

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Miglė ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ

MIESTO DVIRAČIŲ EISMO SRAUTŲ
MODELIAVIMAS ATSIŽVELGIANT Į
SUSISIEKIMO INFRASTRUKTŪROS
SAUGUMĄ

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
STATYBOS INŽINERIJA (T 002)

Vilnius, 2026

Disertacija rengta 2021–2026 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Vadovas

prof. dr. Marija BURINSKIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002).

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

Pirmininkas

prof. dr. Donatas ČYGAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002).

Nariai:

doc. dr. Rasa APANAVIČIENĖ (Kauno technologijos universitetas, Statybos inžinerija – T 002),

doc. dr. Vytautas GRIGONIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002),

dr. Aliaksei LAURESHYN (Lundo universitetas, Švedija, Transporto inžinerija – T 003),

doc. dr. Tatjana VILUTIENĖ (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos inžinerija – T 002).

Disertacija bus ginama viešame Statybos inžinerijos mokslo krypties disertacijos gynimo tarybos posėdyje **2026 m. balandžio 22 d. 10 val.** Vilniaus Gedimino technikos universiteto *Aula Doctoralis* posėdžių salėje.

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

Tel.: (0 5) 274 4956; faksas (0 5) 270 0112; el. paštas doktor@vilniustech.lt

Pranešimai apie numatomą ginti disertaciją išsiųsti 2026 m. kovo 20 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto talpykloje <https://etalpykla.vilniustech.lt/> ir Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).

Vilniaus Gedimino technikos universiteto 2026-007-M mokslo literatūros knyga

<https://doi.org/10.20334/2026-007-M>

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2026

© Miglė Zabielaitytė-Skirmantė, 2026

migle.zabielaite-skirmante@vilniustech.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Miglė ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ

MODELLING URBAN BICYCLE TRAFFIC
FLOWS WITH CONSIDERATION OF
TRANSPORT INFRASTRUCTURE SAFETY

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (T 002)

Vilnius, 2026

The doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2021–2026.

Supervisor

Prof. Dr Marija BURINSKIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

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

Chairman

Prof. Dr Donatas ČYGAS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

Members:

Assoc. Prof. Dr Rasa APANAVIČIENĖ (Kaunas University of Technology, Civil Engineering – T 002),

Assoc. Prof. Dr Vytautas GRIGONIS (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002),

Dr Aliaksei LAURESHYN (Lund University, Sweden, Transport Engineering – T 003),

Assoc. Prof. Dr Tatjana VILUTIENĖ (Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering – T 002).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Dissertation Defence Council of the Scientific Field of Civil Engineering in the *Aula Doctoralis* Meeting Hall of Vilnius Gediminas Technical University at **10 a.m. on 22 April 2026**.

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

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

A notification on the intended defence of the dissertation was sent on 20 March 2026. A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Vilnius Gediminas Technical University repository <http://etalpykla.vilniustech.lt/> and the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

Reziomė

Disertacijoje nagrinėjama dviračių susisiekimo infrastruktūros sprendinių įtaka subjektyviam eismo saugumui ir dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų taikymo galimybės miesto gatvėse. Pagrindiniai tyrimo objektai – dviračių infrastruktūros sprendinių poveikis subjektyviam saugumo jausmui ir dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų taikymas miesto gatvėse. Disertacijos tikslas – nustatyti suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikų tikslumą prognozuojant dviračių eismo srautus miesto gatvėse, panaudojant laisvai prieinamus duomenis, bei nustatyti skirtingų dviračių infrastruktūros sprendinių įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams subjektyvios saugos atžvilgiu.

Darbe sprendžiami keli pagrindiniai uždaviniai: kiekybiškai įvertinta subjektyvaus saugumo įtaka prognozuojamiems dviračių eismo srautams ir atliktas dviračių eismo srautų prognozavimas, taikant suvestinės elgsenos bei eskizinio planavimo metodikas, naudojant laisvai prieinamus duomenis.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir trys priedai.

Įvadiniamе skyriuje aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autorės paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje apžvelgiami dviračių susisiekimo infrastruktūros planavimo principai, dviračių eismo srautų duomenų gavimo būdai ir bazės, analizuojamos dviračių eismo srautų prognozavimo metodikos, jų taikomi duomenys ir tikslumas.

Antrajame skyriuje aprašomi atlikti teoriniai tyrimai, analizuojamas subjektyvaus saugumo taikymas Lietuvos kontekste, pateikiamas jo kiekybinis įvertinimas, pristatomi rezultatai ir eksperimentinio dviračių eismo srautų prognozavimo, tyrimo, vykdymo eiga.

Trečiajame skyriuje pateikiami eksperimentinių dviračių eismo srautų tyrimų, atliktų taikant suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas, rezultatai bei jų analizė ir metodikų tikslumo vertinimas.

Disertacijos tema paskelbti 7 straipsniai: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazę, turinčiuose citavimo indeksą, vienas – recenzuojamuose tarptautinių konferencijų straipsnių rinkiniuose ir trys – kitose tarptautinių ir respublikinių konferencijų leidiniuose. Disertacijos tema perskaityti 4 pranešimai Lietuvos konferencijose ir 3 kitų šalių konferencijose.

Abstract

The dissertation examines the impact of bicycle infrastructure solutions on subjective traffic safety and the possibilities of applying bicycle traffic flow forecasting methodologies on city streets. The main objects of the research are the impact of bicycle infrastructure solutions on the subjective sense of safety and the application of bicycle traffic flow forecasting methodologies on city streets. The dissertation aims to determine the accuracy of the aggregated behaviour model and sketch plan method in predicting bicycle traffic flows on city streets, using freely available data, and to determine the impact of different bicycle infrastructure solutions on predicted bicycle traffic flows in terms of subjective safety. The work addresses several main tasks: quantitatively assesses the impact of subjective safety on predicted bicycle traffic flows, and performs bicycle traffic flow forecasting using the aggregated behaviour model and the sketch plan method using freely available data.

The dissertation consists of an introduction, three main chapters, general conclusions, lists of references and the author's publications on the dissertation topic, and three appendices.

The Introduction discusses the research problem and its relevance, defines the research object, outlines the dissertation's aim and objectives, describes the research methodology, presents the scientific novelty and practical significance of the results, and introduces the defended statements. The section concludes with a list of the author's publications and conference presentations related to the dissertation, as well as the structure of the work.

The First Chapter reviews the principles of bicycle infrastructure planning, methods and databases for obtaining bicycle traffic flow data, analyses bicycle traffic flow forecasting methodologies, the data they employ and the accuracy.

The Second Chapter describes the conducted theoretical studies, analyses the application of subjective safety in the Lithuanian context, provides its quantitative assessment, presents the results, and outlines the procedure of the experimental bicycle traffic flow forecasting study.

The Third Chapter presents the results of experimental bicycle traffic flow studies conducted using aggregate behaviour and sketch planning methodologies, as well as their analyses and an evaluation of the accuracy of these methodologies.

Seven scientific articles on the dissertation topic have been published: three in journals indexed in the *Clarivate Analytics Web of Science* database, one in peer-reviewed international conference proceedings, and three in other national and international conference materials. Four presentations on the dissertation topic were given at Lithuanian conferences, and three at conferences abroad.

Žymėjimai

Simboliai

A_i – išmatuota reikšmė (angl. *the measured value*);

b – kintamųjų skaičius (angl. *number of variables*);

β_p – koeficientai prie nepriklausomųjų kintamųjų (angl. *coefficients to independent variables*);

c – matavimų skaičius (angl. *the number of measurements*);

\bar{d} – imčių skirtumų vidurkis (angl. *mean of sample differences*);

ε – atsitiktinės klaidos komponentas (angl. *random error component*);

f_p – stebėjimų skaičius grupėje p (angl. *number of observations in group p*);

F_i – prognozuojama reikšmė (angl. *the predicted value*);

Fl_b – bazinis prognozuojamas dviračių eismo srautas (angl. *basic predicted bicycle traffic flow*).

Fl_p – koreguotas prognozuojamas dviračių eismo srautas (angl. *adjusted predicted bicycle traffic flow*).

K_i – santykinis koeficientas (angl. *relative coefficient*);

l – ekspertų skaičius (angl. *number of experts*);

m – vertinamų schemų skaičius (angl. *number of schemes being evaluated*);

M_{dv} – dviračiais atliekamų kelionių dalis (angl. *share of trips made by bicycle*);

M_{tr} – transporto priemonėmis atliekamų kelionių dalis (angl. *share of trips made by vehicle*);

n – imties dydis (angl. *sample size*)

N – bendras stebėjimų skaičius visose grupėse (angl. *total sample size*);

P_{dv} – prognozuojamas dviračių eismo srautas (angl. *predicted bicycle traffic flow*);

P_{jk} – k -ojo eksperto j -ajai schemai suteiktas vertinimas (angl. *rating given by the k -th expert to the j -th scheme*);

p – grupių skaičius (angl. *number of groups*);

p_i – nagrinėjamo sprendinio procentas (angl. *percentage of the solution under consideration*);

p_{pref} – bazinio sprendinio procentas (angl. *percentage of the base solution*);

R^2 – determinacijos koeficientas (angl. *coefficient of determination*);

r – Pirono koreliacijos koeficientas (angl. *Pearson correlation coefficient*);

S_d^2 – imčių skirtumų dispersija (angl. *variance of sample differences*);

S_p^2 – p -tosios imties dispersija (angl. *variance of the p th sample*);

S_{tr} – transporto priemonių srautas (angl. *vehicle traffic*);

\bar{u}, \bar{v} – imčių vidurkiai (angl. *sample means*);

\bar{w} – bendras visų duomenų vidurkis (angl. *the overall average of all data*);

\bar{w}_p – p -tosios imties vidurkis (angl. *p -th sample mean*);

x – nepriklausomasis kintamasis (angl. *the independent variable*);

x_n^* – statistiškai reikšmingas nepriklausomasis kintamasis (angl. *statistically significant independent variable*);

$X1$ – rytinio piko valandos „Strava“ programos fiksuotas dviratinkų skaičius, dv./h (angl. *Strava app fixed number of cyclists during morning peak hour, bic./h*);

$X2$ – rytinio piko valandos paspirtukų ir dviračių srautas, mik./h (angl. *morning peak hour scooter and bicycle traffic flow, p./h*);

$X3$ – rytinio piko valandos transporto priemonių srautas, tr. pr./h (angl. *morning peak hour vehicle traffic flow, tr.pr./h*)

$X4$ – vakarinio piko valandos „Strava“ programos fiksuotas dviratinkų skaičius, dv./h (angl. *evening peak hour Strava app fixed number of cyclists, bic./h*);

$X5$ – vakarinio piko valandos paspirtukų ir dviračių srautas, mik./h (angl. *evening peak hour scooter and bicycle traffic flow, p./h*);

$X6$ – vakarinio piko valandos transporto priemonių srautas, tr. pr./h (angl. *evening peak hour vehicle traffic flow, tr.pr./h*);

$X7$ – krituliai (angl. *precipitation*);

$X8$ – minimali dienos oro temperatūra, °C (angl. *minimum daily air temperature, °C*)

$X9$ – maksimali dienos oro temperatūra, °C (angl. *maximum daily air temperature, °C*)

$X10$ – vidutinė dienos oro temperatūra, °C (angl. *average daily air temperature, °C*)

y – priklausomasis kintamasis (angl. *dependent variable*);

$Y1$ – vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas, dv./h (angl. *average peak hour bicycle traffic flow, bic./h*);

$Y2$ – rytinio piko valandos dviračių eismo srautas, dv./h (angl. *morning peak hour bicycle traffic flow, bic./h*);

$Y3$ – vakarinio piko valandos dviračių eismo srautas, dv./h (angl. *evening peak hour bicycle traffic flow, bic./h*);

z – kintamojo reikšmė (angl. *variable value*).

Santrumpos

ANOVA – dispersinė analizė (angl. *ANalysis Of VAriance*).

MAE – vidutinė absoliučioji paklaida (angl. *mean absolute error*).

MAPE – vidutinė absoliučioji procentinė paklaida (angl. *mean absolute percentage error*).

VIF – dispersijos mažėjimo daugiklis (angl. *dispersion reduction factor*).

Taisyklės – Dviračių ir pėsčiųjų eismo infrastruktūros planavimo ir projektavimo taisyklės (angl. *Rules for Planning and Designing Bicycle and Pedestrian Traffic Infrastructure*).

Terminai ir apibrėžimai

Dirbtinis intelektas (angl. *Artificial Intelligence*) – mašininė sistema, kuri, siekdama aiškių ar numanomų tikslų, iš įvesties inferuoja, kaip generuoti išvestis (pvz., prognozes, turinį, rekomendacijas ar sprendimus), galinčias daryti poveikį fizinei ar virtualiai aplinkai (European Parliament & European Parliament Council, 2024).

Dviračių gatvė (angl. *bicycle street*) – mišriam eismui skirta gatvė, kurioje dviratininkai turi eismo prioritetą, o motorinių transporto priemonių eismas yra leidžiamas, tačiau ribojamas greičio ir organizuojamas taip, kad netrukdytų dviračių eismui (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2002).

Dviračių juosta (angl. *bicycle lane*) – gatvės važiuojamojoje dalyje pažymėta eismo juosta, skirta tik dviračių eismui ir atskirta nuo kitų transporto priemonių horizontaliojo ženklinimo priemonėmis (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Dviračių takas (angl. *bicycle path*) – fiziškai nuo važiuojamosios dalies atskirtas kelias, skirtas tik dviračių eismui arba dviračių ir pėsčiųjų eismui, kai tai numatyta eismo organizavimo sprendiniuose (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Eskizinio planavimo modeliai (angl. *sketch plan models*) – modeliai, kurie, remdamiesi paprastais skaičiavimais ir elgsenos taisyklėmis, prognozuoja nemotorizuoto transporto eismo srautą teritorijoje, atsižvelgdami į gyventojų kelionių ilgį, modalinį pasidalijimą ir keliavimo įpročius (McDonald et al., 2007).

Koregavimo koeficientas (angl. *adjustment factor*) – skaitinis daugiklis, taikomas transporto eismo srautų tyrimuose siekiant trumpalaikius ar riboto laikotarpio matavimus

pritaikyti ilgesnio laikotarpio analizei ir prognozėms, perskaičiuojant juos į reprezentatyvesnius rodiklius (Ryus et al., 2014).

Modalinis kelionių pasidalijimas (angl. *modal split*) – procentais išreikštas visų per parą atliekamų kelionių pasiskirstymas apibrėžtoje teritorijoje pagal pasirinktą kelionės būdą (pėsčiomis, nemotorizuotu transportu, viešuoju transportu, individualiu motoriniu transportu) (Vilniaus miesto savivaldybė, 2018).

„Strava“ (angl. *Strava data*) – populiari mobilioji sporto sekimo programėlė, kaupianti ir agreguojanti erdvinius bei laiko duomenis apie naudotojų važiavimą dviračiu ir kitas fizines veiklas, todėl dažnai naudojama kaip papildomas duomenų šaltinis dviratininkų judėjimo ir srautų analizei miestuose (K. Lee & Sener, 2020).

Subjektyvus saugumas (angl. *perceived safety*) – individo suvokimu ir emociniu vertinimu grindžiamas saugumo jausmas, kuris nebūtinai atitinka objektyviai egzistuojančią riziką ar grėsmę, todėl skirtingi asmenys toje pačioje situacijoje gali jaustis skirtingai saugūs (Janušauskienė et al., 2017).

Suvestinės elgsenos modeliai (angl. *aggregate behavioural models*) – modeliai, kurie, dažniausiai taikant regresinę analizę, sieja nemotorizuoto transporto kelionių apimtį su tiriamos teritorijos gyventojų skaičiumi, žemės naudojimo pobūdžiu ir kitomis reikšmingomis aplinkos charakteristikomis, leidžiančiomis nustatyti esamus dviračių srautus ir identifikuoti svarbiausius juos lemiančius veiksnius (McDonald et al., 2007).

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimo objektas	2
Darbo tikslas.....	2
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai.....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
Padėka	5
1. DVIRAČIŲ EISMO SRAUTŲ DUOMENYS IR PROGNOZAVIMO METODIKOS DVIRAČIŲ INFRASTRUKTŪROS PLANAVIMO SRITYJE.....	7
1.1. Dviračių susisiekimo infrastruktūra.....	8
1.1.1. Dviračių susisiekimo sistemos tinklo planavimo principai	8
1.1.2. Saugi dviračių susisiekimo infrastruktūra	11
1.1.3. Dviračių infrastruktūros tipo parinkimo principai	14
1.2. Dviračių eismo srautų duomenys.....	18
1.2.1. Dviračių eismo srautų duomenų bazės	18
1.2.2. Duomenų apie dviračių eismo srautus rinkimo būdai	20

1.3. Dviraičių srautų prognozavimo metodikos	23
1.3.1. Suvestinės elgsenos modelis.....	28
1.3.2. Eskizinio planavimo metodika	29
1.4. Kintamieji prognozavimo metodikose ir metodikų tikslumas	31
1.4.1. Kintamieji suvestinės elgsenos modeliuose ir eskizinio planavimo metodikose	31
1.4.2. Metodikų tikslumas	35
1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	37
2. DVIRATININKŲ SUBJEKTYVAUS SAUGUMO TEORINIAI TYRIMAI IR EKSPERIMENTINIO TYRIMO METODIKA.....	39
2.1. Miesto plėtros specialistų ir inžinierių apklausa.....	39
2.2.1. Respondentų atranka	40
2.2.2. Apklauskos vykdymas.....	41
2.2.3. Dviraičių infrastruktūros schemos.....	42
2.2.4. Rezultatų vertinimas.....	45
2.2.5. Tyrimo rezultatai	46
2.2. Subjektyvaus saugumo kiekybinis vertinimas.....	49
2.2.1. Subjektyvaus saugumo koeficientų nustatymo metodika	49
2.2.2. Dviraičių infrastruktūros sprendinių koregavimo koeficientai	50
2.3. Pradiniai duomenys eksperimentiniam tyrimui atlikti.....	52
2.3.1. Tyrimo vieta	52
2.3.2. Duomenų rinkimo būdai.....	55
2.3.3. Duomenų rinkimo laikotarpis	56
2.4. Suvestinės elgsenos metodika	57
2.4.1. Priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų nustatymas.....	57
2.4.2. Pradinių duomenų tvarkymas	59
2.4.3. Pirsono koreliacija.....	59
2.4.4. Daugianarės tiesinės regresinės analizės modelis.....	60
2.4.5. Modelio tinkamumas	61
2.5. Eskizinio planavimo metodika	61
2.6. Dviraičių srautų prognozavimo metodikų tikslumo vertinimas.....	62
2.7. Antrojo skyriaus išvados	64
3. EKSPERIMENTINIAI DVIRAIČIŲ EISMO SRAUTŲ PROGNOZAVIMO TYRIMAI	67
3.1. Natūriniai dviraičių eismo srautų matavimai.....	67
3.1.1. Statistiškai reikšmingos piko valandos.....	67
3.1.2. Statistiškai reikšmingos dienos.....	70
3.1.3. Modeliui reikšmingų mėnesių nustatymas	72
3.1.4. Išskirčių šalinimas	76
3.2. Dviraičių srautų prognozavimas pagal suvestinės elgsenos metodiką.....	78
3.2.1. Priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų porų nustatymas	78
3.2.2. Daugianarės tiesinės regresinės analizės modeliai	80
3.3. Dviraičių srautų prognozavimas pagal eskizinio planavimo metodiką	86

3.3.1. T. Narbuto g. dviračių eismo srautų prognozavimas	87
3.3.2. Konstitucijos pr. dviračių eismo srautų prognozavimas	88
3.3.3. S. Stanevičiaus g. dviračių eismo srautų prognozavimas	90
3.4. Dviračių srautų prognozavimo modelių vertinimas	91
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	93
BENDROSIOS IŠVADOS	95
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	97
AUTORĖS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	109
SUMMARY IN ENGLISH.....	111
PRIEDAI.....	127
A priedas. Prognozuojami dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką	128
B priedas. T. Narbuto g., Konstitucijos pr., S. Stanevičiaus g. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių koeficientai	135
C priedas. Dviračių eismo srautų prognozavimas pagal suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas	138

Contents

INTRODUCTION	1
Problem formulation	1
Relevance of the dissertation.....	2
Object of research	2
Aim of the dissertation	2
Tasks of the dissertation.....	3
Research methodology	3
Scientific novelty of the dissertation	3
Practical value of the research findings.....	4
Defended statements	4
Approval of the research findings	4
Structure of the dissertation.....	5
Acknowledgement.....	5
1. BICYCLE TRAFFIC FLOWS DATA AND FORECASTING METHODS IN CYCLING INFRASTRUCTURE PLANNING	7
1.1. Cycling infrastructure	8
1.1.1. Principles of cycling network planning.....	8
1.1.2. Safe bicycle transportation infrastructure.....	11
1.1.3. Criteria for selecting cycling infrastructure types.....	14
1.2. Bicycle traffic flows data.....	18
1.2.1. Bicycle traffic flows databases	18
1.2.2. Methods for collecting bicycle traffic flows data	20

1.3. Bicycle traffic flows forecasting methods	23
1.3.1. Aggregate behaviour models	28
1.3.2. Sketch plan models.....	29
1.4. Forecasting variables and methodological accuracy.....	31
1.4.1. Key variables in aggregate behaviour models and sketch plan models.....	31
1.4.2. Accuracy of methodologies	35
1.5. Conclusions of the First Chapter and formulation of the dissertation tasks	37
2. THEORETICAL RESEARCH AND EXPERIMENTAL RESEARCH	
METHODOLOGY OF CYCLISTS' PERCEIVED SAFETY	39
2.1. Survey of urban planning specialists and engineers	39
2.2.1. Selection of respondents	40
2.2.2. Survey implementation.....	41
2.2.3. Cycling infrastructure layouts	42
2.2.4. Evaluation of survey responses	45
2.2.5. Survey results	46
2.2. Quantitative assessment of perceived safety	49
2.2.1 Methodology for determining perceived safety coefficients	49
2.2.2 Adjustment factors for cycling infrastructure design solutions	50
2.3. Input data for the experimental study	52
2.3.1. Study area.....	52
2.3.2. Data collection methods	55
2.3.3. Data collection period	56
2.4. Aggregate behaviour modelling approach.....	57
2.4.1. Determination of dependent and independent variables	57
2.4.2. Processing of initial data	59
2.4.3. Pearson correlation	59
2.4.4. Multiple linear regression analysis model	60
2.4.5. Model fit.....	61
2.5. Sketch plan model	61
2.6. Evaluation of the accuracy of bicycle traffic flows forecasting methods	62
2.7. Conclusions of the Second Chapter.....	64
3. EXPERIMENTAL RESEARCH ON BICYCLE FLOWS FORECASTING.....	67
3.1. Field measurements of bicycle traffic flows.....	67
3.1.1. Statistically significant peak hours	67
3.1.2. Statistically significant days	70
3.1.3. Identification of model-relevant months	72
3.1.4. Outlier detection and removal	76
3.2. Bicycle traffic flows forecasting using the aggregate behavioural model.....	78
3.2.1. Identification of dependent and independent variable pairs	78
3.2.2. Multiple linear regression analysis models.....	80
3.3. Bicycle traffic flows forecasting using the sketch plan model	86
3.3.1. Bicycle traffic flows forecasting for T. Narbuto St.	87
3.3.2. Bicycle traffic flows forecasting for Konstitucijos Ave.	88

3.3.3. Bicycle traffic flows forecasting for S. Stanevičiaus St.	90
3.4. Evaluation of bicycle traffic flows forecasting models	91
3.5. Conclusions of the Third Chapter.....	93
GENERAL CONCLUSIONS	95
REFERENCES	97
LIST OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS BY THE AUTHOR ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION	109
SUMMARY IN ENGLISH.....	111
APPENDICES	127
Appendix A. Forecasting bicycle traffic flows using the sketch plan model	128
Appendix B. Coefficients of multiple linear regression analysis models of T. Narbuto St., Konstitucijos Ave., S. Stanevičiaus St.....	135
Appendix C. Bicycle traffic flows forecasting using the aggregate behaviour model and sketch plan model approaches	138

Įvadas

Problemos formulavimas

Nepaisant nuoseklių investicijų į dviračių infrastruktūrą ir darnaus judumo politikos įgyvendinimo (European Commission, 2011; United Nations, 2015), 2025 m. „Copenhagenize Index“ duomenys rodo, kad 25 % ar didesnę kasdieninių kelionių dviračiais dalį pasiekia tik 10 iš 100 vertintų miestų (Copenhagenize & EIT Urban Mobility, 2025).

Tyrimai rodo, kad infrastruktūros naudojimą lemia ne tik jos prieinamumas, bet ir dviratininkų subjektyvus saugumas, turintis reikšmingą įtaką transporto priemonės pasirinkimui (CROW, 2016; Friel et al., 2023; Reggiani et al., 2022; Tzouras et al., 2025). Tačiau dviračių eismo srautų prognozavimas paprastai grindžiamas tik objektyviais rodikliais, o infrastruktūros sprendinių poveikis per subjektyvaus saugumo veiksni dažniausiai nevertinamas, be to, esamos prognozavimo metodikos daugiausia taikomos miesto mastu ir jų tinkamumas gatvės lygmens projektams nėra pakankamai ištirtas. Dėl to trūksta metodinio pagrindo, leidžiančio, naudojant laisvai prieinamus duomenis, prognozuoti dviračių eismo srautus ir įvertinti, kaip skirtingi infrastruktūros sprendiniai veikia prognozuojamus srautus (Friel et al., 2023; Tzouras et al., 2025).

Darbo aktualumas

Dviračių eismo srautų prognozės dažniausiai grindžiamos esamais srautų matavimais, sociodemografiniais ir miesto užstatymo duomenimis (Dadashova & Griffin, 2020; Le et al., 2019; Nelson et al., 2021), o laisvai prieinamų duomenų – mikromobilumo ir motorinių transporto priemonių srautų, „Strava“ platformos bei meteorologinių rodiklių – panaudojimo galimybės iš esmės nėra iširtos. Nors analizuojama dviračių infrastruktūros sprendinių įtaka dviratininkų subjektyviam saugumui (Gössling & McRae, 2022; Muggenburg et al., 2022a; Vasilev et al., 2022), neįvertinta, kaip šis veiksnys veikia prognozuojamus dviračių eismo srautus.

Dviračių srautams prognozuoti taikomi regioniniai kelionių ar diskretinio pasirinkimo modeliai gatvės lygmens projektams nėra tinkami, nes reikalauja didelės apimties pradinų duomenų ir sudėtingų modeliavimo procedūrų. Todėl aktualios metodikos, galinčios veikti esant ribotiems duomenims. Suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikos atitinka šias sąlygas, tačiau suvestinės elgsenos metodika daugiausia taikoma miesto mastu (Chen et al., 2017; Dadashova et al., 2020; Hankey & Lindsey, 2016; Nelson et al., 2021), o eskizinio planavimo metodikos prognozavimo tikslumas nėra įvertintas (Krizek et al., 2006). Dėl to trūksta metodinio pagrindo, leidžiančio, naudojant laisvai prieinamus duomenis, prognozuoti dviračių eismo srautus gatvės lygmenyje ir įvertinti infrastruktūros sprendinių poveikį prognozuojamiems srautams.

Tyrimo objektas

Darbo tyrimo objektas – dviračių infrastruktūros sprendinių poveikis subjektyviam saugumo jausmui ir dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų taikymas miesto gatvėse.

Darbo tikslas

Disertacijos darbo tikslas – nustatyti suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikų tikslumą prognozuojant dviračių eismo srautus miesto gatvėse, panaudojant laisvai prieinamus duomenis bei nustatyti skirtingų dviračių infrastruktūros sprendinių įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams subjektyvios saugos atžvilgiu.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Atliktus mokslinės literatūros analizę įvertinti skirtingų dviračių infrastruktūros sprendinių įtaką subjektyviam saugumui ir identifikuoti dažniausiai taikomas miesto mastu dviračių eismo srautų prognozavimo metodikas, nustatyti naudojamus kintamuosius bei metodikų tikslumą.
2. Atliktus ekspertinę apklausą nustatyti, ar Lietuvos specialistų nuomonė dėl subjektyvios saugos dviračių infrastruktūros įrengimo atžvilgiu atitinka tarptautinių mokslinių tyrimų rezultatus.
3. Kiekybiškai nustatyti subjektyvaus saugumo įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams.
4. Atlikti dviračių eismo srautų prognozavimą, taikant suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas, naudojant laisvai prieinamus duomenis, bei įvertinti metodikų tikslumą.
5. Įvertinti dviračių srautų prognozavimo metodikų ir koregavimo koeficientų pritaikomumą gatvės lygmens dviračių infrastruktūros projektavimo srityje.

Tyrimų metodika

Darbe keliamiems uždaviniams pasiekti buvo taikyti statistinės analizės metodai, daugianarės tiesinės regresinės analizės metodai, eskizinio planavimo metodika, ekspertinė apklausa.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie statybos inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Kiekybiškai nustatyta dviračių infrastruktūros sprendinių įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams vertinant subjektyvią saugą.
2. Įrodyta, kad suvestinės elgsenos studijos metodika gali būti taikoma dviračių eismo srautams prognozuoti gatvės lygmenyje, naudojant viešai prieinamus duomenis (mikromobilumo ir motorinių transporto

priemonių eismo srautai, „Strava“ platformos duomenys, meteorologiniai duomenys).

3. Pirmą kartą įvertintas eskizinio planavimo metodikos tikslumas ir nustatyta jos taikymo sritis: metodika tinkama bendram dviračių infrastruktūros poreikio vertinimui.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Disertacijos rezultatai gali būti taikomi dviračių susisiekimo infrastruktūros planavimo ir projektavimo srityse: nustatyti saugiausi infrastruktūros sprendiniai naudotini rengiant teisės aktus ir parenkant projektinius sprendinius, o suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikos leidžia prognozuoti dviračių eismo srautus naudojant viešai prieinamus duomenis, kai matavimų nėra arba jų nepakanka. Įvertintas eskizinio planavimo metodikos tikslumas leidžia ją taikyti preliminariam srautų vertinimui planavimo pradžioje, o apskaičiuoti subjektyvaus saugumo koregavimo koeficientai suteikia galimybę tikslinti prognozes pagal projektuojamos dviračių infrastruktūros tipą.

Ginamieji teiginiai

1. Subjektyvaus saugumo koregavimo koeficientai leidžia tikslinti prognozuojamus dviračių eismo srautus pagal planuojamos infrastruktūros tipą.
2. Suvestinės elgsenos metodika leidžia pakankamai tiksliai prognozuoti dviračių eismo srautus gatvių ruožuose panaudojant viešai prieinamus duomenis.
3. Eskizinio planavimo metodika tinkama preliminariam dviračių eismo srautų vertinimui, tačiau netinkama detaliai prognozavimui.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 7 moksliniai straipsniai: trys – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Clarivate Analytics Web of Science* duomenų bazės sąrašą (Zabielaitė-Skirmantė et al., 2023; Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2023a, 2024a); vienas – recenzuojamuose tarptautinių konferencijų leidiniuose (Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2023a); trys – kituose tarptautinių ir

respublikinių konferencijų leidiniuose (Zabielaity-Skirmantė & Burinskienė, 2022, 2023b, 2024b).

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

- 25-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2022 m. kovo 25 d., Vilnius, Lietuva.
- 26-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2023 m. balandžio 14 d. Vilnius, Lietuva.
- 12-ojoje tarptautinėje konferencijoje „Aplinkos inžinerija“, 2023 m. balandžio 27–28 d., Vilnius, Lietuva.
- 2-ojoje tarptautinėje konferencijoje „Land & Property development: Innovations and transformations“, 2023 m. gegužės 25–26 d., Kijevas, Ukraina.
- 27-ojoje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“, 2024 m. balandžio 25 d., Vilnius, Lietuva.
- 3-iojoje tarptautinėje konferencijoje „Land & Property development: Innovations and transformations“, 2024 m., gegužės 23–24 d., Kijevas, Ukraina.
- 11-oje tarptautinėje konferencijoje „Technology & Engineering“, 2024 m. liepos 22–25 d., Atėnai, Graikija.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai ir bendrosios išvados, literatūros sąrašas ir autorės publikacijų disertacijos tema sąrašai. Taip pat yra trys priedai.

Darbo apimtis yra 128 puslapiai, neskaitant priedų, tekste panaudotos 29 numeruotos formulės, 30 paveikslų ir 24 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudotas 131 literatūros šaltinis.

Padėka

Nuoširdžiai dėkoju disertacijos vadovei prof. dr. Marijai Burinskienei už kryptingą vadovavimą, vertingas mokslines išvalgas, kantrybę ir nuolatinį palaikymą rengiant šią disertaciją.

Dėkoju savo šeimai – Erikai ir Vilmantui Zabielaoms bei Mariui Skirmantui – už supratimą, kantrybę ir palaikymą visu doktorantūros laikotarpiu.

Dviračių eismo srautų duomenys ir prognozavimo metodikos dviračių infrastruktūros planavimo srityje

Skyriuje supažindinama su dviračių susisiekimo infrastruktūros planavimo principais, duomenų apie dviračių eismo srautus gavimo būdais ir esamomis dviračių eismo srautų duomenų bazėmis. Atliekama dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų analizė. Identifikuojami dažniausiai naudojami duomenys dviračių eismo srautams prognozuoti. Analizuojamas skirtingų dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų tikslumas.

Skyriaus tema kartu su bendraautoriais paskelbti trys autorės straipsniai (Zabielaitė-Skirmantė et al., 2023; Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2024a, 2025).

1.1. Dviračių susisiekimo infrastruktūra

1.1.1. Dviračių susisiekimo sistemos tinklo planavimo principai

Dviračių susisiekimo sistemos tinklą sudaro įvairi kelionėms dviračiu skirta susisiekimo infrastruktūra. Tai dviračių gatvės, kuriose dviračių ir motorinių transporto priemonių eismas vyksta kartu važiuojamojoje gatvės dalyje; dviračių eismo juostos – horizontaliu ženkliniu, ant gatvės važiuojamosios dalies pažymėtos dviračių eismui skirtos juostos; dviračių takai – takai, fiziškai atskirti nuo gatvės važiuojamosios dalies; bendri pėsčiųjų dviračių takai – skirti mišriam dviračių ir pėsčiųjų eismui.

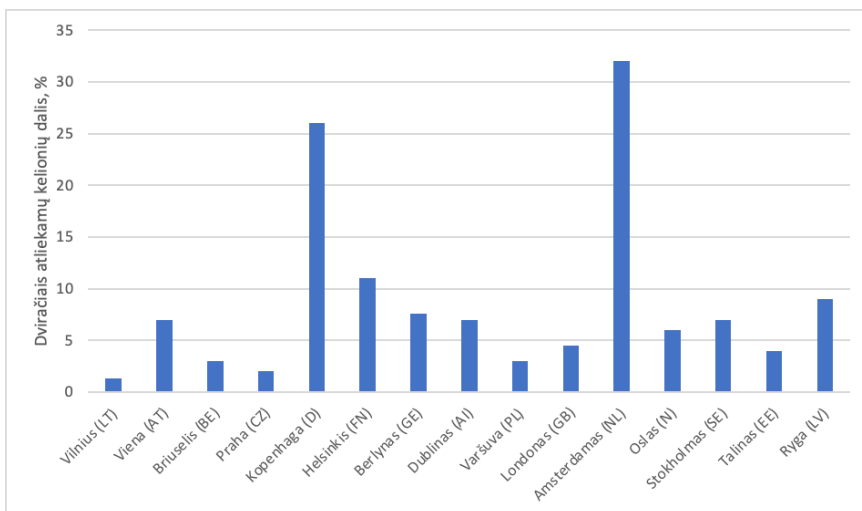
Nustatyta, jog siekiant, kad būtų naudojama sukurta dviračių susisiekimo infrastruktūra, ji turi būti planuojama vadovaujantis 5 pagrindiniais principais (CROW, 2016; Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024; Reggiani et al., 2022):

1. Vientisumo principu. Dviračių infrastruktūros tinklas turi būti vientisas, nenutrūkstantis ir integruotas į bendrą susisiekimo sistemą.
2. Tiesumo principu. Dviračių susisiekimo infrastruktūra turi jungti išvykimo ir traukos objektus trumpiausiais atstumais, turi būti vengiama papildomų apvažiavimų.
3. Saugumo principu. Dviračių susisiekimo tinkle turi būti kuriama aplinka, kurioje dviratininkai jaustųsi saugiai ir ramiai. Siekiama išvengti sąlyčio su intensyviu automobilių eismu, mažinti greičio ir motorinių transporto priemonių dydžių skirtumus, ypač sankryžose ir kitose konfliktinėse vietose. Dviračių ir kitų eismo dalyvių srautai turėtų būti aiškiai atskirti, o eismo organizavimas – nuspėjamas ir aiškus.
4. Patogumo principu. Dviračių infrastruktūros danga turi būti lygi, tenkinti techninių parametrų reikalavimus bei užtikrinti sklandų važiavimą ir projekcinio greičio išlaikymą.
5. Patrauklumo principu. Dviračių infrastruktūra turi būti saugi ir jauki, integruota į kraštovaizdį, atokiau nuo taršos bei triukšmo šaltinių, gerai prižiūrima ir apšviesta.

Dviračių susisiekimo infrastruktūra gali tapti tvaria ir integralia miesto transporto sistemos dalimi tik tuomet, kai ji yra orientuota į dviratininkų poreikius – užtikrina saugumą, patogumą ir konkurencingumą kitų transporto rūšių atžvilgiu (CROW, 2016).

Vienas iš pagrindinių rodiklių, nurodančių, kad dviračių susisiekimo infrastruktūra tenkina gyventojų poreikius – didėjanti dviračiais atliekamų kasdieninių kelionių dalis, dar vadinama modaliniu kelionių pasidalijimu (angl. *modal split*) (CROW, 2016). Modalinis kelionių pasidalijimas – procentais išreikštas, apibrėžtoje teritorijoje atliekamų visų kelionių per parą skaičius pagal pasirinktą kelionės būdą (pėsčiomis, bevarikliu transportu, viešuoju transportu, individualiu transportu) (Vilniaus miesto savivaldybė, 2018). Šis rodiklis suteikia įžvalgų apie miesto transporto sistemos efektyvumą ir tvarumą. Už motorinių transporto priemonių dalį didesnė nemotorinio ir viešojo transporto priemonių dalis rodo tvaresnį judumą mieste (Flaes et al., 2016).

Kiekvienas miestas turi savitą modalinį pasidalijimą, kuris atskleidžia miesto teikiamus prioritetus atskiroms transporto rūšims. Iš 1.1 pav. matyti, kad daugumoje Europos šalių sostinių dviračiais atliekamų kasdieninių kelionių dalis nesiekia net 10 % ir tik keliose miestuose viršijami 25 %. Tai rodo, jog daugelyje Europos šalių sostinių nėra užtikrinami gyventojų poreikiai, keliami dviračių susisiekimo infrastruktūros tinklui.



1.1 pav. Dviračiais atliekamų kelionių dalis kai kurių Europos šalių sostinėse (sudaryta autorės)

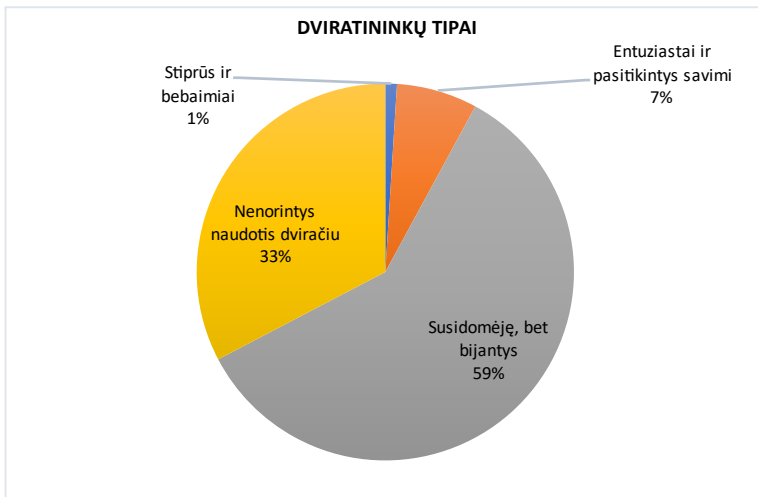
Fig. 1.1. Share of trips made by bicycle in European capitals (compiled by author)

Dauguma pasaulio šalių investuoja į dviračių infrastruktūros plėtrą, taip siekdamos sumažinti automobilių eismo srautus, prisidėti prie taršos mažinimo ir užtikrinti darnią miesto plėtrą. Tačiau vien tik dviračių susisiekimo infrastruktūros įrengimas neužtikrina didesnių dviračių eismo srautų. Lietuvoje, Vilniuje, buvo

atliktas tyrimas, kuriame analizuotas gyventojų naudojimas dviračiu po dviračių susisiekimo infrastruktūros įrengimo gyvenamajame kvartale. Tyrimo rezultatai parodė, kad nors kvartale buvo įrengta dviračių infrastruktūra, kasdieninių kelionių, atliekamų dviračiais, skaičius nepadidėjo (Zabielaitė-Skirmantė et al., 2023). Nustatyta, kad dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmas yra vienas iš esminių faktorių, lemiančių žmogaus pasirinkimą atlikti kelionę dviračiu (Friel et al., 2023). Subjektyvus saugumas apibūdinamas kaip suvokimas ir jausmas, kad individas yra saugus, nepaisant objektyvios grėsmės. Saugumo jausmo nebuvimas, kaip pagrindinė nesinaudojimo dviračiu priežastis, įvardijamas ir Vilniuje (Juškevičius & Valeika, 2020; Vilniaus miesto savivaldybė, 2018). Saugumo principų užtikrinimas yra reglamentuojamas ir dviračių infrastruktūros projektavimo taisyklėse. Tačiau saugumo principų užtikrinimas neapsiriboja vien tik eismo įvykių tarp motorinių transporto priemonių ir dviratininkų nebuvimu. Turi būti užtikrinamas ir dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmas, tai yra jausmas, kurį dviratininkai patiria naudodamiesi įrengta infrastruktūra.

Subjektyvaus saugumo jausmas skiriasi priklausomai nuo dviratininkų sociodemografinių charakteristikų, tokių kaip lytis (moteris dažniau jaučiasi nesaugiai) ar amžius (vyresnio amžiaus žmonės dažniau jaučiasi nesaugūs) (Müggenburg et al., 2022b). Suvokiamo saugumo jausmui įtakos turi dviratininko patirtis bei įgūdžiai – kuo daugiau naudojama dviračiu, tuo suvokiamo saugumo jausmas yra didesnis (Müggenburg et al., 2022b).

Geller (2006) atliko tyrimą Portlande siekdamas miesto gyventojus suskirstyti į keturias grupes pagal jų požiūrį į dviračių infrastruktūros saugumą. Skirstymas pateiktas 1.2 pav.



1.2 pav. Miesto gyventojų skirstymas į dviratininkų grupes (sudaryta autorės)
Fig. 1.2. Division of the city's population into cyclist groups (compiled by author)

Iš 1.2 pav. matyti, kad iki 1 % visų miesto gyventojų sudarė „stiprūs ir bebaimiai“ dviratininkai. Tai dviratininkai, kurie naudojami dviračiu kasdien, jiems nesvarbu, ar yra tik dviračiams skirta infrastruktūra, ir jie gali važiuoti dviračiu įvairiomis eismo sąlygomis. Iki 7 % visų miesto gyventojų sudarė „entuziastai ir pasitikintys savimi“ – dviratininkai, kurie pradėjo važinėti dviračiu dėl įrengtos dviračių susisiekimo infrastruktūros, jie pasitiki savo jėgomis, jaučiasi saugiai važiuodami dviračių eismo juostomis. Iki 60 % gyventojų patenka į „susidomėjusių, bet bijančių“ dviratininkų grupę – tai žmonės, kurie norėtų važinėti dviračiu, bet bijo. Jie dažniausia atlieka keliones dviračiu tik rekreaciniais tikslais ir tik tam skirta infrastruktūra (t. y. dviračių takais). Jie nesirenka atlikti kelionių magistralinėmis dviračių trasomis, kur yra dideli dviratininkų eismo srautai, ar gatvėmis, kuriose numatytas bendras transporto priemonių ir dviračių eismas. Apie 33 % gyventojų patenka į „nenorinčių naudotis dviračiu“ kategoriją – tai žmonės, kuriems važiavimas dviračiu yra neįdomus, jie to daryti nenori ir neplanuoja. Cabral ir Kim (2020), Geller (2006) sukurtos metodikos pagrindu dviratininkus susiskirstė į 3 kategorijas, tačiau taip pat didžiąją dalį gyventojų (70,3 %) sudarė žmonės, kurie dviračių infrastruktūra naudojami tik rekreaciniais tikslais – „susidomėję, bet bijantys“. Vilniaus miesto savivaldybė (2018) nustatė, kad iš apklausoje dalyvavusių 3227 respondentų 35,7 % nevažinėja dviračiu, bet norėtų.

Didžioji dalis miestų gyventojų yra priskiriami dviratininkų kategorijai, kurie norėtų važiuoti dviračiu, bet bijo, vadinasi, nėra užtikrinti jų subjektyvaus saugumo poreikiai. Taip pat tyrimai rodo, kad neturint važiavimo dviračiu įgūdžių dviratininkų prioritetą yra teikiamas fiziškai atskirtai dviračių infrastruktūrai, o didėjant įgūdžiams šis atstumas gali mažėti arba jo gali nelikti. Tam, kad planuojama infrastruktūra tenkintų dviratininkų subjektyvaus saugumo poreikius, turi būti identifikuota, kokią infrastruktūrą dviratininkai suvokia kaip saugią.

1.1.2. Saugi dviračių susisiekimo infrastruktūra

Saugumo jausmas yra esminis žmonių poreikis, leidžiantis jiems patogiau, laisviau ir efektyviau veikti savo vietinėje aplinkoje (Gehl, 2010). Saugumo jausmas – tai individualus suvokimas, ar asmuo jaučiasi saugus, remiantis savo patirtimi, įsitikinimais ir aplinka (Vilniaus miesto savivaldybė, 2022). Asmuo gali jaustis nesaugiai, net jei nėra jokios realios grėsmės, ir atvirkščiai, jaustis saugiai ir esant pavojui. Taigi, priklausomai nuo subjektyvaus saugumo, du žmonės gali jaustis skirtingai toje pačioje situacijoje (Janušauskienė et al., 2017).

Tokias pačias saugumo sąlygas jaučia ir dviratininkai – jei dviratininkas nesijaučia saugiai naudodamasis infrastruktūra, jis nesirenka kelionių atlikti dviračiu. Subjektyvi sauga yra esminė infrastruktūros projektavimo sąlyga, kuri

nulemia jos patrauklumą naujiems, aktyviems transporto naudotojams (Gössling & McRae, 2022). Subjektyvaus saugumo jausmas lemia transporto priemonės pasirinkimą (Friel et al., 2023). Didelis transporto priemonių eismo intensyvumas, konfliktinės situacijos tarp dviratininkų ir automobilių vairuotojų bei leidžiamoji važiavimo greičio viršijimas mažina dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmą (Müggenburg et al., 2022b). Norint padidinti gyventojų, atliekančių kasdienes keliones dviračiu, skaičių, būtina nustatyti, kokia infrastruktūra yra suvokiama kaip saugi dviratininkams (Fitch et al., 2022).

1.1 lentelėje pateikti mokslinių tyrimų, nagrinėjančių dviračių infrastruktūros subjektyvų saugumą dviratininkų atžvilgiu, rezultatai.

1.1 lentelė. Dviratininkų subjektyvus saugumas įvairiuose dviračių infrastruktūros variantuose (sudaryta autorės)

Table 1.1. Cyclists' perceived safety in various bicycle infrastructure options (compiled by the author)

Autorius, šalis	Rezultatai	Saugumo vertinimas
1	2	3
Vasilev et al. (2022) Norvegija	Dviračių juosta (juoda) – 3,9 Per gatvės bortą pakelta dviračių juosta (daniškas principas) – 4,44 Dviračių juosta (raudona) – 4,94 Dviračių juosta, atskirta plačiu ženkliniu ir stulpeliais – 5,67 Dvipusio eismo dviračių juosta, atskirta plačiu ženkliniu ir stulpeliais – 5,73 Dvipusio eismo dviračių juosta, atskirta želdinių blokais – 7,41 Dvipusio eismo dviračių juosta, atskirta betoniniu atitvaru – 8	Balai nuo 1 iki 10
Rivera Olsson & Elldér (2023) Švedija	Eismas bendrame sraute – 2,08 Dviračių gatvė pažymėta kelio ženklu – 2,05 Dviračių gatvėje pažymėtos rekomendacinės punktyrinės linijos – 2,01 Dviračių gatvė su dviračių juostomis, vizualiai išsiskiriančiomis iš asfalto dangos – 2,36 Dviračių gatvė su pažymėtomis raudonos spalvos dviračių juostomis – 2,30	Balai nuo 1 iki 4

1.1 lentelės pabaiga

1	2	3
Gössling & McRae (2022) Vokietija	Eismas bendrame sraute – 14 % Dviračių juosta pažymėta punktyrine linija – 62% Dviračių juosta su pažymėta apsaugos zona – 72 % Dviračių juosta su ištisine linija – 77 % Dviračių juosta su fiziniais atskyrimais (gėlių vazonais, stulpeliais) – 91 %.	Variantai: saugu, iš dalies saugu, iš dalies nesaugu, nesaugu
Guo et al. (2023) Jungtinės Amerikos Valstijos	Eismas bendrame sraute – 2,17 Dviračių juosta atskirta ištisine linija – 3,96 Dviračių juosta atskirta stulpeliais – 4,43	Balai nuo 1 iki 5
von Stülpnagel & Rintelen (2024) Vokietija	Eismas bendrame sraute – 7 % Dviračių gatvė su apie tai informuojančiu ženklu ant važiuojamosios dalies – 11 % Dviračių gatvė su rekomendacinėmis juostomis – 7 % Dviračių juosta (2,0 m pločio) – 23 % Dviračių juosta (3,5 m pločio) – 39 % Dviračių juosta su fiziniais atskyrimais – 60 % Dviračių takas viename lygyje su pėsčiųjų taku – 50 % Dviračių takas nuo pėsčiųjų tako atskirtas per bortelį – 57 % Dviračių takas fiziškai (veja) atskirtas nuo pėsčiųjų tako – 68 %	Variantai: saugu, iš dalies saugu, iš dalies nesaugu, nesaugu
Stoll et al. (2024) Šveicarija	Dviračių juosta pažymėta punktyrine linija – 4,68 Dviračių juosta pažymėta ištisine linija – 4,89 Dviračių juosta su reljefiniais iškilimais – 5,18 Dviračių juosta su fiziniais atskyrimais – 5,00	Balai nuo 1 iki 6

Iš 1.1 lentelės duomenų matyti, kad dviratininkų subjektyviam saugumui įvertinti dažniausiai naudojama balų arba intervalų sistema, kurioje sutartiniai balai atitinka didžiausią ir mažiausią užtikrinamą saugumo jausmą. Duomenims surinkti dažniausiai pasitelkiama apklausų metodika. Išanalizavus 1.1 lentelėje pateiktų autorių tyrimų rezultatus matyti, kad dažniausiai analizuojamas vienas dviračių infrastruktūros tipas ir galimi jo įrengimo variantai – dviračių gatvės, dviračių juostos, dviračių takai. Tačiau tokia analizė nesuteikia išsamių žinių, kaip infrastruktūros įrengimo tipai užtikrina subjektyvų saugumą vienas kito atžvilgiu. Tačiau von Stülpnagel ir Rintelen (2024) tyrimo metu analizavo visus dviračių infrastruktūros tipus (dviračių gatves, dviračių juostas ir dviračių takus) ir dažniausiai naudojamus jų įrengimo variantus. Šio tyrimo rezultatai leidžia

vertinti, kaip saugumo jausmas kinta priklausomai nuo skirtingų infrastruktūros tipų. Apibendrinus 1.1 lentelėje pateiktų visų autorių tyrimų rezultatus matyti, kad subjektyvaus saugumo jausmą labiausiai lemia vizualinis ir fizinis atskyrimas nuo kitų eismo dalyvių (automobilių ir pėsčiųjų) – t. y. saugumo įvertinimo rezultatai didėja, kai vizualiai keičiasi eismo sąlygos arba didėja atstumas tarp atskirų eismo dalyvių grupių.

Atsižvelgiant į rezultatus galima išskirti dviratininkų atžvilgiu saugiausius dviračių infrastruktūros sprendinius:

- dviračių gatvė, kuri vizualiai išsiskiria iš įprastam eismui skirtų gatvių (Baert & Caers, 2021; Jørgensen, 2020);
- dviračių juosta, fiziškai atskirta nuo važiuojamosios dalies (Mertens et al., 2016);
- dviračių takas, fiziškai atskirtas nuo pėsčiųjų tako (Boufous et al., 2018; Clark et al., 2019; Nazemi et al., 2021; Sanders, 2016).

Bendri pėsčiųjų ir dviračių takai prie saugiausių infrastruktūros sprendinių nėra priskiriami, nes pėstieji ir dviratininkai nėra atskiriami nei vizualiai, nei fiziškai.

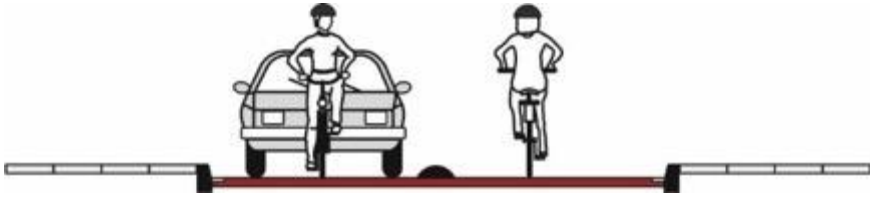
Infrastruktūros pertvarkymas yra tinkama priemonė siekiant užtikrinti dviratininkų subjektyvų saugumą ir siekiant padidinti važiavimo dviračiu, kaip transporto rūšimi, patrauklumą (Rivera Olsson & Elldér, 2023). Todėl skirtingi dviračių infrastruktūros variantai ir jų teikiamas subjektyvaus saugumo jausmas gali daryti tiesioginę įtaką dviračių eismo srautams.

1.1.3. Dviračių infrastruktūros tipo parinkimo principai

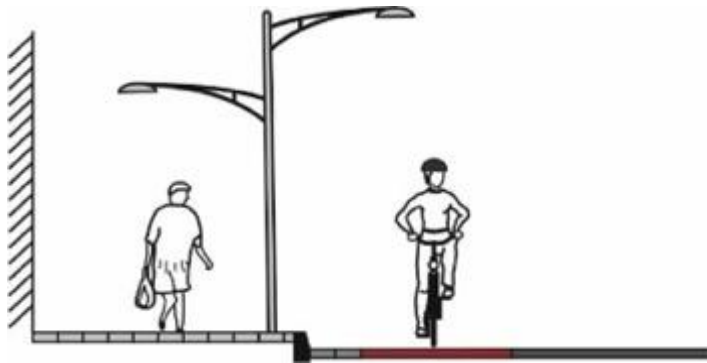
Daugelis Europos miestų turi pasirengę darnaus judumo planus ar specialiuosius dviračių susisiekimo tinklo planus. Šiuose planuose yra pateiktas suplanuotas miesto dviračių susisiekimo infrastruktūros tinklas. Vadovaujantis sudarytu tinklu, palaipsniui yra įrengiama dviračių infrastruktūra.

Susisiekimui dviračiais užtikrinti naudojami šie pagrindiniai infrastruktūros tipai:

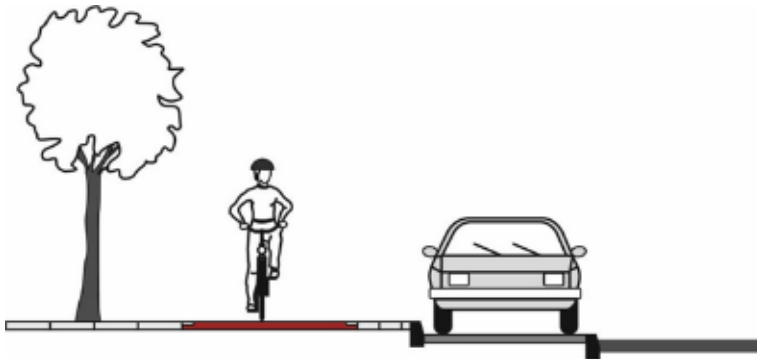
1. Dviračių gatvė – ji skirta ne motorinių ir motorinių transporto priemonių (mišriam) eismui (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2002) (žr. 1.3 pav.).
2. Dviračių juosta – gatvės važiuojamojoje dalyje pažymėta eismo juosta, skirta dviračių eismui (žr. 1.4 pav.).
3. Dviračių takas – fiziškai nuo važiuojamosios dalies atskirtas takas, skirtas tik dviračių eismui (žr. 1.5 pav.).



1.3 pav. Dviračių gatvės schema (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)
Fig. 1.3. Bicycle street scheme (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)



1.4 pav. Dviračių juostos schema (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)
Fig. 1.4. Bicycle lane scheme (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)



1.5 pav. Dviračių tako schema (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)
Fig. 1.5. Bicycle path scheme (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)

Šiuo metu projektuojant dviračių susisiekimo infrastruktūrą rečiausiai taikomas bendro pėsčiųjų ir dviračių tako sprendinys, nors tiek Statybos techninis reglamentas (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024), tiek Lietuvoje

galiojančios Dviračių ir pėsčiųjų eismo infrastruktūros planavimo ir projektavimo taisyklės (Taisyklės) numato šio sprendinio panaudojimo galimybes su tam tikromis sąlygomis. Taisyklės nurodo, kad bendras pėsčiųjų dviračių takas gali būti naudojamas tik esant vietos trūkumui, atskirai pėsčiųjų ir atskirai dviračių infrastruktūrai įrengti bei kai dviračių ir pėsčiųjų eismo intensyvumas yra mažas. Bendras pėsčiųjų dviračių takas gali būti naudojamas tada, kaip pėsčiųjų eismo srautas nesiekia 300 pėsč./h, o dviračių eismo intensyvumas 100 dv./h (priklausomai nuo intensyvumo parenkamas tako plotis).

Dviračių infrastruktūros tipas yra parenkamas atsižvelgiant į planavimo dokumentuose nurodytą dviračių trasos kategoriją – magistralinę, pagalbines arba vietinę.

Magistralinės dviračių trasos yra skirtos ryšiams tarp miesto centro ir pagrindinių traukos zonų (gyvenamųjų rajonų, didžiausių darbo ar mokymosi vietų) užtikrinti, todėl atlieka tranzitinę funkciją. Trasos skirtos dideliame dviračių eismo sraute greitai ir patogiai nukeliauti ilgas distancijas miesto viduje, todėl jos turi turėti kuo mažesnę sąlytį su kitais eismo dalyviais. Projektinis dviračių eismo greitis siekia 30 km/h (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Rajoninės dviračių trasos yra skirtos miesto gyvenamųjų rajonų ryšiams su darbo, mokymosi, poilsio ir lokaliomis rekreacinėmis vietomis užtikrinti. Jos atlieka skirstomąją funkciją ir užtikrina ryšius su magistralinėmis ir pagalbėmis dviračių trasomis. Projektinis dviračių eismo greitis – 30 km/h (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Pagalbinės dviračių trasos yra skirtos ryšiams nuo pradinio iki galutinio kelionės taško užtikrinti bei ryšiams su rajoninėmis ir regioninėmis trasomis užtikrinti. Šios trasos atlieka privažiuojamąją funkciją, dažniausiai sutampa su esamomis pagalbėmis gatvėmis, kiemais, aikštėmis, skverais, tačiau gali būti planuojamos ir atskiros. Projektinis dviračių eismo greitis – 20 km/h (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Nustačius trasos kategoriją, pagal galiojančius statybos techninius reglamentus yra pasirenkamas dviračių infrastruktūros tipas.

Pagal Taisyklės dviračių infrastruktūros tipas yra parenkamas atsižvelgiant į planuojamos infrastruktūros kategoriją, projektinį motorinių transporto priemonių greitį gatvėje bei motorinių transporto priemonių eismo srautą per valandą (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024).

Lietuvoje dviračių gatvės sprendinys gali būti numatomas, kai motorinių transporto priemonių greitis nesiekia 30 km/h, o motorinių transporto priemonių srautas yra mažas (iki 400 tr. pr./h). Dviračių juostos gali būti įrengiamos, kai greitis gatvėje nesiekia 30 km/h, o motorinių transporto priemonių eismo srautas yra didesnis, nei reikalaujama taikyti dviračių gatvėse. Tačiau dviračių juostos gali būti numatomos ir esant 50 km/h leidžiamajam motorinių transporto priemonių greičiui, dviejų eismo juostų gatvėse, kuriose motorinių transporto

priemonių eismo srautas siekia iki 600 tr. pr./h. Visais kitais greičio ir motorinių transporto priemonių eismo srauto intensyvumo atvejais yra numatomi dviračių takai.

Dviračių gatvės plotis yra parenkamas pagal esamą eismo organizavimą gatvėje: jei gatvė yra vienpusio eismo – įrengiama 3,5 m pločio dviračių gatvė, jei dvipusio – 5,5 m pločio. Dviračių juostos plotis yra standartinis – 1,85 m ir nepriklauso nuo numatomo dviračių eismo srauto. Tačiau dviračių takų pločio parametrai yra parenkami atsižvelgiant į planuojamą dviračių eismo intensyvumą per valandą (1.2 lentelė) ir gali kisti nuo 2,5 m pločio iki 4,0 m ar didesnio pločio. Todėl, norint parinkti tinkamų parametų infrastruktūrą, reikia įvertinti numatomus dviračių eismo srautus planuojamoje dviračių trasoje.

1.2 lentelė. Dviračių tako plotis (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)
Table 1.2. Bicycle path width (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024)

Vienpusio eismo dviračių takas		Dvipusio eismo dviračių takas	
Perspektyvinis (planuojamas) eismo intensyvumas dvir./h	Minimalus tako plotis, m	Perspektyvinis (planuojamas) eismo intensyvumas dvir./h	Minimalus tako plotis m
<150	2,0 (1,6)	<50	2,5 (2,0)
150–750	2,5	50–150	3,5
>750	3,5	150–350	3,5–4,0
		>350	≥4,0

Taisyklėse nurodoma, kad, planuojant dviračių susisiekimo infrastruktūrą, renkantis tarp skirtingų infrastruktūros tipų, prioritetą turi būti teikiamas saugiausiam infrastruktūros variantui. Taip pat, planuojant dviračių juostas ar dviračių gatves, turi būti tenkinamos papildomos sąlygos dėl atskirai įrengtų pėsčiųjų šaligatvių, intensyvaus viešojo transporto eismo kursavimo, specifinio stovėjimo vietų įrengimo. Todėl šių sąlygų įgyvendinimas reikalauja papildomų investicijų. Atitinkamai Taisyklėse nurodoma, kad kuo intensyvesnis dviračių eismas, tuo didesnis prioritetas (parenkant trasos tipą) turi būti teikiamas dviračių takui, tačiau nėra nurodoma, koks dviračių eismo intensyvumas yra suprantamas kaip intensyvus.

Atsižvelgiant į Taisyklių nuostatas, matyti, kad dviračių takas yra laikomas saugiausiu sprendiniu ir mažiausiai papildomų įrengimo sąlygų reikalaujančia infrastruktūros forma (lyginant su kitais infrastruktūros tipais). Jo projektavimas pirmiausia siejamas su prognozuojamu eismo intensyvumu, todėl ypač svarbu tinkamai įvertinti prognozuojamus dviračių eismo srautus.

1.2. Dviračių eismo srautų duomenys

Dviračių eismo srautų duomenys yra būtini planuojant efektyvią ir saugią dviračių susisiekimo infrastruktūrą. Įvertinus faktinius ar prognozuojamus dviračių eismo srautus, galima priimti tinkamiausius inžinerinius sprendinius, įvertinti infrastruktūros pralaidumą, eismo saugumą bei ekonominį projekto naudingumą (Johnstone et al., 2017). Tokie duomenys tampa neatsiejama miesto mobilumo planavimo, transporto sistemų modeliavimo bei poveikio aplinkai vertinimo dalimi.

Vis dėlto tiek mokslininkai, tiek miesto planuotojai dažnai susiduria su šių duomenų prieinamumo ir kokybės problema. Nors daugelis miestų deklaruoja renkantis informaciją apie dviračių srautus, šie duomenys dažnai nėra viešai prieinami arba pateikiami tokia forma, kuri neleidžia jų tiesiogiai naudoti analizėje ar prognozėse. Dažnu atveju duomenys nėra kaupiami centralizuotose, atviraai prieinamose duomenų bazėse, o jų rinkimo metodai bei struktūra – fragmentiški ir nesuderinti.

Tradiciskai dviračių srautų duomenys yra renkami atliekant natūrinius tyrimus, naudojant įvairius techninius prietaisus, tačiau pastaraisiais metais vis daugiau dėmesio sulaukia alternatyvūs duomenų šaltiniai – fizinio aktyvumo mobiliosios programėlės, mobiliųjų operatorių duomenys ar iš GPS įrenginių surinkti duomenys. Šie šaltiniai atveria naujas galimybes gauti išsamesnius ir tikslesnius duomenis, taip pat leidžia juos integruoti į pažangius modeliavimo sprendimus.

1.2.1. Dviračių eismo srautų duomenų bazės

Daugelis mokslinių tyrimų apie dviračių srautų prognozavimą nurodo duomenų apie dviračių eismo srautus trūkumą. Vis dėlto duomenys apie dviračių eismo srautus yra renkami, tik ne visada jie yra tokios kokybės ar tokios apimties, kuri galėtų būti tinkama planuojant dviračių susisiekimo infrastruktūrą ar gerinant jos eismo saugumo sąlygas (Medeiros et al., 2022; Vierø et al., 2024).

Lietuvoje, Vilniuje, 2018 m. buvo įrengtos 3 dviračių švieslentės, kurios fiksavo dviračius, pravažiuojančius per dviračių susisiekimui skirtą infrastruktūrą (Lietuvos rytas, 2018). Duomenys apie dviračių eismo srautus buvo kaupiami, tačiau nebuvo viešai prieinami. Duomenys buvo grupuojami pagal mėnesinį dviratinių srautą įrengtoje vietoje. Tokia dviračius skaičiuojanti švieslentė 2021 m. veikė ir Klaipėdoje, tačiau jos surinkti duomenys nebuvo atviri visuomenei. Kai duomenų apie dviračių eismo srautus rinkimas mieste apima tik kelias vietas, tokie duomenys yra nereprezentatyvūs. Jais naudojantis negalima prognozuoti dviračių srautų kitose miesto vietose.



1.6 pav. Dviračių švieslentės Vilniuje, T. Narbuto g. (autorės nuotrauka)

Fig. 1.6. Bicycle counters in Vilnius, T. Narbuto St. (author's photo)

Dviračių eismo srautai yra matuojami ir pasitelkiant vaizdo stebėjimo kameras. Vykdam Olandijos miestų savivaldybių apklausą buvo nustatyta, kad dviračių eismo srautai yra matuojami naudojant šviesoforinėse sankryžose įmontuotas vaizdo stebėjimo kamera. Kameros turi dviračių eismo srautų fiksavimo funkciją. Tačiau šie surinkti duomenys Olandijos atveju nebuvo naudojami naujos dviračių infrastruktūros plėtrai, o pasitelkiami tik esamoms dviračių eismo sąlygoms gerinti (Reggiani et al., 2022).

Dviračių švieslenčių ar skaičiuoklių naudojimas yra vienas iš populiariausių būdų dviračių eismo srautams fiksuoti. Belgijoje, Briuselyje, įvairiose miesto vietose yra įrengta 15 dviračių skaičiuoklių, o duomenys apie kiekvienos dienos dviračių eismo srautus yra pateikiami laisvai prieinamoje duomenų bazėje (*Belgian Mobility Dashboard*, 2024). Tačiau iš duomenų bazės negalima matyti valandinių dviračių eismo pasiskirstymo, todėl tokie duomenys galėtų būti panaudojami tik vidutiniam metiniam paros dviračių eismo srauto prognozavimui.

Tačiau yra miestų, kurių duomenų apie dviračių eismo srautus bazės yra labai išsamios. Australijoje, Perto ir Baseltone miestuose, iš viso įrengtos 72 dviračių skaičiuoklės. Atviroje duomenų bazėje galima matyti dviračių srautų pasiskirstymą ne tik savaitės dienomis, bet ir valandomis (*Main Roads Western Australia*, 2024). Škotijoje yra įrengta daugiau nei 100 automatinė dviračių skaičiuoklių, kurios sumontuotas važiuojamojoje dalyje, todėl matuokliai iš karto

gali nustatyti transporto priemonių, dviračių ir pėsčiųjų srautus. Taip pat šalyje papildomai vykdomi trumpos trukmės eismo srautų tyrimai, kurių duomenų bazės yra atviros visuomenei (UrbanTide, 2025). Jungtinėse Amerikos Valstijose, Vašingtone, duomenys iš daugiau nei 150 stacionarių ir laikinų dviračių srautų matuoklių taip pat reprezentuojami duomenų bazėje (BikePed Portal, 2025). Pateikiami valandiniai, savaitės dienos, mėnesių ir metų duomenys. Prancūzijoje, Paryžiuje, įrengta 141 dviračių skaičiuoklė, dviračių eismo srautų dienos, savaitės, mėnesių ir metų duomenys yra atviri, tačiau pati platforma nėra labai patogi vartotojui (Comptage Vélo – Données Compteurs, 2025).

Planuojant dviračių susisiekimo infrastruktūrą, yra būtini duomenys apie dviračių eismo srautus, tačiau, nepaisant to, kad jie yra renkami, jų kokybė nėra pakankama sprendimams pagrįsti. Taip pat duomenų apie dviračių eismo srautus bazių kūrimas reikalauja tiek papildomų išlaidų, tiek papildomų žmoniškųjų resursų iš savivaldybių, kurių biudžetas dviračių susisiekimo infrastruktūros plėtrai dažniausiai būda ribotas ir neprioritetinis kitų susisiekimo rūšių atžvilgiu. Todėl dažniausiai dviračių susisiekimo infrastruktūra yra projektuojama neatsižvelgiant į prognozuojamus dviračių eismo srautus ir yra parenkami standartiniai sprendimai, kurie neužtikrina dviratininkų subjektyvaus saugumo poreikių. Todėl miesto dviračių infrastruktūros tinklas plečiasi, tačiau dviračiais atliekamų kelionių dalis išlieka nepakitusi.

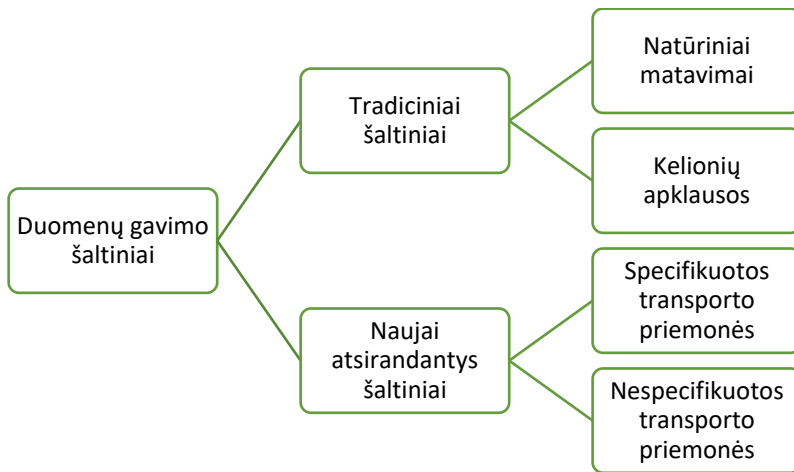
1.2.2. Duomenų apie dviračių eismo srautus rinkimo būdai

Lee ir Sener (2020) duomenų apie dviračių eismo srautus gavimo šaltinius skirstė į 2 pagrindines kategorijas – tradiciniai duomenų šaltiniai ir naujai atsirandantys duomenų šaltiniai. Tradiciniams duomenų gavimo šaltiniams yra priskiriamas natūrinis dviračių srautų matavimas bei kelionių apklausos. Naujai atsirandantiems duomenų šaltiniams priskiriami duomenys apie dviračių srautus, jie gaunami iš bazių, kuriose arba specifikuojama, arba nespecifikuojama, kokia transporto priemone atliekama kelionė.

Natūriniai dviračių srauto matavimai – tai yra tiesioginis dviračių skaičiavimo metodas, kuris taikomas atliekant tiesioginius matavimus arba įrengiant fizinius jutiklius nagrinėjamoje vietoje.

Natūriniai dviračių srautų matavimai, nepaisant technologijų pažangos, yra plačiai naudojami, ypač mažesnėse bendruomenėse arba tyrimuose, kuriais siekiama surinkti detalesnius duomenis apie dviratininkus (Ray et al., 2020). Šis duomenų gavimo būdas yra pasirenkamas ir tada, kai dėl techninių galimybių nagrinėjamoje vietoje nėra įmanoma įrengti dviračių skaičiavimo jutiklių. Metodas pasitelkiamas, kai norima užfiksuoti tiksliai detales apie pravažiuojančius dviratininkus – lytis, šalmo dėvėjimas, dviračio tipas, eismo taisyklių laikymasis. Taip pat natūrinis dviračių srauto matavimas yra sąlygiškai pats

pigiausias būdas rinkti duomenis apie dviračių eismo srautus, nes jam nereikia įrangos, o pravažiuojančius dviratininkus fiksuoja tyrėjai užrašuose. Tačiau atliekant natūrinius dviračių srauto matavimus dažnai susiduriama su paklaidomis dėl stebėtojų nuovargio, dėmesio trūkumo ar aplinkos trukdžių. Skaičiavimo paklaida gali svyruoti nuo 30 % iki 50 % (Johnstone et al., 2018). Natūriniai dviračių srauto skaičiavimai paprastai atliekami ribotą laiką (piko valandomis), todėl surinkti duomenys neatspindi visų dienos, savaitės ar metų dviračių eismo svyravimų (Ryus et al., 2014). Ilgalaikėms tendencijoms fiksuoti reikia pakartotinių tyrimų arba papildomų metodų.



1.7 pav. Duomenų apie dviračių eismo srautus gavimo šaltinių kategorijos (sudaryta autorės)

Fig. 1.7. Categories of sources for obtaining data on bicycle traffic flows (compiled by the author)

Natūriniai dviračių srautų matavimai, pasitelkiant jutiklius, yra tikslūs ir objektyvūs, todėl yra dažnai naudojami praktikoje (Ryus et al., 2014). Matavimams atlikti naudojami pneumatiniai vamzdeliai, indukcinės kilpos, infraraudonųjų spindulių detektoriai, vaizdo kameros su automatinio aptikimo funkcija. Daugeliu atvejų šie jutikliai gali skaičiuoti ne tik bendrą pravažiuojančių dviratininkų skaičių, fiksuoti važiavimo kryptį, bet ir atskirti dviračius nuo kitų transporto priemonių ar pėsčiųjų (Markevicius et al., 2016; Proulx et al., 2016). Vienas iš didžiausių jutiklių naudojimo privalumų yra jų automatizavimo galimybės. Fiziniai jutikliai gali veikti visą parą, nepertraukiamai rinkti duomenis apie dviračių eismo srautus ir generuoti didelį kiekį duomenų, kuris gali būti naudingas ilgalaikėms analizėms ir tendencijų nustatymui (Klein et al., 2006). Priklausomai nuo jutiklio tipo skiriasi jų duomenų tikslumas – pneumatinių

vamzdelių paklaida gali siekti 17 % (Proulx et al., 2016), indukcinų kilpų iki 3–4 % (Nordback et al., 2011), infraraudonųjų spindulių jutikliai iki iki 5 % (Klein et al., 2006). Atitinkamai dėl fizinių jutiklių kainos šis duomenų rinkimo būdas yra brangesnis, tačiau surinkti duomenys yra tikslesnis ir detalesni už natūrinio dviračių srauto matavimo metodą.

Dviračių eismo srautų tyrimui taikomi ir sociologiniai metodai, pvz., apklausa, kelionės dienoraščio pildymas. Miestų planuotojai dažnai atlieka dviratininkų apklausas, siekdami gauti subjektyvią informaciją apie dviratininkų patirtis, įpročius ir maršrutus. Nors šis metodas yra brangus ir imlus laikui, jis leidžia gauti kokybinius duomenis, kurie ne visada yra prieinami technologiniais metodais (R. J. Lee et al., 2016). Pasitelkiant kelionių apklausas nustatoma sąsaja tarp gyventojų naudojimosi dviračiu ir jų sociodemografinių rodiklių – amžiaus, lyties, požiūrio į dviratį (Loidl et al., 2019). Apklausų rezultatai taip pat atskleidžia pavojingas infrastruktūros tinklo vietas, kuriose nėra fiksuojami eismo įvykiai, bet dviratininkai nurodo pavojingas važiavimo sąlygas (Griswold et al., 2018). Taip pat vykdant tokias apklausa yra nustatomas miesto modalinis pasidalijimas (Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2022).

Nespecifikuotoms duomenų bazėms priskiriami mobiliųjų operatorių duomenys. Mobiliojo ryšio operatoriai teikia anoniminius duomenis apie gyventojų judėjimą, įskaitant dviratininkų maršrutus (K. Lee & Sener, 2020). Šie duomenys yra vertingi strateginiam miestų planavimui, nes leidžia matyti išvykimo bei atvykimo vietas bei bendrą srautų intensyvumą. Nors operatorių duomenys yra naudingi, jie dažniausiai neprieinami viešai ir naudojami tik specialioms projektams. Taip pat, naudojantis šiais duomenimis, transporto rūšis yra identifikuojama tik pagal judėjimo greitį, todėl norint panaudoti duomenis reikalingas papildomas duomenų apdorojimas. Xu et al. (2016) Kinijoje, Šendženo mieste, naudodami mobiliųjų operatorių duomenis, analizavo dviračių išvykimo ir atvykimo vietas ir pagal tai pasiūlė vietas, kur turėtų būti įrengtos dviračių dalijimosi stotelės.

Specifikuotoms duomenų bazėms priskiriami duomenys iš mobiliųjų programėlių ar dviračių dalijimosi platformų. Sporto ir sveikatos programėlės generuoja informaciją apie individualias dviratininkų keliones bei aktyvumą. Jos dažniausiai naudojamos sportiniams pasiekimams sekti, tačiau šie duomenys taip pat pritaikomi miestų planavimo srityje (Lee & Sener, 2020). „Strava“ – viena populiariausių mobiliųjų programėlių, naudojama sportiniams rezultatams stebėti. Ji leidžia miestų planuotojams analizuoti populiarius maršrutus, dviratininkų skaičių ir jų kelionių laiką. Dviračių dalijimosi sistemos generuoja didelius duomenų kiekius apie dviračių judėjimą miestuose (Griffin et al., 2020). Šios platformos dažnai turi įdiegtus GPS įrenginius, leidžiančius analizuoti maršrutus, naudojimo intensyvumą ir poreikius (Lee & Sener, 2020). Noland et al. (2019) naudodami duomenis iš Niujorko dviračių dalijimosi sistemos „City Bike“ tyrė,

kaip naudojimas dviračių paslaugomis susijęs su žemės naudojimo būdu, viešojo transporto sistema ir dviračių eismo juostų buvimu. Kai kurie dviračių dalijimosi paslaugas teikiantys operatoriai laisvai dalijasi duomenimis apie dviračių keliones – „Santander“ (Londonas, Anglija), „Metro Bike Share“ (Los Andželas, JAV), „Just Eat“ (Edinburgas, Škotija) (Alattar et al., 2021). Dviračių dalijimosi platformų duomenys padeda nustatyti dviračių stotelių poreikį ir optimizuoti infrastruktūros tinklą.

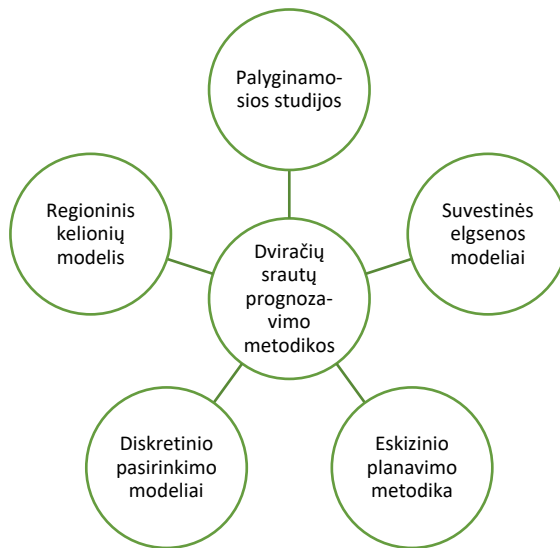
Dirbtinis intelektas (DI) ir mašininio mokymosi metodai pastaraisiais metais sparčiai transformuoja dviračių eismo srautų duomenų rinkimą ir prognozavimą. Kompiuterinė vizija (angl. *Computer Vision*), gilieji neuroniniai tinklai (angl. *Convolution Neural Networks*) bei grafų neuroniniai tinklai (angl. *Graph Neural Networks*) leidžia automatizuotai atpažinti, skaičiuoti ir sekėti dviratininkus, generuoti trajektorijų, greičio ir elgsenos duomenis, o LiDAR ir GPS pagrindu veikiantys hibridiniai sprendimai suteikia galimybę rinkti tikslius 3D parametrus ir tinklo masto informaciją (Gupta et al., 2025; Miguel et al., 2024; Nateghinia et al., 2024). DI sistemų privalumai – automatinis ir nuolatinis duomenų rinkimas, didelė tikslumo paklaida (>90 % vaizdo atpažinimo tikslumas) (Sun et al., 2022), galimybė prognozuoti dviračių srautus laiko ir erdvės dimensijose (Harrou et al., 2022; Miah et al., 2023), taip pat tinklų lygiu išplėsti stebėjimo aprėptį iš ribotų jutiklių duomenų (Kaiser et al., 2025; Kothuri et al., 2022). Tačiau tokios sistemos susiduria su iššūkiais: vaizdo sistemoms kliūna užstojimas, apšvietimo sąlygos ir nepalankus oras, LiDAR sprendiniai yra brangūs, o GPS ir kitų minėtų šaltinių duomenys gali būti netolygūs laiko ir (ar) erdvės atžvilgiu bei turėti pozicijos nustatymo netikslumų (Nateghinia et al., 2024; Yuan et al., 2023). Nepaisant to, DI metodai turi didelį potencialą dviračių srautų prognozavimui ir duomenų rinkimui: jie gali būti integruojami į miesto infrastruktūros stebėsenos sistemas, derinami su tradiciniais skaičiavimo metodais ir hibridiniais duomenų šaltiniais, taip užtikrinant patikimus, nuolatinius ir detalius duomenis, kurie padėtų priimti pagrįstus infrastruktūros planavimo sprendimus.

1.3. Dviračių srautų prognozavimo metodikos

Dviračių srautų prognozavimas nėra populiarus dėl mažo dviračių naudotojų skaičiaus ir jo įtakos visai susisiekimo sistemai (Griffin, 2009). T. y. dviračių infrastruktūros įrengimas nėra toks brangus, todėl jos ekonominis atsiperkamu- mas dažnai nėra vertinamas. Dėl šios priežasties iki šiol nėra vienos metodikos, kuria vadovaujantis būtų galima prognozuoti ar nustatyti dviračių srautus miestuose.

Skirtinguose moksliniuose šaltiniuose skirtingai grupuojamos esamos dviračių srautų prognozavimo metodikos. Miah et al. (2024) metodikas skirstė

pagal jų pobūdį ir sudėtingumą: statistiniai dviračių srautų prognozavimo metodai, pažengę statistiniai modeliai, mašininio mokymosi modeliai, faktoringų metodika. Kuzmyk et al. (2014) metodikas skirstė pagal jų pritaikymą analizuojamos teritorijos dydžiui: regioniniam planavimui, apibrėžtai teritorijai / atkarpai, naujos traukos vietos planavimui. Krizek et al. (2006) ir McDonald et al. (2007) išskyrė 5 kategorijas metodikų: palyginamosios studijos (angl. *comparison studies*), suvestinės elgsenos modeliai (angl. *aggregate behaviour models*), eskizinio planavimo metodika (angl. *sketch plan methods*), diskretinio pasirinkimo modeliai (angl. *discrete choice models*) ir regioninis kelionių modelis (angl. *regional travel models*) (žr. 1.12 pav.).



1.8 pav. Dviračių srautų prognozavimo metodikų kategorijos (sudaryta autorės pagal Krizek et al. (2006) ir McDonald et al. (2007))

Fig. 1.8. Categories of bicycle flows forecasting methodologies (compiled by the author according to Krizek et al. (2006) and McDonald et al. (2007))

Visos 1.8 pav. nurodytos metodikos skiriasi savo detalumu, tikslumu ir panaudojimo lygiais, todėl pagal pageidaujamus rezultatus, apimtį ir turimus duomenis kiekvienu atveju turi būti pasirenkama tinkamiausia metodika (Krizek et al., 2006). 1.3 lentelėje pateiktas dviračių srautų prognozavimo metodikų apibūdinimas, nurodyti privalumai ir trūkumai bei pritaikymo galimybės.

1.3 lentelė Dviračių srautų prognozavimo modelių apibūdinimai (sudaryta autorės pagal Griffin, 2009; Kuzmyk et al., 2014; McDonald et al., 2007; Shah et al., 2020)

Table 1.3. Descriptions of bicycle flows forecasting models (compiled by the author according to Griffin, 2009; Kuzmyk et al., 2014; McDonald et al., 2007; Shah et al., 2020)

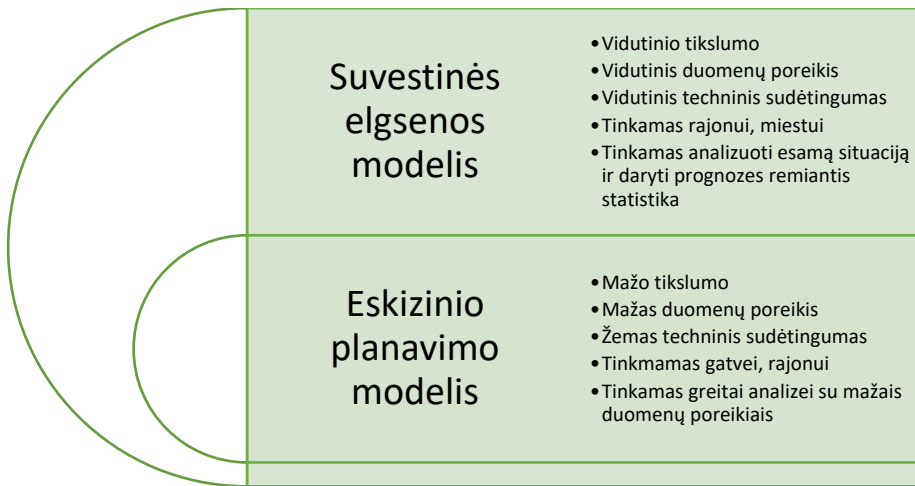
Modelis	Apibūdinimas	Privalumai / trūkumai	Tinkamas teritorinis mastelis
1	2	3	4
Palyginamosios studijos (angl. <i>comparison studies</i>)	Modeliai, kurie prognozuoja ne motorinio transporto keliones priklausomai nuo aplinkos veiksnių, gyventojų skaičiaus, žemės naudojimo būdo. Dažniausiai lyginama jau įrengta infrastruktūra (su nustatytais dviračių srautais) su planuojama įrengti panašia infrastruktūra.	Paprastas modelis. Plačiai pritaikoma. Naudojami lengvai prieinami duomenys – žemės naudojimo būdas, gyventojų skaičius, dviračių srautas (ne visada). Yra tikimybė neteisingai interpretuoti rezultatus.	Bet koks mastelis (nuo šalies iki gatvės).
Suvestinės elgsenos modeliai (angl. <i>aggregate behaviour models</i>)	Modeliai, kurie susieja nemotorizuoto transporto keliones su tiriamos aplinkos gyventojų skaičiumi, žemės naudojimo būdu ir kitomis reikšmingomis charakteristikomis, dažniausiai naudojant regresinę analizę. Nustatomas esamas dviračių srautas ir nustatomi reikšmingiausi aplinkos veiksniai. Su gautais koeficientais visame tinkle pagal aplinkos charakteristikas sumodeliuojamas dviračių srautas.	Vidutinės statistinės analizės žinios. Vidutinės apimties duomenų reikalingumas – dviračių srautai, aplinkos reikšmingumo veiksniai, gyventojų skaičius, žemės naudojimo būdas.	Vidutinės teritorijos (miestas arba rajonas).
Eskizinio planavimo modeliai (angl. <i>sketch plan models</i>)	Modeliai, kurie prognozuoja nemotorizuoto transporto eismą teritorijoje naudodamiesi paprastais skaičiavimais ir elgsenos taisyklėmis, kurie yra susiję su gyventojų elgsenos ypatumais (kelionių ilgiu, miesto modaliniu pasidalinimu, keliavimo įpročiais). Modelis nereikalauja jokių specifinių sugebėjimų, tačiau jo tikslumas nėra labai didelis.	Lengvai suprantama. Naudoja lengvai prieinamus duomenis – gyventojų skaičius, žemės naudojimo būdas, aplinkos ypatybės. Tikėtina, kad bus su didele paklaida, bet galima tobulinti modelį naudojant tiriamai aplinkai reikšmingus veiksnius.	Mažos teritorijos (rajonas ar gatvė).

1.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4
Diskretinio pasirinkimo modeliai (angl. <i>discrete choice models</i>)	Modeliai, kurie prognozuoja žmogaus pasirinkimą atlikti kelionę pagal galimas keliavimo būdo alternatyvas.	Reikalingas geras išmanymas apie gyventojų keliavimo ypatumus. Reikalingi geri techniniai įgūdžiai. Dažniausiai reikalingos detalios gyventojų apklausos.	Vidutinės teritorijos (miestas arba rajonas).
Regioninis kelionių modelis (angl. <i>regional travel models</i>)	Modelis naudoja esamas ir būsimas žemės naudojimo sąlygas ir transporto tinklo charakteristikas kartu su žmonių elgesio modeliais, kad numatytų būsimus keliavimo įpročius. Tradiciškai jie atliekami taikant keturių etapų procesą: kelionių generavimas, kelionių paskirstymas, transporto rūšies padalijimas ir tinklo priskyrimas.	Reikalingi išsamūs duomenys apie gyventojų skaičių, funkcinės zonas, traukos objektus, modalinį pasidalijimą. Reikalinga specifinė programinė įranga bei žinios modeliui sukurti. Labai tikslios prognozės.	Didelės teritorijos (regionas, savivaldybė, miestas).

Prognozuojami dviračių eismo srautų duomenys yra būtini tiek planuojant bendrą miesto dviračių infrastruktūros sistemą, tiek projektuojant atskiras dviračių infrastruktūros trasas (Bhowmick et al., 2023; Dadashova & Griffin, 2020; Kwigizile et al., 2022a; Ryu, 2020).

Remiantis 1.3 lentelėje pateikta dviračių eismo srautų prognozavimo modelių analize matyti, kad ne visos metodikos yra tinkamos prognozuojamiems dviračių eismo srautams nustatyti gatvės lygmenyje. Atsižvelgiant į modelių taikymo mastelį, duomenų poreikį, metodinį sudėtingumą ir praktinio pritaikomumo galimybes, iš nagrinėtų metodikų išsiskiria suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo modeliai. Kitos 1.3 lentelėje aprašytos metodikos – regioninis kelionių modelis, diskretinio pasirinkimo modeliai ir palyginamosios studijos – gatvės lygmens dviračių srautams prognozuoti laikytinos ribotai tinkamos. Regioniniai kelionių modeliai reikalauja itin išsamių pradinių duomenų, specifinės programinės įrangos ir didelių laiko sąnaudų, todėl jų taikymas pavieniams gatvės ruožams nėra efektyvus. Diskretinio pasirinkimo modeliai grindžiami detaliomis gyventojų apklausomis ir aukšto lygio statistiniais bei techniniais įgūdžiais, o tai apsunkina jų taikymą praktiniame planavimo procese. Palyginamosios studijos, nors ir paprastos, dažniausiai grindžiamos jau egzistuojančiais dviračių eismo srautų duomenimis, todėl nėra tinkamos prognoziniams vertinimams, kai tokie duomenys dar nėra surinkti.



1.9 pav. Analizuojamų modelių tikslumo, sudėtingumo ir panaudojimo lygių diagrama (sudaryta autorės)

Fig. 1.9. Diagram of the accuracy, complexity and utilisation levels of the analysed models (compiled by the author)

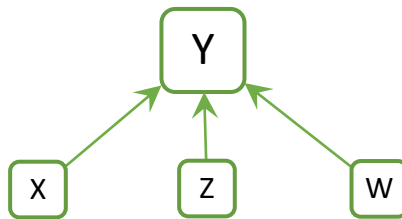
Suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikos išsiskiria kaip vienos lengviausiai taikomų praktikoje, lyginant su kitomis nagrinėtomis metodikomis. Šie modeliai reikalauja santykinai nedidelės apimties duomenų, grindžiami lengvai interpretuojamais aplinkos ir gyventojų charakteristikų rodikliais bei gali būti taikomi ankstyvajame planavimo etape, kai detalūs eismo tyrimų duomenys dar nėra prieinami. Nors eskizinio planavimo metodikos pasižymi didesne paklaida, jos leidžia greitai įvertinti galimus dviračių srautus ir yra tinkamos preliminariems sprendiniams pagrįsti.

Atsižvelgiant į tai, disertacijoje pasirinkta tirti eskizinio planavimo metodikos tikslumą, lyginant ją su suvestinės elgsenos modeliu, siekiant įvertinti, ar paprastesnė, ankstyvajam planavimui skirta metodika gali užtikrinti pakankamą prognozių dviračių srautų nustatymo patikimumą gatvės tiesinių ruožų lygmeniu.

1.9 pav. pateikti analizuojamų modelių tikslumo, sudėtingumo bei panaudojimo lygiai. Suvestinės elgsenos modelis yra vidutinio tikslumo, jam reikalingi duomenys apie miesto charakteristikas ar kitus aplinkos veiksnius, kad taikant statistinius metodus būtų galima atlikti prognozes. Metodika galima naudoti prognozuojant dviračių eismo srautus mieste ar rajone. Atitinkamai mažiausiai duomenų, žinių bei analizuojamos teritorijos reikalauja eskizinio planavimo metodika. Todėl, prognozuojant dviračių eismo srautus, metodika turi būti pasirenkama pagal turimus duomenis, tikslumo lygį bei projekto tikslą.

1.3.1. Suvestinės elgsenos modelis

Suvestinės elgsenos modelyje pasitelkiama regresinė analizė (dažniausiai daugianarė) dviračių eismo srautui prognozuoti. Regresinė analizė gali būti naudojama daugelyje sričių, kuriose siekiama nustatyti, kaip vienas ar keli kintamieji veikia prognozuojamojo kintamojo pokyčius (Čekanavičius ir Mukauskas, 2014). Principinė tiesinės regresinės analizės modelio schema pateikta 1.10 pav.



1.10 pav. Principinė tiesinės regresinės analizės modelio schema (sudaryta autorės)

Fig. 1.10. Schematic diagram of a linear regression analysis model
(compiled by the author)

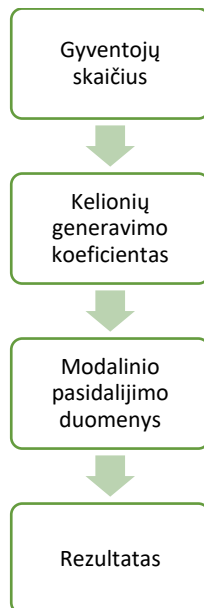
Regresinėje analizėje koeficientai, naudojami prie kintamųjų (X , Z , W), nustatomi atliekant statistinius skaičiavimus, o svarbiausi aplinkos veiksniai gali būti nustatomi ir mašininio mokymo metodais. Suvestinės elgsenos modelis dažniausiai pasirenkamas dviračių srautams prognozuoti dėl jo lengvo pritaikymo bei būtinų duomenų prieinamumo. Naudojantis šiuo modeliu yra pasitelkiami jau turimi dviračių eismo srautai tam tikrose miesto ar teritorijos vietose. Taikant statistinės analizės metodus nustatomi reikšmingiausi aplinkos veiksniai, kurie daro įtaką dviračių srautui, tai, pvz., gyventojų skaičius, žemės naudojimo būdas, reljefo sąlygos, sociodemografiniai veiksniai. Šiems aplinkos veiksniams yra apskaičiuojami koeficientai. Pagal nustatytus koeficientus kitose miesto vietose, kur nėra žinomi dviračių srautai, o žinomos tik reikšmingos aplinkybės, naudojant regresinės analizės lygtis, yra apskaičiuojamas prognozuojamas dviračių srautas.

Melo ir Isler (2023) naudodami suvestinės elgsenos modelį prognozavo dviračių eismo srautą iš „Stravos“ duomenų, natūrinių skaičiavimų, gyventojų atlyginimo. Taikant šį modelį svarbūs buvo natūriniai įvesties duomenys, nes jais buvo grįžta prognozė. Pogodzinska et al. (2020) pasitelkę šį modelį nustatė vidutini metinį dienos dviratininkų skaičių. Šiam modeliui reikėjo duomenų apie paros metu atliekamą kelionių skaičių. Kwigizile et al. (2022) suvestinės elgsenos modeliui sudaryti naudojo „Stravos“ ir natūrinių skaičiavimų duomenis, vertino oro sąlygų, dviratininkų skaičiaus priklausomybę nuo darbo užmokesčio. Modelis atitiko realius skaičiavimus darbo dienomis.

Dėl atsiradusių naujų duomenų gavimo šaltinių, tokių kaip „Strava“ ar mobiliųjų operatorių duomenys, mokslininkai dažniausiai dviračių eismo srautus miestuose prognozavo naudojant būtent šiuos šaltinius (Dadashova & Griffin, 2020; Fan et al., 2021; Jean-Louis et al., 2024; Kwigizile et al., 2022; Lin & Fan, 2020; Nelson et al., 2021). Visuose šaltiniuose dviračių srautų duomenys iš „Strava“ yra sulyginami su jau išmatuotais dviračių srautais ir tada pagal nustatytus reikšmingus aplinkos faktorius yra nustatomi dviračių srautai vietose, kur natūrinių dviračių srautų duomenys nėra nustatyti.

1.3.2. Eskizinio planavimo metodika

Taikant eskizinio planavimo metodiką, dviračių eismo srautai yra prognozuojami naudojantis jau nustatytomis dviratininkų elgsenos taisyklėmis, kurios yra susijusios su gyventojų elgsenos ypatumas. Metodikai naudojami laisvai prieinami duomenys, tokie kaip miesto modalinio pasidalijimo duomenys, gyventojų skaičius ir pan. Metodikoje atliekami paprasti skaičiavimai, kurie nereikalauja specifinių žinių lygio ar specifinių programų. Gauti rezultatai gali būti tikslinami pagal specifines miesto ar analizuojamos teritorijos aplinkybes (Krizek et al., 2006; Turner et al., 1998). Pavyzdinė eskizinio planavimo metodikos schema pateikta 1.11 pav.



1.11 pav. Principinė eskizinio planavimo modelio schema (sudaryta autorės)
Fig. 1.11. Schematic diagram of a sketch plan method (compiled by the author)

Eskizinio planavimo metodika gali būti taikoma siekiant nustatyti projektų prioritetus, siekiant prognozuoti nemotorizuoto eismo srautus, lyginant duomenis su esamais srautais iš kitų panašių vietų, siekiant nustatyti traukos vietų sukurtus srautus, nustatyti dviračių infrastruktūros įtaką kelionėms, atliekamoms automobiliu. Metodika, kuri yra lengvai suprantama, pritaikoma ir paaiškinama, yra daug naudingesnė praktine prasme, net jei ji nėra labai tiksli (Krizek et al., 2006).

Tačiau eskizinio planavimo metodika mokslinėje literatūroje buvo labai mažai nagrinėta (Goldsmith, 1997; G. Griffin, 2009; Krizek et al., 2006; Turner et al., 1998). Paskutinį kartą aprašyta prieš daugiau nei 15 metų, kai Griffin (2009) naudodamasis transporto priemonių eismo srautais prognozavo pėsčiųjų ir dviračių eismo srautus miesto susisiekimo tinkle. Naudojantis eskizinio planavimo metodika buvo nustatytas naujų dviratininkų skaičius dėl įrengtos infrastruktūros (Goldsmith, 1997), sukurta metodika dviračių ir pėsčiųjų srautams prognozuoti gatvės lygmenyje (Turner et al., 1998), tik dviračių srautams prognozuoti jau įrengtoje infrastruktūroje (Krizek et al., 2006), dviračių srautams prognozuoti visame dviračių susisiekimo infrastruktūros tinkle (Griffin, 2009).

Goldsmith (1997) siekdamas nustatyti, kaip dviračių infrastruktūros įrengimas padidino dviratininkų skaičių ir sumažino automobiliais nuvažiuotą atstumą, taikė eskizinio planavimo metodiką. Tyrimo metu pirmiausia buvo identifikuota kelionių zona, iš kurios tikėtasi didžiausio dviračių srauto, bei nustatytos jos geografinės ribos. Remiantis gyventojų surašymo duomenimis, apskaičiuotas šioje zonoje gyvenančių asmenų skaičius ir nustatyta, kokia jų dalis kasdien vykdo keliones. Vėliau buvo įvertinta, kiek šių gyventojų jau naudojami dviračiais kaip transporto priemone. Atsižvelgiant į esamas naudojimo tendencijas bei demografinius rodiklius, atlikta prognozė, kiek papildomų gyventojų galėtų pasirinkti dviratį kasdienėms kelionėms. Taip pat įvertinta, kiek kelionių būtų perimta iš individualaus automobilio transporto, apskaičiuoti vidutiniai kelionių dviračiu atstumai ir įvertintas galimas poveikis – transporto priemonių nuvažiuoto atstumo sumažėjimas bei su tuo susijęs transporto taršos mažėjimas.

Turner et al. (1998) naudodamiesi eskizinio planavimo metodika sukūrė dviračių ir pėsčiųjų srautų prognozavimo metodiką, kuri gali būti taikoma nustatant dviračių srautus jau įrengtoje arba planuojamoje įrengti infrastruktūroje. Siekiant nustatyti galimus dviračių eismo srautus, pirmiausia buvo apibrėžta nagrinėjama teritorija ir nustatyta kelionių generavimo zona – 3,2–4,8 km spindulio lygiagrečioji zona, iš kurios tikėtina gyventojų kelionių dviračiu kilmė. Šioje zonoje atlikta žemės būdų naudojimo analizė, identifikuojant skirtingo pobūdžio teritorijas: vienbučių gyvenamųjų namų, daugiabučių gyvenamųjų namų, specializuotos (komercinės, pramoninės ar kt.) paskirties bei administracinės paskirties teritorijas. Kiekvienai teritorijų kategorijai buvo priskirta atitinkama dviračiais atliekamų kelionių intensyvumo reikšmė, priklausanti nuo

žemės naudojimo pobūdžio ir gyventojų tankio. Remiantis šia informacija, visoje nagrinėjamoje zonoje buvo apskaičiuotas bendras prognozuojamas dviračiais atliekamų kelionių skaičius.

Krizek et al. (2006) naudodamiesi eskizinio planavimo metodika taip pat sukūrė dviračių srautų prognozavimo metodiką, kuri gali būti taikoma planuojamoje infrastruktūroje. Pagrindinės tyrimo prielaidos, pagrindžiančios šią analizę, yra tai, kad didelę dalį visų kelionių dviračiais atlieka nedidelė dalis dažnai rekreaciniais tikslais važinėjančių dviratininkų ir kad daugelis iš jų pastebėti modalinio kelionių pasidalijimo tyrimo metu. Taigi vietovėje, kurioje yra daug rekreacines keliones atliekančių dviratininkų, bendras dviračių srautas bus didesnis, o zonoje, kurioje atliekama mažai rekreacinių kelionių, bendras dviračių srautas bus mažas. Tyrėjai sukūrė tris formules, pagal kurias apskaičiuojamas mažas, vidutinis ir didelis dviračių eismo srautas, tirdami naudojimosi dviračių ypatybes Jungtinėse Amerikos Valstijose. Prognozuojamas dviračių srautas apskaičiuojamas pagal susisiekimo tikslais atliekamų kelionių dviračiais dalį ir bendrą dviračiais atliekamų kelionių skaičių bei įvertinant rekreacinių kelionių dalį, apskaičiuojamą iš sukurtų priklausomybės grafikų. Pagal šias formules buvo apskaičiuojami prognozuojami dviračių srautai Jungtinėse Amerikos Valstijose.

Griffin (2009) taikydamas eskizinio planavimo metodiką prognozavo dviračių srautą viso miesto dviračių susisiekimo infrastruktūros tinkle, kurie buvo priklausomi nuo miesto funkcinės zonos ir esamų transporto priemonių srautų. Prognozuojant dviračiais atliekamas keliones buvo nustatoma esama dviračiais atliekamų kelionių dalis (modalinis pasidalijimas). Toliau pagal padarytas prielaidas nustatoma, kiek kelionių dviračiais atliekama rekreaciniais tikslais. Pagal miesto funkcinę zoną priskiriama, kiek joje kelionių bus atliekama dviračiais, ir pagal esamus transporto priemonių srautus mieste proporcingai išskaičiuojamas prognozuojamas dviračiais atliekamų kelionių skaičius.

1.4. Kintamieji prognozavimo metodikose ir metodikų tikslumas

1.4.1. Kintamieji suvestinės elgsenos modeliuose ir eskizinio planavimo metodikose

Taikant suvestinės elgsenos modelį dviračių srautams prognozuoti, dažniausiai taikoma daugianarės regresinės analizės metodika. T. y. dviračių srautas yra prognozuojamas naudojant kelis kintamuosius, nustatytus iš aplinkos faktorių. Metodikoje dviračių srautas, kuris yra prognozuojamas, vadinamas priklausomuoju kintamuoju, o kintamieji, kuriais pasinaudojant yra prognozuojama – nepriklausomaisiais kintamaisiais.

Priklausomasis kintamasis gali būti išreiškiamas įvairiais matavimo vienetais. Gali būti prognozuojamas vidutinis dienos dviračių srautas, vidutinis paros dviračių srautas, vidutinės valandos dviračių srautas, piko valandos dviračių srautas. Priklausomai nuo to, ką siekiama nustatyti, yra pasirenkami priklausomojo kintamojo matavimo vienetai. Dažniausiai moksliniuose tyrimuose priklausomasis kintamasis išreiškiamas vidutiniu metiniu dviračių eismo srautu (angl. *Annual Average Daily Bicycle Traffic*), dienos dviračiu eismo srautu (angl. *Daily Bike Traffic*) arba piko valandos dviračių eismo srautu (Miah et al., 2024).

Dažniausiai moksliniuose tyrimuose kaip nepriklausomuosius kintamuosius pasirenkama naudoti alternatyvius duomenis apie dviračių eismo srautus („Strava“ duomenys, GPS duomenys), gyventojų sociodemografinės charakteristikas, duomenis apie miesto užstatymo charakteristiką, oro sąlygas. 1.4 lentelėje pateikti dažniausiai naudojami nepriklausomieji kintamieji moksliniuose tyrimuose.

„Strava“ – tai mobilioji programėlė, skirta savo pasiekimams fiksuoti važiuojant dviračiu, bėgiojant, vaikstant ar užsiimant kita sportine veikla. „Strava“ yra vienas iš populiariausių duomenų šaltinių, kadangi programa suteikia prieigą prie viso miesto duomenų apie atliekamas keliones dviračiu. Programa užtikrina galimybę nustatyti dviratininkų skaičių pagal kelionės tikslą (susisiekimo ar rekreacinė), pagal metų dieną, valandą. Dėl duomenų grupavimo ir analizavimo galimybės programėlės sukaupti duomenys gali būti lengvai panaudojami dviračių srautams prognozuoti. Tačiau, kadangi programėle nesinaudoja visi miesto gyventojai, „Strava“ duomenys neatspindi visų miesto dviratininkų duomenų. Nustatyta, kad „Strava“ gali atspindėti 2–10 % visų dviratininkų mieste (Griffin & Jiao, 2015). Todėl naudojant „Strava“ duomenis visada yra pasirenkami papildomi nepriklausomieji kintamieji, kurie patikslintų modelio rezultatus.

1.4 lentelė. Nepriklausomieji kintamieji, dažniausiai naudojami dviračių srautams prognozuoti (sudaryta autorės)

Table 1.4. Most commonly used independent variables for predicting bicycle flows (compiled by the author)

Kategorija	Kintamasis	Šaltiniai
1	2	3
Nauji duomenų šaltiniai	Dviračių eismo srautai fiksuoti „Strava“ programėlėje	Dadashova & Griffin (2020) Dadashova et al. (2020) Miah et al. (2023) Nelson et al. (2021)
	Dviračių dalijimosi duomenys	Fournier et al. (2017) Pogodzinska et al. (2020) Pazdan et al. (2021)

1.4 lentelės pabaiga

1	2	3
Sociodemografinės charakteristikos	Amžius	Chen et al. (2017), Le et al. (2019), Munira et al. (2021)
	Lytis	Dadashova & Griffin (2020) Nelson et al. (2021)
	Užimtumas	Ermagun et al. (2018) Le et al. (2019)
	Pajamos	Dadashova & Griffin (2020) Nelson et al. (2021)
Miesto užstatymo charakteristikos	Žemės naudojimo būdas	Lu et al. (2018) Tabeshian & Kattan (2014)
	Darbo vietų skaičius	Chen et al. (2017)
	Gatvės paskirtis	Dadashova & Griffin (2020) Hankey & Lindsey (2016) Lu et al. (2018)
	Topografija	Dadashova & Griffin (2020) Dadashova et al. (2020)
	Dviračių infrastruktūros ilgis	Dadashova & Griffin (2020) Hankey & Lindsey (2016) Lu et al. (2018)
Oro sąlygos	Temperatūra	Dadashova & Griffin (2020) Le et al. (2019) Pazdan et al. (2021)
	Krituliai	Dadashova & Griffin (2020) Le et al. (2019) Nordback et al. (2013)
	Vėjo greitis	Dadashova & Griffin (2020) Lu et al. (2017) Wang et al. (2013)

Dviračių dalijimosi duomenų prieinamumas suteikia galimybę matyti, iš kurios dalijimosi vietos buvo paimtas dviratis ir kurioje vietoje buvo paliktas dviratis. Dviračių dalijimosi duomenys gali būti naudojami statistiniuose modeliuose, kai analizuojama visa miesto teritorija ar bent kai yra pakankamai dviračių dalijimosi vietų, kad duomenys būtų reprezentatyvūs. Dėl duomenų ribotumo (negalima matyti keliavimo trajektorijos) duomenys gali būti naudojami

tik traukos ir išvykimo vietoms nustatyti, nebent yra panaudojami su kitų šaltinių duomenimis, kurie patikslina skaičiavimus (Tao et al., 2024).

Gyventojų sociodemografinės charakteristikos yra naudojamos dviračių srautų prognozavimo modeliuose. Tyrimais nustatomas gyventojų skaičius analizuojamoje teritorijoje (ar jos įtakos zonoje), pasiskirstymas pagal lytį, užimtumas, vidutinės pajamos ir pan. Tuomet modelyje nustatoma, kaip sociodemografinių charakteristikų skaičius koreliuoja su esamais dviračių srautais. Kad duomenis būtų galima panaudoti viso miesto modeliui sukurti, turi būti pasirenkamas pakankamas skaičius tyrimo vietų: nuo 7 iki 1236 vietų (Lu et al., 2018). Mažėjant duomenų skaičiui apie kintamuosius, mažėja ir modelio tikslumas. Nustatyta, kad darbingas žmonių amžius teigiamai susijęs su kelionėmis dviračiu (Le et al., 2019). Tyrimai rodo, kad vyrai nuo 21–34 metų amžiaus ir dirbantieji yra labiau linkę važiuoti dviračiu (Miah et al., 2024). Žmonių pajamos gali būti teigiamai ir neigiamai susijusios su važiavimu dviračiu, tačiau dažniausiai fiksuojama, kad didėjant pajamoms, didėja ir dviračių skaičius (Miah et al., 2024).

Tokiu pačiu principu analizuojama ir miesto charakteristikų įtaka dviračių srautams. Identifikuojami žemės naudojimo būdo rodikliai: gyvenamosios paskirties teritorijos plotas, darbo vietų skaičius hektare, transporto priemonių srautas gretimoje gatvėje, eismo juostų skaičius. Ir nustatinėjama, kokią įtaką kintamasis turi dviračių eismo srautams. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad mišraus žemės naudojimo būdo teritorijos yra daugiau susijusios su kelionėmis dviračiais nei tik vieno žemės naudojimo būdo teritorijos (Bai et al., 2023; McCreery-Phillips & Heydari, 2023; Nematchoua et al., 2023a; O'Reilly et al., 2024a; Rahman, 2023a; Younkin et al., 2023). Didesnis darbo vietų skaičius teritorijoje yra susijęs su didesniais dviračių eismo srautais (Dadashova & Griffin, 2020). Didėjant eismo juostų skaičiui sankryžoje mažėja dviračių eismo srautai (Hochmair et al., 2019). Pagalbinės gatvės kategorija teigiamai susijusi su dviračių eismo srautais (Hochmair et al., 2019). Topografijos aukščių skirtumai neigiamai susiję su dviračių eismo srautų skaičiumi (Nelson et al., 2021).

Oro sąlygos yra bene dažniausiai naudojamas kintamasis prognozuojant dviračių eismo srautus. Nustatyta, kad teigiama oro temperatūra turi teigiamą poveikį dviračių eismo srautams (Dadashova & Griffin, 2020). Krituliai bei didesnis vėjo greitis turi neigiamą poveikį dviračių eismo srautams (Lu et al., 2017).

Nors yra nustatytos bendros nepriklausomųjų kintamųjų poveikio tendencijos prognozuojamiems dviračių srautams, kiekvienu analizuojamu atveju jos gali turėti ir priešingą įtaką, nei nustatyta literatūros analizės metu.

Eskizinio planavimo metodikos mokslinėje literatūroje buvo aprašytos tik 4 kartus. Šiomis metodikomis, prognozuojant dviračių eismo srautus, naudojami tik laisvai prieinami duomenys – gyventojų skaičius, modalinio pasidalijimo duomenys, žemės naudojimo būdas.

1.5 lentelėje pateikti eskizinio planavimo metodikoje naudojami kintamieji dviračių eismo srautams prognozuoti.

1.5 lentelė. Kintamieji, naudoti eskizinio planavimo metodikoje (sudaryta autorės)
Table 1.5. Variables used in the sketch plan method (compiled by the author)

Kategorija	Kintamasis	Šaltinis
Sociodemografiniai veiksniai	Gyventojų skaičius	Goldsmith (1997) Krizek et al. (2006)
	Naudojimosi dviračiu įpročiai	Goldsmith (1997)
Miesto užstatymo charakteristikos	Gyvenamųjų vietų skaičius	Turner et al. (1998)
	Žemės naudojimo būdas	Turner et al. (1998)
Eismo srautų duomenys	Dviračiais atliekamų kelionių dalis	Griffin (2009) Goldsmith (1997) Krizek et al. (2006) Turner et al. (1998)
	Transporto priemonių srautai	Griffin (2009)

Iš 1.5 lentelės pateiktų duomenų matyti, kad dažniausiai naudojamas yra gyventojų skaičius bei dviračiais atliekamų kelionių dalis. Visi duomenys, naudojami metodikoje, jau būna apie miestą surinkti planavimo dokumentų rengimo metu. Todėl šių duomenų prieinamumas suteikia galimybę prognozuoti dviračių eismo srautus, panaudojant jau turimus duomenis.

1.4.2. Metodikų tikslumas

Suvestinės elgsenos modeliuose naudojami regresinės analizės metodai, todėl šių metodų tikslumas yra išreiškiamas determinacijos koeficientu (R^2). Determinacijos koeficientas parodo, kaip tiksliai nepriklausomieji kintamieji paaiškina priklausomąjį kintamąjį. Regresinės analizės modeliai yra tinkami, kai modelio determinacijos koeficientas yra daugiau už 0,20. Determinacijos koeficientas gali įgyti reikšmes nuo 0 iki 1, kuo didesnis determinacijos koeficientas, tuo geriau modelis apibūdina duomenis (Čekanavičius ir Mukauskas, 2014). 1.6 lentelėje pateikti įvairių autorių gauti dviračių srautų prognozavimo modelių determinacijos koeficientai.

Retai suvestinės elgsenos modelių tikslumas yra išreiškiamas naudojant vidutinę absoliučią procentinę paklaidą (MAPE). Nors MAPE yra standartinis statistinis matas, taikomos prognozavimo metodikos tikslumui nustatyti (Kim & Kim, 2016).

MAPE parodo, kaip gerai sudarytas modelis prognozuoja dviračių eismo srautus, lyginant esamus dviračių srautus su prognozuojamais dviračių srautais, o modelio determinacijos koeficientas parodo, kaip nepriklausomieji kintamieji gerai paaiškina priklausomąjį kintamąjį. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad suvestinės elgsenos studijos modelių MAPE kinta nuo 29–38 % (Dadashova et al., 2020; Dadashova & Griffin, 2020).

MAPE yra labai retai naudojamas modelio tikslumui įvertinti, kai srautai prognozuojami taikant regresinės analizės metodus. Tačiau taikant kitas metodikas, MAPE yra dažnas matas, pagal kurį nustatomas prognozuojamo modelio tikslumas. Miah et al. (2024) atliko literatūros analizę, susijusią su įvairiomis metodikomis dviračių eismo srautams prognozuoti, ir nustatė, kad regresinės analizės modelių MAPE gali kisti nuo 9 % iki 53 %.

1.6 lentelė. Dviračių srautų prognozavimo metodikų, sudarytų pagal suvestinės elgsenos modelius, determinacijos koeficientai (sudaryta autorės)

Table 1.6. Coefficients of determination of bicycle flows forecasting methodologies based on the aggregate behaviour study method (compiled by the author)

Autorius, metai	Determinacijos koeficientas
Orvin et al. (2021)	0,997
Pogodzinska et al. (2020)	0,92–0,98
Nelson et al. (2021)	0,08–0,92
Pazdan et al. (2021)	0,7–0,86
Dadashova et al. (2020)	0,7–0,75
Rupi et al. (2019)	0,73
Kwigizile et al. (2019)	0,71
Munira et al. (2021)	0,7
Lin & Fan (2020)	0,61
Hochmair et al. (2019)	0,28–0,5

Nors eskizinio planavimo metodika ir buvo aprašoma mokslinėje literatūroje, tačiau niekada nebuvo nustatytas šios metodikos tikslumas. Krizek et al. (2006) taip pat nurodė, kad nors metodika yra patraukli dėl savo lengvo panaudojimo ir suprantamumo, tačiau nėra nustatytas šios metodikos tikslumas lyginant ją su kitomis dviračių srautų prognozavimo metodikomis. Šios metodikos tikslumas nebuvo išreiškiamas MAPE ar kitu prognozavimo metodikoms priimtiniu matu. Krizek et al. (2006), sukūrę dviračių srautų prognozavimo metodiką, pateikė tik prognozuojamą ir esamą dviratininkų dalį mieste.

1.5. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad kokybiška dviračių susisiekimo infrastruktūra turi atitikti vientisumo, tiesumo, saugumo, patogumo ir patrauklumo principus, kad taptų integralia miesto darnaus judumo sistemos dalimi. Tačiau vien tik infrastruktūros įrengimas savaime negarantuoja didesnių dviračių srautų – kelionės pasirinkimą taip pat lemia subjektyvus saugumo jausmas. Tyrimai rodo, kad jis glaudžiai siejamas su vizualiniu ir fiziniu atskyrimu nuo kitų eismo dalyvių, o būtent tokie sprendiniai dviratininkų vertinami kaip saugiausi.
2. Esami dviračių eismo srautų duomenys yra būtini projektuojant infrastruktūrą, nes leidžia įvertinti jos pralaidumą, eismo saugumą bei ekonominį naudingumą. Dažniausiai šie duomenys renkami taikant natūrinius matavimus, vykdamat gyventojų kelionių apklausas, taip pat pasitelkiant naujai atsirandančius duomenų šaltinius (GPS, mobiliųjų operatorių duomenys), taip pat naudojami ir DI duomenims rinkti bei grupuoti. Nors daugelyje miestų dviračių eismo duomenų rinkimas vykdomas, praktikoje jie dažnai būna fragmentiški, riboto prieinamumo ir nepakankamai detalūs, todėl infrastruktūros techniniai parametrai neretai nustatomi neatsižvelgiant į prognozuojamus dviračių eismo srautus.
3. Literatūroje nėra vienos universalios dviračių eismo srautų prognozavimo metodikos. Jos pasirenkamos priklausomai nuo projekto masto, prognozavimo tikslo, detalumo lygio bei turimų duomenų. Didelio masto projektams (šalies ar miesto lygmens) dažniausiai taikomi regioniniai kelionių modeliai, vidutinio masto projektams (miesto ar rajono lygmens) – suvestinės elgsenos modeliai, o mažos apimties projektams (rajono ar gatvės lygmens) – eskizinio planavimo modeliai.
4. Suvestinės elgsenos modeliai grindžiami regresinės analizės metodais ir leidžia prognozėse įtraukti sociodemografinius, urbanistinius bei meteorologinius veiksnis. Jų prognozių tikslumas vertinamas determinacijos koeficientu ar vidutine absoliučia paklaida, tikslumas svyruoja nuo 9 % iki 53 %. Eskizinio planavimo metodikose naudojami duomenys apie gyventojų skaičių, žemės naudojimo struktūrą bei modalinio pasidalijimo duomenis. Vis dėlto moksliniuose tyrimuose

šios metodikos prognozių tikslumo lygis nėra nustatytas, todėl jos patikimumas praktikoje lieka neaiškus.

Atsižvelgiant į nagrinėtos mokslinės literatūros analizės rezultatus ir darbo tikslą būtina spręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti ekspertinę apklausą, siekiant nustatyti, ar Lietuvos specialistų nuomonė dėl subjektyvios saugos dviračių infrastruktūros įrengimo atžvilgiu atitinka tarptautinių mokslinių tyrimų rezultatus
2. Kiekybiškai nustatyti subjektyvaus saugumo įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams.
3. Atlikti dviračių eismo srautų prognozavimą, taikant suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas, naudojant laisvai prieinamus duomenis, bei įvertinti metodikų tikslumą.
4. Įvertinti dviračių srautų prognozavimo metodikų ir koregavimo koeficientų pritaikomumą gatvės lygmens dviračių infrastruktūros projektavimo srityje.

2

Dviratininkų subjektyvaus saugumo teoriniai tyrimai ir eksperimentinio tyrimo metodika

Skyriuje aprašyti atlikti teoriniai tyrimai, susiję su subjektyvaus saugumo vertinimu skirtinguose dviračių infrastruktūros sprendiniuose. Pristatomi gauti teorinių tyrimų rezultatai. Aprašyta eksperimentinio, dviračių eismo srautų prognozavimo, tyrimo vykdymo eiga: detalizuoti natūriniai eismo srautų matavimai, pateiktas dviračių srautų prognozavimo metodikų – suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo – aprašymas, nustatyti taikomų metodikų tikslumo vertinimo kriterijai.

Skyriaus tematika kartu su bendraautoriais paskelbti du autorės straipsniai (Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2023a, 2024a)

2.1. Miesto plėtros specialistų ir inžinierių apklausa

Subjektyvus saugumas yra vienas iš esminių veiksnių, lemiančių sprendimą kelionėms rinktis dviratį, todėl jo vertinimas tampa svarbus planuojant ir projektuojant dviračių susisiekimo infrastruktūrą (Gössling & McRae, 2022). Nors objektyvus eismo saugumas gali būti nustatomas vadovaujantis eismo įvykių

statistika, subjektyvus – daug labiau priklauso nuo individualių naudotojų patirčių ir infrastruktūros dizaino. Atlikta mokslinių tyrimų, kuriuose analizuojama dviratininkų subjektyvi sauga skirtinguose dviračių susisiekimo infrastruktūros sprendiniuose, analizė atskleidė, kad dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmas glaudžiai siejamas su vizualiniu bei fiziniu atskyrimu nuo kitų eismo dalyvių. Atliktų mokslinių tyrimų rezultatai (1.1 lentelė) rodo, jog saugiausiais laikomi šie infrastruktūros sprendiniai:

- dviračių gatvės, kurios vizualiai išsiskiria iš įprastam eismui skirtų gatvių (Baert & Caers, 2021; Jørgensen, 2020);
- dviračių juostos, fiziškai atskirtos nuo važiuojamosios dalies (Mertens et al., 2016);
- dviračių takai, fiziškai atskirti nuo kitų eismo dalyvių (Boufous et al., 2018; Clark et al., 2019; Nazemi et al., 2021; Sanders, 2016).

Vis dėlto subjektyvaus saugumo vertinimo tyrimai buvo atliekami kitose šalyse, todėl kyla klausimas, ar jų rezultatai gali būti tiesiogiai pritaikomi ir kitose šalyse, nepaisant to, kurioje šalyje gauti tyrimo rezultatai. Siekiant nustatyti, ar Lietuvos specialistų nuomonė dėl subjektyvios saugos dviračių infrastruktūros įrengimo atžvilgiu atitinka kitų tyrimų rezultatus, buvo atlikta miesto plėtros specialistų ir projektuotojų apklausa.

2.2.1. Respondentų atranka

Ekspertai apklausai buvo atrinkti vadovaujantis struktūrintos ekspertinės apklausos principais, kai ekspertų parinkimas grindžiamas iš anksto apibrėžtais kompetencijos, profesinės veiklos ir galimų šališkumo veiksnių kriterijais (Bojke et al., 2021).

Ekspertų atrankai taikyti šie kriterijai:

- Kompetencija – ekspertai turi ne mažesnę kaip 5 metų profesinę darbo patirtį susisiekimo infrastruktūros projektavimo srityse, tiesiogiai susijusiose su dviračių infrastruktūros planavimu ar įgyvendinimu. Šis kriterijus pasirinktas atsižvelgiant į įprastus miesto infrastruktūros projektų parengimo ir įgyvendinimo terminus. Penkerių metų laikotarpis laikytas pakankamu, kad specialistai būtų susidūrę su visais infrastruktūros plėtros etapais – nuo pradinės idėjos iki jos realizacijos.
- Aktyvi profesinė veikla – apklausoje dalyvauja šiuo metu aktyviai dirbantys specialistai, atsakingi už dviračių susisiekimo infrastruktūros projektų rengimą, projektavimą arba įgyvendinimą.
- Profesinė atsakomybė – į ekspertų grupę įtraukiami specialistai, kurių profesinės pareigos apima sprendimų priėmimą, techninių sprendinių rengimą arba projektų koordinavimą.

- Tiesioginis sąlytis su nagrinėjama problematika – ekspertai turi praktinę sąlytį su dviračių infrastruktūros sprendinių taikymu urbanistinėje aplinkoje, įskaitant projektavimo, įgyvendinimo ar vertinimo etapus.
- Šališkumas – ekspertų grupė formuojama taip, kad būtų atstovaujamos dvi skirtingos profesinės perspektyvos (susisiekimo infrastruktūros projektuotojai, atsakingi už saugumo užtikrinimą, ir miesto plėtros specialistai, atsakingi už projektų sprendinių patvirtinimą), taip sumažinant vienos institucijos ar vieno profesinio požiūrio dominavimą.

Vadovaujantis šiais principais, tyrimui buvo pasirinkti Vilniaus mieste dirbantys ekspertai. Vilnius pasirinktas kaip tyrimo vieta dėl kelių priežasčių: tai yra Lietuvos sostinė ir didžiausias miestas, kuriame pastaraisiais metais matomas spartus ir sistemiškas dviračių infrastruktūros plėtros tempas. Ši plėtros dinamika suponuoja, kad Vilniaus specialistai turi sukaupę reikšmingos praktinės patirties, susijusios su skirtingų dviračių infrastruktūros sprendinių projektavimu, diegimu ir vertinimu realiomis urbanistinėmis sąlygomis. Be to, tyrimo apsiribojimas vienu miestu leidžia sumažinti kontekstinius skirtumus, susijusius su skirtinga institucine praktika ir planavimo principais, ir taip užtikrinti didesnę ekspertinių vertinimų palyginamumą.

Projektuotojai buvo atrinkti iš SĮ „Vilniaus planas“ – savivaldybės įmonės, turinčios daugiausia patirties projektuojant miesto susisiekimo infrastruktūrą Vilniuje. Įmonėje dviračių ir gatvių infrastruktūros projektavimo srityje dirbo 10 inžinierių, iš kurių, remiantis atrankos kriterijais, buvo pasirinkti 5 respondentai. Šių inžinierių profesinė patirtis svyravo nuo 5 iki 20 metų.

Miesto plėtros specialistai buvo atrinkti iš Vilniaus miesto savivaldybės sudarytos Inžinerinių statinių projektų ir projektinių pasiūlymų vertinimo darbo grupės. Ši grupė atsakinga už dviračių infrastruktūros projektinių pasiūlymų ir techninių sprendinių tvirtinimą. Grupę sudarė 15 specialistų, atstovaujančių savivaldybei ir jos pavaldžioms įstaigoms. Iš jų, vadovaujantis darbo patirties kriterijumi, apklausai buvo atrinkti 5 specialistai. Jų profesinė patirtis taip pat siekė nuo 5 iki 20 metų.

2.2.2. Apklausos vykdymas

Apklausa buvo vykdyta 2023 m. tyrimo dalyviams išsiunčiant parengtas anketas elektroniniu paštu. Anketose buvo pateiktos trys dviračių infrastruktūros schemų grupės. Kiekvienoje grupėje buvo nuo dviejų iki penkių skirtingų infrastruktūros įrengimo variantų. Schemos apėmė dviračių gatvių, dviračių eismo juostų ir dviračių takų įrengimo alternatyvas.

Respondentų – inžinierių ir miesto plėtros specialistų – buvo prašoma įvertinti kiekvieną schemą pagal dviratininkams suteikiamą subjektyvaus saugumo

jausmą, kuri lemia konkretūs infrastruktūros sprendiniai. Schemos buvo vertinamos nuo 1 (tai reiškia mažiausią saugumo jausmą) iki 10 (tai reiškia didžiausią saugumo jausmą) balų.

2.2.3. Dviračių infrastruktūros schemas

Apklausai pateiktos dviračių infrastruktūros įrengimo schemas buvo sudarytos vadovaujantis 1.2 skyriuje atlikta literatūros analize, kurioje aptarti įvairūs moksliniuose šaltiniuose aprašyti dviračių infrastruktūros sprendiniai. Pažymėtina, kad pateiktos schemas nebūtinai atitinka Lietuvoje galiojančius statybos techninius reglamentus ar taisykles, susijusias su dviračių infrastruktūros projektavimu.

Schemas buvo parengtos sąmoningai atsižvelgiant į tyrimo tikslą – užtikrinti, kad respondentai vertintų subjektyvaus saugumo jausmą ne remdamiesi šalyje galiojančiu reglamentavimu ar patirtimi laikantis teisinių normų, o vadovaudamiesi tik saugumo sąlygų užtikrinimo aspektais. Taip buvo siekiama išvengti išankstinio šališkumo, susijusio su galiojančių reglamentų taikymo praktika, ir paskatinti dalyvius pateikti objektyvesnį, nuo reglamentavimo nepriklausantį vertinimą.

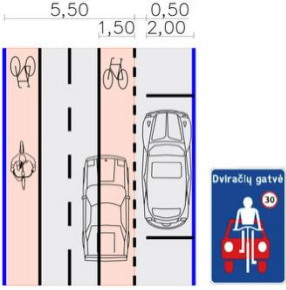
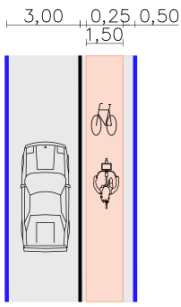
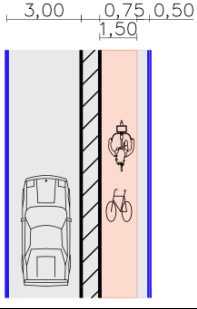
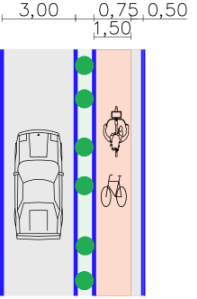
Apklausoje naudotos schemas su aprašymu pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Dviračių infrastruktūros schemas ir jų aprašymas (sudaryta autorės)

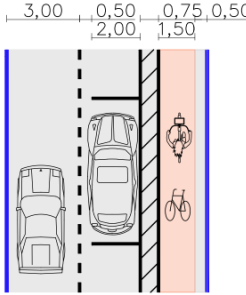
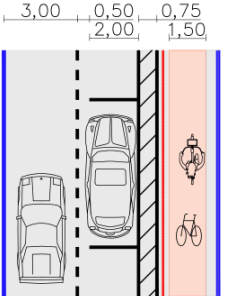
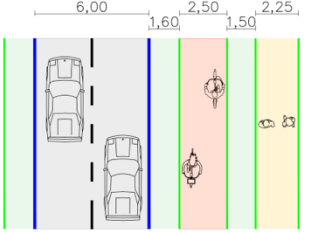
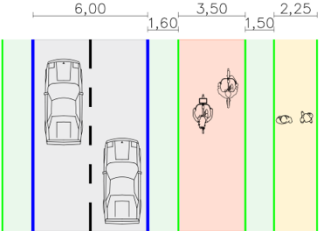
Table 2.1. Bicycle infrastructure diagrams and their description (compiled by the author)

Schema	Aprašymas	Kodas
1	2	3
Dviračių gatvės		
 <p>The diagram shows a cross-section of a road with a dedicated bicycle lane. The total width of the road is 5,50 meters. The bicycle lane is 2,00 meters wide, and the adjacent lane for cars is 0,50 meters wide. A vertical dashed line separates the bicycle lane from the car lane. A blue sign with a white bicycle icon and the text 'Dviračių gatvė' is placed at the entrance of the bicycle lane. A speed limit sign of 30 km/h is also visible.</p>	<p>Dviračių gatvė, kurioje naudojamas tik vertikalus kelio ženklas. Gatvė vizualiai nesiskiria iš tik automobilių eismui skirtų gatvių.</p>	DVG_1

2.1 lentelės tęsinys

1	2	3
	<p>Dviračių gatvė su pažymėtomis raudono asfalto juostomis, dviračių simboliais ir įrengtu vertikaliu kelio ženklų. Gatvė vizualiai išsiskiria iš įprastam eismui skirtų gatvių.</p>	DVG_2
Dviračių eismo juostos		
	<p>Dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta siaura horizontalaus ženklavimo linija ir dviračio simboliu.</p>	DEJ_1
	<p>Dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta plačiu horizontaliu ženklavimu (0,75 m).</p>	DEJ_2
	<p>Dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta siaura želdinių juosta (0,75 m).</p>	DEJ_3

2.1 lentelės tęsinys

1	2	3
	<p>Dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta automobilių stovėjimo vietomis bei apsaugos zona (0,75 m).</p>	<p>DEJ_4</p>
	<p>Dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta automobilių stovėjimo vietomis, saugos zona (0,75 m) ir apsaugine tvorele.</p>	<p>DEJ_5</p>
Dviračių takai		
	<p>2,5 m pločio dviračių takas (dvipusis) fiziškai atskirtas nuo važiuojamosios dalies ir pėsčiųjų tako.</p>	<p>DT_1</p>
	<p>3,5 m pločio dviračių takas (dvipusis) fiziškai atskirtas nuo važiuojamosios dalies ir pėsčiųjų tako.</p>	<p>DT_2</p>

2.1 lentelės pabaiga

1	2	3
	<p>Dviračių takas nuo važiuojamosios dalies buvo atskirtas želdinių juosta, tačiau nuo pėsčiųjų tako tik vejos borteliu (dviračių takas ir pėsčiųjų takas viename lygyje).</p>	<p>DT_3</p>
	<p>Dviračių takas nuo važiuojamosios dalies atskirtas per 10 cm aukščio gatvės bortą. Nuo pėsčiųjų tako atskirtas želdinių juosta.</p>	<p>DT_4</p>

2.2.4. Rezultatų vertinimas

Prieš rezultatų vertinimą ir saugiausių dviračių infrastruktūros variantų nustatymą buvo atliktas respondentų (ekspertų) nuomonių suderinamumo vertinimas.

Ekspertų nuomonių suderinamumas vertinimas atliekamas taikant Kendallo konkordacijos koeficientą (Kendall, 1970). Skaičiavimas atliekamas keliais etapais:

1. Apklausos rezultatų rangavimas. Ekspertai vertino schemų suteikiamą subjektyvaus saugumo jausmą balais nuo 1 iki 10, kur 10 atitiko didžiausią subjektyvaus saugumo jausmą. Rangavimo metu didžiausią saugumo jausmą suteikiančiam sprendiniui suteikimas 1 rangas, mažiau saugiam – 2 rangas ir t. t.
2. Rangų sumų apskaičiavimas. Kiekvienos schemos rangų suma apskaičiuojama pagal (2.1) formulę:

$$P_j = \sum_{k=1}^l P_{jk}, \quad (2.1)$$

čia P_{jk} – k-ojo eksperto j -ajai schemai suteiktas vertinimas.

3. Vidutinės vertinamos schemos reikšmės apskaičiavimas. Apskaičiuojamas pagal (2.2) formulę:

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{k=1}^l P_{jk}}{r}, \quad (2.2)$$

čia l – ekspertų skaičius.

4. Nukrypimo kvadratų sumos apskaičiavimas. Kiekvienos vertintos schemos rezultatų nukrypimo kvadratų suma nustatoma pagal (2.3) formulę:

$$S = \sum_{j=1}^m (P_j - \bar{P})^2, \quad (2.3)$$

kur m – vertinamų schemų skaičius.

5. Vidutinės rangų sumos apskaičiavimas. Vidutinė visų vertinamų schemų rangų suma apskaičiuojama pagal (2.4) formulę:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^m P_{jk}}{m}. \quad (2.4)$$

6. Konkordancijos koeