M. 2010. Using mobile phones to determine transportation modes. *ACM Transactions on Sensor Networks* 6(2), 1–27. DOI: <https://doi.org/10.1145/1689239.1689243>.

Richter, J.; Friman, M.; Gärling, T. 2010. Review of evaluations of soft transport policy measures. *Transportation: Theory and Application* 2: 5–18.

Roadway and environment. 2016. Urban/rural comparison. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–04–04]. Prieiga per internetą: <<http://www.iihs.org/iihs/topics/t/roadway-and-environment/fatalityfacts/roadway-and-environment>>.

Rodrigue, J-P.; Comtois, C.; Slack, B. 1997. Transportation and spatial cycles: evidence from maritime systems. *Journal of Transport Geography* 5: 87–98. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(96\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0966-6923(96)00073-7).

Schade, J.; Schlag, B. 2003. Acceptability of transport pricing strategies. Amsterdam: Elsevier. 329 p. ISBN 978-0-08-044199-3.

Seidl, D. E.; Jankowski, P.; Tsou, M. H. 2015. Privacy and spatial pattern preservation in masked GPS trajectory data. *International Journal of Geographical Information Science* 30(4): 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1101767>.

Shen, L.; Stopher, P. R. 2014. Review of GPS Travel Survey and GPS Data-Processing Methods. *Transport Reviews* 34(3), 316–334. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.903530>.

Shoup, D. C. 2006. Cruising for parking. *Transport Policy* 13: 479–486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.05.005>.

Shoup, D. C. 2011. *The High Cost of Free Parking*. American Planning Association, Planners Press, Chicago.

Sivilevičius, H.; Paliulis, G. M.; Klibavičius, A.; Palevičius, V. 2015. Research on the operation of roundabouts based on the sustainable development principles. *The Baltic journal of road and bridge engineering* 10 (2): 166–173. DOI: 10.3846/bjrbe.2015.21.

Small, K.; Yan, J. 2001. The Value of “value pricing” of roads: second-best pricing and product differentiation. *Journal of Urban Economics* 49(2), 310–336. DOI: <https://doi.org/10.1006/juec.2000.2195>.

Smeed, R. J. 1964. The traffic problem in towns: A review of possible long term solutions. *The town planning review* 35: 133–158.

Soft measures for Sustainable Mobility. Lessons from Case Studies in Aalborg, Bologna, Clermont-Ferrand, Cork, Liverpool and Suceava. 2009. Transport & Travel Research (TTR) and the partners of the MIDAS project. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–05–03]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/midas_soft_measures_for_sustainable_mobility.pdf>.

Souche, S. 2010. Measuring the structural determinants of urban travel demand. *Transport Policy* 17(3): 127–134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2009.12.003>.

Stopher, P. R. 2004. Reducing road congestion: A reality check. *Transport Policy* 11, 117–131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2003.09.002>.

- Taylor, M. 2007. Voluntary travel behavior change programs in Australia: the carrot rather than the stick in travel demand management. *International Journal of Sustainable Transportation* 1: 173–192. DOI: 10.1080/15568310601092005.
- Taniguchi, A.; Suzuki, H.; Fujii, S. 2007. Mobility management in Japan: its development and meta-analysis of travel feedback programs. *Transport Research Record* 2021: 100–109. DOI: <https://doi.org/10.3141/2021-12>.
- Thomson, J. M. 1977. *Great Cities and Their Traffic*. Knyga. Jungtinė karalystė: Littlehampton book services. 288 p. ISBN-10: 0575021462.
- Toole, J. L.; Colak, S.; Sturt, B.; Alexander, L. P.; Evsukoff, A.; Gonzalez, M. C. 2015. The path most travelled: Travel demand estimation using big data resources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58: 162–177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.022>.
- Urban mobility. 2017. Apžvalga. [Interaktyvus], [žiūrėta 2017–12–09]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility_en>.
- Vehicle type parameter defaults. 2018. Simulation of urban mobility – Wiki. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018–09–12]. Prieiga per internetą: <http://sumo.dlr.de/wiki/Vehicle_Type_Parameter_Defaults>.
- Vij, A.; Shankari, K. 2015. When is big data big enough? Implications of using GPS-based surveys for travel demand analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56: 446–462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.04.025>.
- Widhalm, P.; Yang, Y.; Ulm, M.; Athavale, S.; Gonzalez, M. C. 2015. Discovering urban activity patterns in cell phone data. *Transportation* 42(4): 597–623. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11116-015-9598-x>.
- World Urbanization Prospects. The 2014 Revision. 2015. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [Interaktyvus], [žiūrėta 2018-04-04]. Prieiga per internetą: <<https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-report.pdf>>.
- Wu, Y.; Tan, H.; Qin, L.; Ran, B.; Jiang, Z. 2018. A hybrid deep learning based traffic flow prediction method and its understanding. *Transportation Research Part C* 90: 166–180. DOI: 10.1016/j.trc.2018.03.001.
- Zhao, F.; Chow, L. -F.; Li, M. -T.; Ubaka, I.; Gan, A. 2003. Forecasting transit walk accessibility: regression model alternative to buffer method. *Transport Research Record: Journal of transportation Research Board* 1835: 34–41. DOI: <http://dx.doi.org/10.3141/1835-05>.
- Zheng, H. W.; Shen, G. Q.; Wang, H. 2014. A review of recent studies on sustainable urban renewal. *Habitat International* 41: 273. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.08.006>.
- Zheng, X.; Chen, W.; Wang, P.; Shen, D.; Chen, S.; Wang, X.; Zhang, Q.; Yang, L. 2016. Big data for social transportation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 17 (3): 620–630. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TITS.2015.2480157>.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Dumbliauskas, V.; Barauskas, A. 2015. Kauno miesto gyventojų ir darbo vietų tankio analizė transportiniu požiūriu. *Journal of Science – future of Lithuania*, 7(5), 528–532. ISSN 2029-2341 print, ISSN 2029-2252 online.

Lagerev, R.; Kapski, D.; Burinskienė, M.; Barauskas, A. 2017. Reduce the possibility of transport congestion on freeways using ramp control management. *Transport*, 32(3), 314–320. ISSN: 1648-4142 print, ISSN 1648-3480 online. Science Citation Index Expanded (Clarivate Analytics Web of Science).

Dumbliauskas, V.; Grigonis, V.; Barauskas, A. 2017. Application of Google-based data for travel time analysis: Kaunas city case study. *Promet – Traffic&Transportation*. 29(6), 613–621. ISSN: 1848-4069 online. Science Citation Index Expanded (Clarivate Analytics Web of Science).

Barauskas, A.; Mateckis, J. K.; Palevičius, V.; Antuchevičienė, J. 2018. Ranking of conceptual locations for a park-and-ride parking lot near a city bypass by applying the EDAS method. *Gradevinar* 70(11), 975–983. ISSN: 0350-2465 print, ISSN 1333-9095 online. Science Citation Index Expanded (Clarivate Analytics Web of Science).

Dumbliauskas, V.; Grigonis, V.; Barauskas, A. 2018. The impact of cost-benefit analysis on decision making concerning the development of the urban transport system: case of

Kaunas city. *Transport*, 32(3), 314–320. ISSN: 1648-4142 print, ISSN 1648-3480 online.
Science Citation Index Expanded (Clarivate Analytics Web of Science).

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Congestion is one of the most serious problems in the towns and cities of Lithuania and the rest of the world. Congestion as an issue was identified 50 years ago; since then, congestion has only increased and is a pressing challenge. Over the past decades, the pace of increase in motorisation has been more rapid than the rate of investment in the development of the transport system infrastructure and organisation as well as its quality.

Main problems of a transport system are caused, either directly or indirectly, by congestion. Construction of bypasses around cities is one of the measures that have the greatest impact upon the urban transport system. A bypass undoubtedly improves the quality of an urban transport system, however, the greatest benefit is achieved by creating a bypass ring surrounding the entire city. That way the transit flow is diverted from the city and traffic is decentralised (Juškevičius 2013).

The criteria for the selection of bypass locations have not been clearly identified and also the amount of the benefit is not known until the end of the project. Usually, the simplest path is taken in the selection of a location for a bypass or fast speed street – the location that is cheapest territorially. Development of a transport model for the city and modelling of a new bypass or fast speed street is a more reliable method. While the first method is quick and low cost, the other one usually takes a long time and requires substantial investments. Therefore, in order to save time and money, a methodology for the selection of

locations for bypasses and fast speed streets based on the modelling of transport flows is proposed.

Many European cities have already implemented or are implementing bypass and (or) fast speed street systems, and those without such systems will inevitably have them in the future. The new methodology will enable urban planners to rationally determine the locations of bypasses and fast speed street and estimate future benefits for the transport system at a minimum cost.

Relevance of the thesis

High motorisation level is one of the main reasons for congestion in cities and towns. Congestion means not just a loss of time; it has a negative impact on socio-economic environment, public health and surrounding nature.

Formation of a system of bypasses and fast speed streets is one of the main tasks in the improvement of urban transport systems. Proper performance of this task can lead to a significant improvement of both external and internal urban transport system and provide economic, social, environmental and other benefits.

Existing methods of selecting locations for bypasses and fast speed streets, i. e. expert evaluation and transport flow modelling have both advantages and disadvantages. However, none of them can provide reliable results relatively quickly and at a low cost, whereas the new methodology for the selection of locations for bypasses and fast speed streets is able to achieve this and, as such, it has no parallel abroad.

Relevance of this research is also supported by the European Commission's (EC) documents such as the Green Paper (European Commission (EC) 2007) and the White Paper (European Commission (EC) 2011) calling for the reduction of congestion and its negative impact upon the environment as well as the numbers of deaths and injuries on the roads.

The Master Plan of the Territory of the Republic of Lithuania (2002) provides for the building of approx. 30 bypasses; however, the plan has been implemented by about 30% only.

The object of the thesis

The object of the thesis is the impact of the location of bypasses and fast speed streets on the distribution of transport flows in street networks of cities or towns.

The aim of the thesis

The aim of the thesis is to develop a methodology for the selection of locations of city or town bypasses and fast speed streets using the transport flow modelling, with the aim to reduce travel times for inhabitants.

The tasks of the thesis

In order to achieve the aim of the thesis the following tasks must be solved:

1. To analyse the solutions and methods for urban transport systems problems.
2. To select and evaluate the factors to select a bypass or fast speed street location.
3. To make a list of actions and prioritize them for the selection of city bypass or fast speed street.

4. To carry out practical application of the methodology for the selection of locations for bypasses or fast speed streets for the street networks of Vilnius and Kaunas.

The research methodology

The following investigation methods were used in the work: scientific theoretical analysis, in site transport flow investigations, transport flow modelling, and spatial analysis using geographical information systems.

An overview of modern scientific literature, EC publications and other legal sources has been made by the method of scientific theoretical analysis.

Using the transport flow modelling, the methodology for the selection of locations for bypasses and fast speed streets for cities or towns of various size has been developed and applied practically to Vilnius and Kaunas.

A data analysis method was applied to collect and determine the key street network parameters for the cities of Vilnius and Kaunas.

Scientific novelty of the thesis

The following results that are new for the transport engineering science have been obtained in this thesis:

1. A methodology for the selection of bypass and fast speed street locations for cities or towns based on results of variant modelling and which enables the shortening of travel times for the inhabitants has been developed.
2. Using the new methodology, rational locations for bypasses and fast speed streets for two cities of different size – Vilnius and Kaunas have been selected, the implementation of which would reduce the time costs incurred by the inhabitants at present.

Practical value of the research findings

The thesis presents a methodology for the selection of locations for bypasses and fast speed streets that can be applied practically in the territorial planning, specifically, in the preparation of master plans or special plans, as well as in the formulation of transport development strategies. The methodology enables specialists in transport flow modelling with fundamental knowledge to identify, without the urban transport system modelling that is very time-consuming, locations of bypasses and fast speed streets in a city that would be of greatest benefit for the transport system, i. e. would minimise travel time for the city's inhabitants. The methodology for the selection of locations of bypasses and fast speed streets is suitable for Lithuania's cities and foreign cities of similar size, with the population of the city's central parts varying between 50 000 and 500 000.

The White Paper promotes the construction of bypasses. This provision has been transposed to Lithuania's National Programme on the Development of Transport and Communications for 2014–2022 (Nacionalinė susisiekimo plėtros... 2013) and included in the Road Transport Development Priority I 'Modernisation and development of the infrastructure of the national and local roads network'. Within this Priority, the measure 'Building bypasses around cities and towns' is planned for the achievement of the task 'Implement environmentally-friendly measures on the roads of national significance'. The

new methodology for the selection of bypass and fast speed street locations allows to identify the most rational locations of bypasses and fast speed streets in relation to the streets network and the roads network.

A methodology for the selection of locations of bypasses and fast speed streets applied to two biggest Lithuanian cities – Vilnius and Kaunas.

Defended statements

1. Variant modelling has shown that the system of bypasses and fast speed streets has a positive impact on time costs, i. e. travel times become shorter with the number of main entrances to and exits from a city ≥ 6 .
2. In the case of a city with the population of 50 000–500 000 and with ≥ 6 main entrances and exits, construction of a fast speed street network at 0.6–0.8 relative distance of the city centers has the greatest positive impact upon the urban transport system.

Approval of the research findings

Five research papers have been published on the subject of the thesis: four in journals included in the list of Clarivate Analytics (ISI Web of Science) and one in peer-reviewed scientific journal.

Results of investigations conducted as part of writing of the thesis were publicised at three scientific conferences held in Lithuania and abroad:

- Conference of Lithuanian Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”, Vilnius 2014;
- Conference of Lithuanian Junior Researchers “Science – Future of Lithuania”, Vilnius 2015;
- International conference “28th European Conference on Operational Research”, Poznan, Poland, 2016.

The structure of the thesis

The thesis comprises the introduction, three chapters, the general conclusions, the reference list, eleven annexes and the list of publications by the author on the topic of the dissertation.

The thesis consists of 131 pages without annexes, 14 formulas, 52 figures and 16 tables. The reference list contains 122 items.

1. Analysis of Research Works Addressing Problems of the Transport System

In recent decades, motorisation levels have been increasing due to improving living standards and development of passenger cars. The rate of this growth has been higher than the rate of investments in the development of transport systems and ensuring their quality. Problems of transport systems have become even more acute, and new ones have emerged. Congestion has a negative economic, social, health and environmental impact. From the

economic standpoint, time of travel is expressed in money, and time wasted by inhabitants is treated as costs. It is estimated that costs arising in European cities due to congestion total approx. EUR 100 billion per year, which accounts for as much as 1% of the EU's GDP (Urban... 2017).

Back in 1977, Michael Thomson identified, in his book *Great Cities and Their Traffic* (Thomson 1977), seven transport issues that remain relevant until now, namely, traffic and congestion, accidents, overcrowded public transport during peak hours, underuse of public transport during off-peak hours, conditions for pedestrians, environmental pollution and parking difficulties. Vehicle transit through a city territory and the high demand for transport structures can be added to the list of the issues.

Problems of the transport system are being resolved by various means including soft measures such as education, consulting and cooperation, planning and coordination, dissemination of information and marketing, and hard measures whereby physical changes are implemented, which is often much more expensive. Hard measures comprise two large groups of measures: land use and transport strategy. While the land use strategy is aimed at the reduction of the need for travel, the transport strategy is focussed on a sustainable transport system.

Implementation of measures to resolve transport problems starts from political decisions. In accordance with the EU guidelines and based on foreign countries' experience, the Lithuanian transport policy promotes sustainability of urban and suburban transport systems by integrating the suburban main road network and the urban fast speed network.

It has been concluded, upon overviewing experience of other countries in this chapter, that building of city bypasses is a measure that has the greatest impact upon the transport system. City bypasses reduce the flow of transit vehicles crossing the city, congestion, air pollution and noise, and traffic safety is improved. Bypasses joined together into a common system decentralise traffic and traffic intensity in the centre of the city is reduced by diverting the transit traffic. However, the transport flow modelling used for the selecting bypass locations, while being a reliable method that allows forecasting the transport infrastructure's impact upon the entire urban transport system, is very time-consuming and costly, therefore, a new simpler low-cost methodology for analysing the transport system is required.

2. Developing the Methodology for the Selection of City Bypass and Fast Speed Street Locations

A theoretical model is required for the development of the methodology for the selection of locations for city bypasses and fast speed streets, which would allow testing different variants by changing the following variables: I – the number of main entrances to and exits from the city; T – transit flow as a percentage of the total flow in the city's entrances and exits; P – the relative position of a bypass or fast speed street in relation to the city's geometrical centre and the city's boundary. For this purpose, a transport model has been developed for an ideal city.

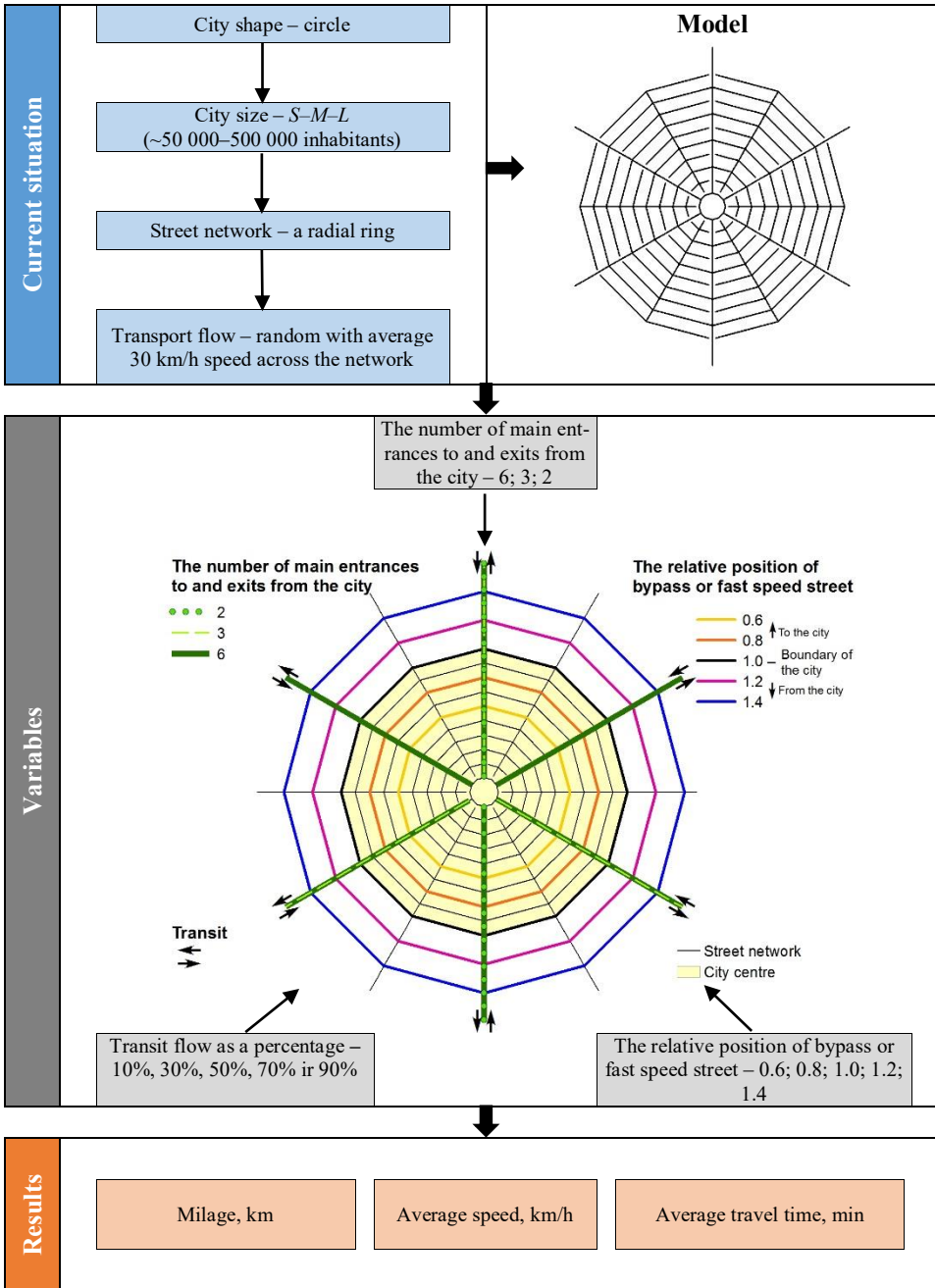


Fig. S.2.1. Transport model for an ideal city

The transport flow modelling has been performing using SUMO software package. By means of *NetEdit* program of the SUMO software package, a transport model for an ideal city's street network, suitable for cities of *S* size (population 50 000–100 000), *M* size (100 000–250 000) and *L* size (250 000–500 000), has been developed. The streets of the city form a radial circular network with the street network cohesion $\beta = 2.0$, and the average travel time being 30 km/h. A typical broad transport flow structure has been selected: cars account for 85% and goods vehicles account for 15% of the traffic. 90 variants have been prepared and modelled.

Mileage, average speed and average travel time were the main parameters analysed. The average travel time is the main parameter that varies depending on the transport solution variant. All the modelled variants were divided into 3 groups based on one of the most important parameters (I): the number of main entrances to and exits from the city.

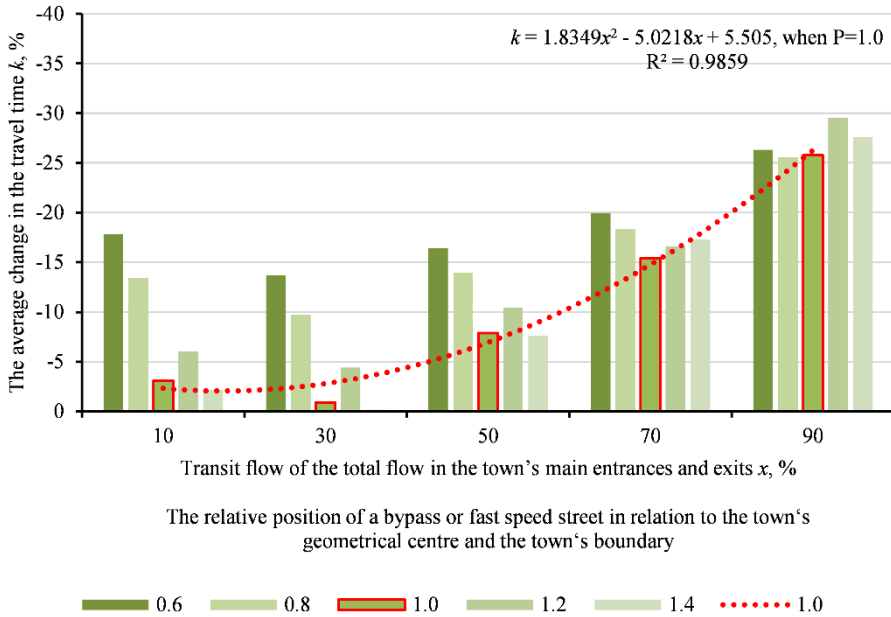


Fig. S.2.2. Average change in the travel time, %, where $I = 6$

With the number of main entrances to and exits from the city being 6 (see Fig. S.2.2), the average change in the travel time is negative in all the variants modelled, which means that the average travel time will be reduced by the implementation of both fast speed streets and bypasses irrespective of the volume of the transit flow in the main entrances and exits. When the transit flow accounts for 10%–30%, the benefit of constructing bypasses is doubtful – the travel time savings are just 0.2% to 6.0%.

With the number of main entrances to and exits from the city being 3 (see Fig. S.2.3), the average change in the travel time varied depending on the measure implemented (fast speed street or bypass) and on the share of transit flow. The results depicted in figure S.2.3

(a) (for fast speed streets only) show that in almost all cases the average change in travel time is reduced, even though insignificantly (to 6%); slightly better results are obtained with the 90% share of transit flow (the change in the average travel time is doubled compared with the transit flow share <90%). Figure S.2.3 (b) shows results for the variant of constructing bypasses and (or) fast speed streets, with the relative distance from the city centre being 1.0–1.4. The average change in the travel time increases in almost all cases except for the variant with the transit flow share >70%. The largest average decrease in the travel time is just about 5%.

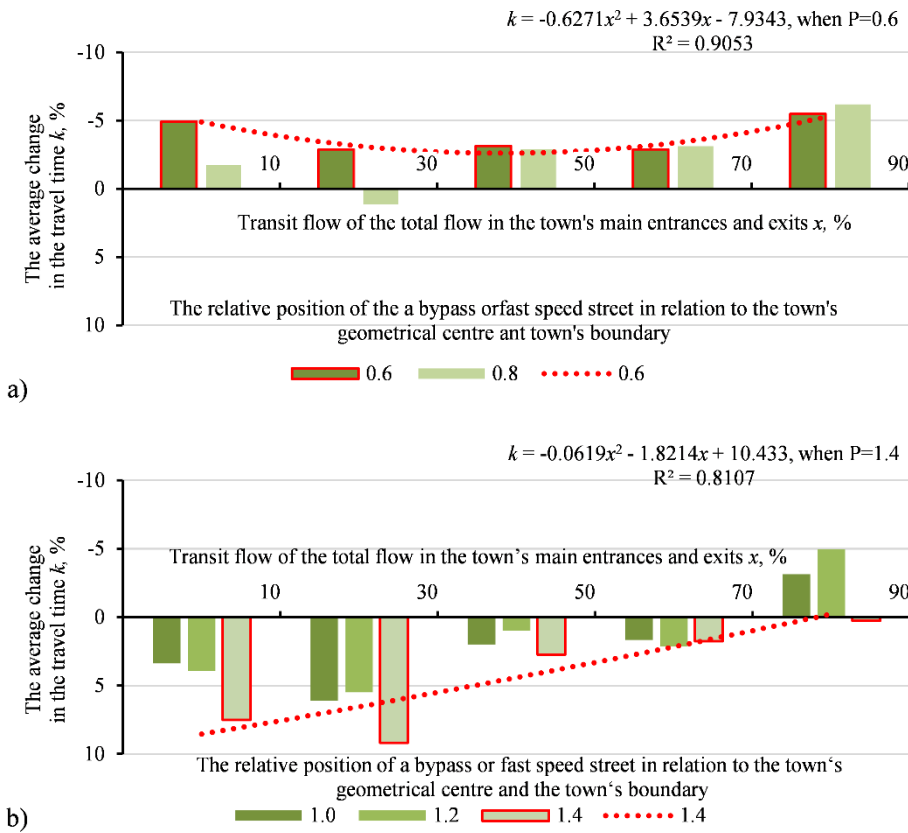


Fig. S.2.3. Average change in the travel time, %, when I = 3:

a) on fast speed streets; b) on bypasses

Where there is only one main entrance to and exit from the city (see Fig. S.2.4), the average change in the travel time is positive in all cases, which means that the average travel time will be longer. The most significant increase in the travel time is recorded for bypasses – up to 13%, while for fast speed streets the change does not exceed 5%.

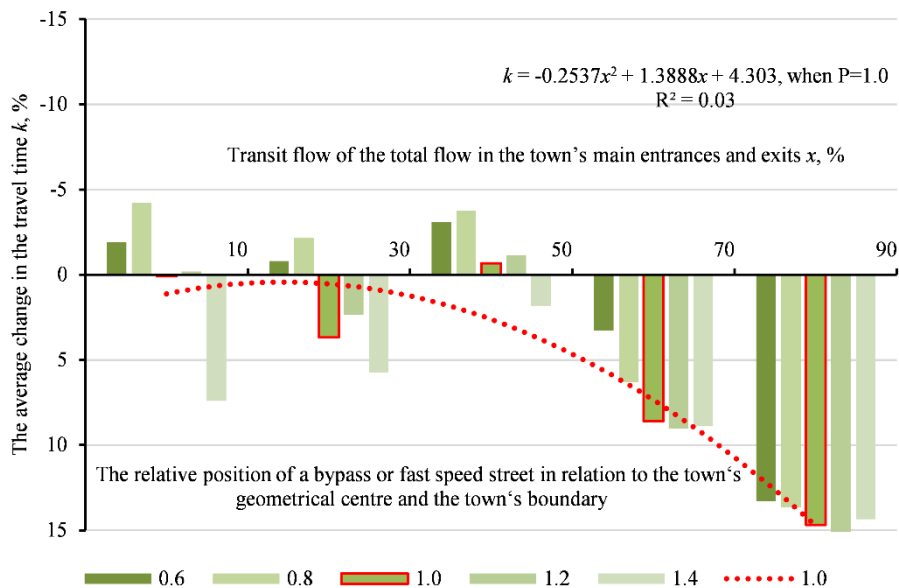


Fig. S.2.4. Average change in the travel time, %, when $I = 2$

Upon evaluation of the modelling results obtained with different parameter values and having regard to the investigations into the transport system, the methodology for selecting locations for bypasses and fast speed streets has been developed (see Fig. S.2.5).

The methodology consists of three parts A, B, C:

- Part A assesses social factors of the city – the distribution of population density and job density as well as the ratio between them;
- Part B assesses transport factors – the street network and the access to traffic analysis zones;
- Part C presents possible variants for the implementation of bypasses or fast speed streets with different variables: the number of main entrances into and exits from the city is 2, or 3 to 5, or ≥ 6 .

Main steps in the application of the methodology:

1. The central part of the city under consideration is identified and the population of the central part is determined;
2. The main travel directions are identified;
3. Transport infrastructure is analysed in detail, with the determination of main parameters, and information about the transport infrastructure development – both planned in the future or underway – is collected;
4. The relative accessibility of the traffic analysis zones is determined;
5. Upon grouping of all the factors referred to above, the need for the development of the transport system is identified;
6. Locations for bypasses or fast speed streets are selected.

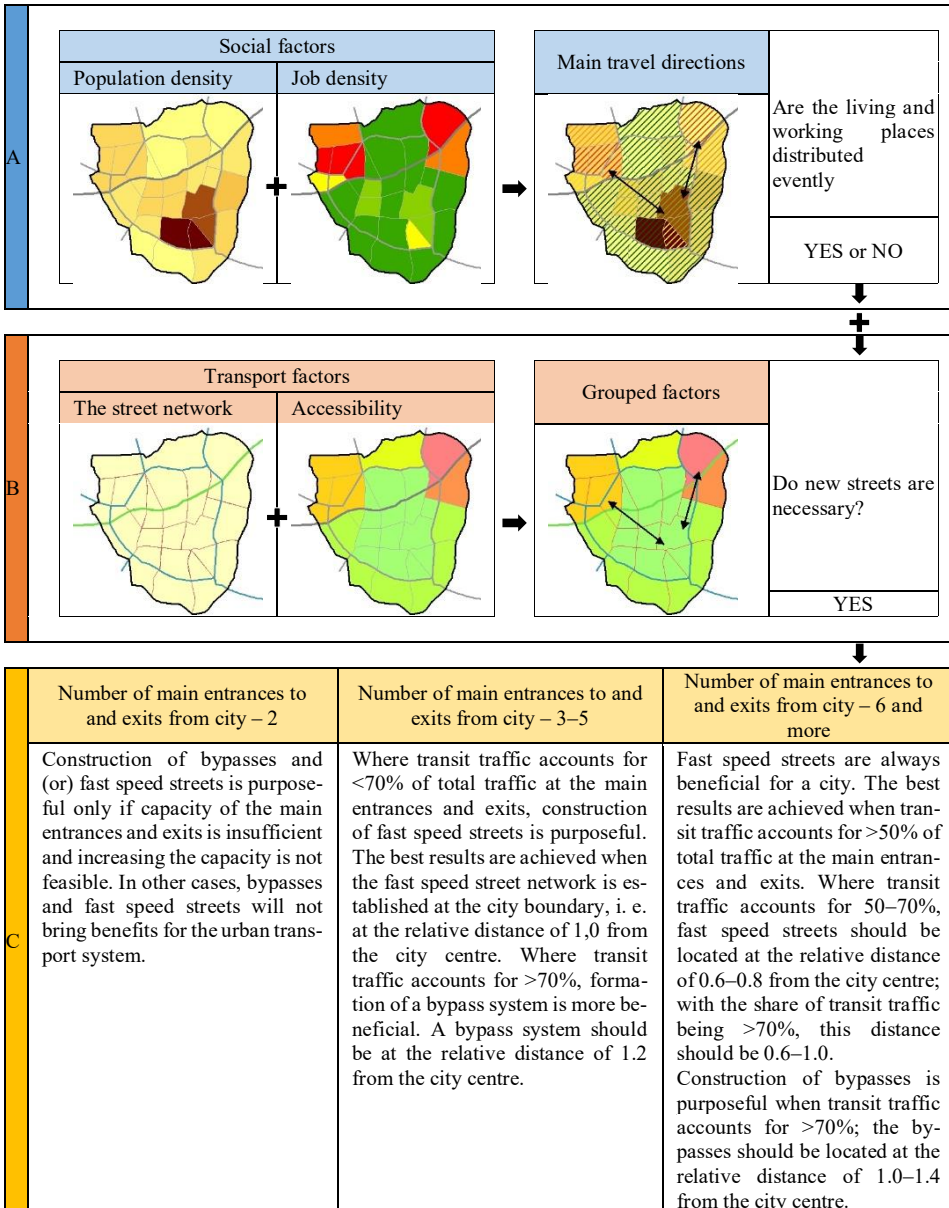


Fig. S.2.5. Methodology for selecting bypasses and fast speed streets

Where the city has 2 main entrances and exits, construction of bypasses and (or) fast speed streets is purposeful only if the capacity of the main entrances and exits is not suffi-

cient (congestion, queues of vehicles) and increasing it is not feasible. In other cases, bypasses or fast speed streets will not shorten the average travel time in the city's street network.

Where the city has 3 to 5 main entrances and exits and transit flow accounts for <70% of the total flow, fast speed streets should be built at the boundary of the city.

Where the city has ≥ 6 main entrances and exits fast speed streets should be planned at the 0.6–0.8 relative distance from the city centre when the share of transit flow in the city's main entrances and exits varies between 50% and 70%.

3. Investigations and Analysis of Urban Transport Systems

In this chapter, transport systems of two cities of different size – Vilnius with the population of 550 000 and Kaunas with the population of 300 000 are analysed, the main parameters are established, and the methodology for the selection of bypass and fast speed street locations is applied.

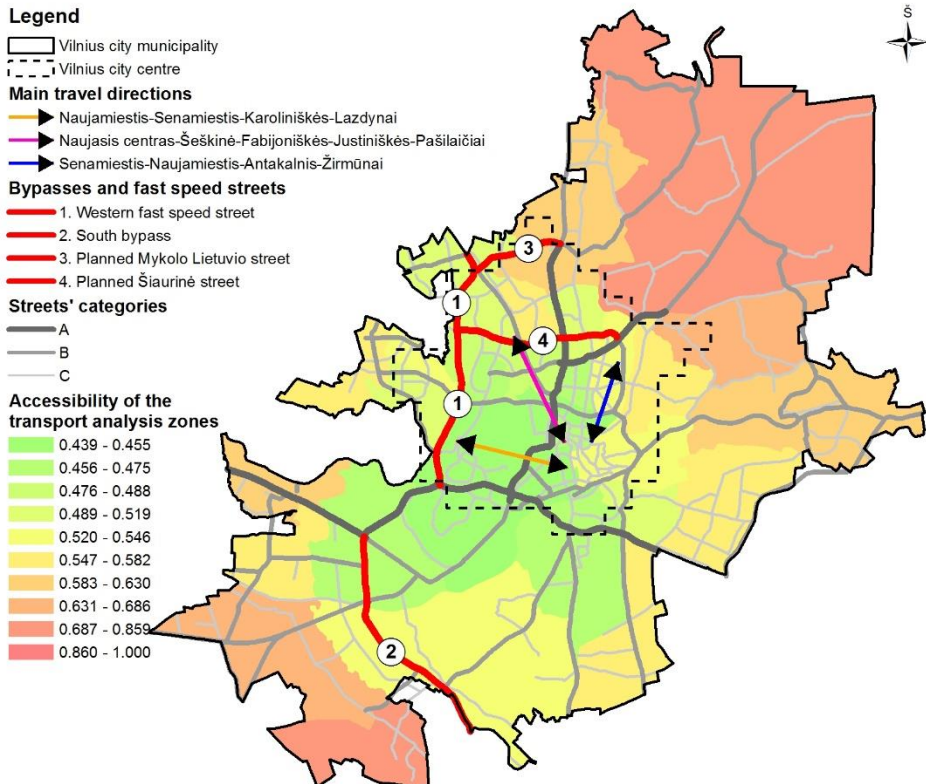


Fig. S.3.1. Main factors in the selection of bypass and fast speed street locations for Vilnius city

Vilnius is the capital and the largest city of Lithuania where the country's most important political, economic, social and cultural centres are operating. According to the data published by Statistics Lithuania, as of 1 July 2018 the number of permanent residents of Lithuania was 2 800 738 including 549 181 residents of Vilnius (19.6%). The number of economic operators was approx. 35 000. The area of Vilnius city is 401 km².

One may conclude, as shown by the grouping of social and transport factors (see Fig. S.3.1), that development of a high category street network in the northern, north-eastern and eastern parts of the city is required. Given that the number of main entrances to and exits from Vilnius is $I > 6$ and the share of transit flow does not exceed 10%, it is purposeful to develop fast speed streets at 0.6–0.8 relative distance from the city centre.



Fig. S.3.2. Recommended transport infrastructure in the Vilnius city

Locations of new transport infrastructure that are recommended having regard to the analysis of social and transport factors are shown in figure S.3.2. The recommended two fast speed street sections are marked as I and II. Section I would connect Road A14 (Vilnius–Utena) with Road 102 (Vilnius–Švenčionys–Zarasai), whereas Section II would co-

connect Road 102 (Vilnius–Švenčionys–Zarasai) with Road 103 (Vilnius–Polotsk). By implementing these two fast speed sections, a fast traffic ring would be formed in Vilnius city. The ring would improve the operation of the entire transport system, shorten travel times in both the city centre and the suburbs, and create better conditions for the transit flow for bypassing the central part of the city.

Kaunas is the second largest city of Lithuania. According to Statistics Lithuania, as of 1 July 2018 the number of permanent residents of Kaunas was 287 665 (half as many as in Vilnius), accounting for just 10.3% of Lithuania's population. The number of economic operators was approx. 11 000. The area of Kaunas city is 157 km² (approx. 2.5 times smaller than that of the Vilnius city).

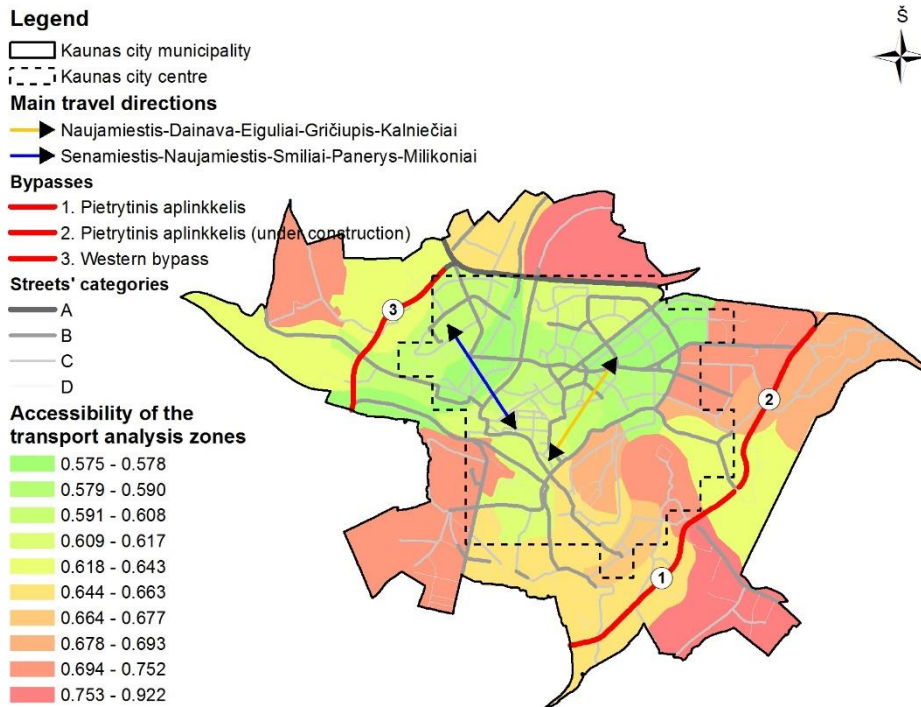


Fig. S.3.3. Main factors in the selection of bypass and fast speed street locations for Kaunas city

The grouped social and transport factors are shown in figure S3.3. Main road A1 north of the city affects the urban transport, however, measures have been planned (reconstruction of main hubs) to reduce the negative impact and to improve the capacity of both the main road and the street network. As seen from figure S.3.3, the worst situation in terms of access to the traffic analysis zones is in the south-eastern part of the city; increasing the density of the existing street network of Category C is provided for in the Kaunas City Master Plan. In the north-eastern part of the city, access should also be improved upon construction of the continuation of Ateities Plentas (Category A2) up to the Kaunas Airport, which has also been provided in the Kaunas City Master Plan. Just as in the case

of Vilnius, implementation of these projects in Kaunas should be followed by the densification of the existing network of streets of lower categories as well as its reconstruction aimed at increasing the street capacity.

The grouped factors (see Fig. S.3.3) show that the planned solutions for the transport infrastructure are sufficient; densification of the street network in south-eastern and south-western parts would be an additional measure. Construction of bypasses or fast speed streets is not necessary.

General Conclusions

1. The analysis of the literature has shown that the greatest positive impact on the transport system is produced by a common system of bypasses and fast speed streets that decentralises traffic and diverts transit flow from the city centre, thus reducing traffic intensity in the city centre and enabling the development of more sustainable urban transport subsystems (such as cycling and public transport).
2. Developed a new, simpler, yet sufficiently reliable and no expense for collecting data required, methodology for the analysis of the transport system, which would allow to define the rational situation of bypass or fast-speed streets and predict future benefits without creating transport model.
3. In selecting locations for bypasses or fast speed streets the laws of demand and supply must be considered, making the following factors must be taken into consideration:
 - social factors (demand) – distribution of the population and jobs;
 - transport factors (supply) – the street network and its parameters as well as accessibility of the transport analysis zones.
4. Based on the modelling results obtained, a methodology for selecting bypass and fast speed street locations has been developed. The methodology comprises variants for the implementation of bypasses or fast speed streets depending on the following variables:
 - number of main entrances into and exits from the city (2; 3; 6);
 - transit flow as a percentage of the total flow at the main entrances and exits (10%; 30%; 50%; 70%; 90%);
 - relative position of the bypass or fast speed street in relation to the geometrical centre of the city and the city boundary (0.6; 0.8; 1.0; 1.2; 1.4).
5. The analysis of the Vilnius city transport system has shown that the present bypass network is sufficient. Transit transport flows are controlled and diverted and the cohesion of streets of categories A, B and C is sufficient ($1.78; 1 \leq \beta \leq 3, \beta \geq 1.5$ ensures the absence of critical junctions and sections). There is a potential for improving accessibility in the northern and north-eastern parts of the city, and it is being realized by implementing a continuation of the western fast speed street: a reconstruction of Mykolo Lietuvio street and a construction of Šiaurinė street. It is recommended, however, that fast speed streets should be planned in the north-eastern and eastern parts of the city at the 0.6–0.8 relative distance from the city centre, which would connect A14 with 102 and 102 with 103. These

connections would complete the high category ring of bypasses and fast speed streets, which would improve the operation of the entire transport system, shorten travel times by 13–18% and divert the transit flow from the central part of the city.

6. The analysis of Kaunas city transport system has shown that there is no need to implement major changes, and the changes already planned are sufficient, namely, continuation of Ateities Plentas up to the Kaunas Airport in the north-east (street of category A2) and densification of the Category C street network in the southern part. The present cohesion of streets of Categories A, B and C is sufficient ($1.77; 1 \leq \beta \leq 3, \beta \geq 1.5$ ensures the absence of critical junctions and sections) and will be even increased by the carrying out of the said plans.
7. The new methodology for selecting bypass or fast speed street locations, using free data and premade transport modelling results, has been adapted to the cities of Kaunas and Vilnius. Therefore it can be applied to over 90% of all cities of Europe with the number of people residing in the city's central part varying between 50 000 and 500 000.



Priedai²

A priedas. Idealizuoto miesto transportinių modelių rezultatai

B priedas. Modeliavimo programos bendrųjų modelio atvaizdavimo parametrų programos tekstas

C priedas. Gatvių tinklo pagrindinių parametrų aprašymo programos teksto ištrauka

D priedas. Atsitiktinio transporto priemonių srauto generavimo programos teksto ištrauka

E priedas. Tranzitinio transporto priemonių srauto aprašymo programos tekstas

F priedas. Transporto priemonių judėjimo maršrutų programos teksto ištrauka

G priedas. Vilniaus miesto transportinių rajonų pasiekiamumo indeksai

H priedas. Kauno miesto transportinių rajonų pasiekiamumo indeksai

I priedas. Autoriaus sąžiningumo deklaracija

J priedas. Bendraautorių sutikimai teikti publikacijoje skelbtą medžiagą mokslo daktaro disertacijoje

K priedas. Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema kopijos

² Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje.

Andrius BARAUSKAS

MIESTO APLINKKELIŲ POVEIKIO TRANSPORTO SRAUTŲ PASISKIRSTYMUJ
GATVIŲ TINKLE VERTINIMAS IR MODELIAVIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Transporto inžinerija (T 003)

ASSESSMENT AND MODELLING OF URBAN BYPASSES' INFLUENCE ON
TRANSPORT FLOWS DISTRIBUTION IN STREET NETWORK

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Transport Engineering (T 003)

2019 09 02. 12,75 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino BĮ UAB „Baltijos kopija“,
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius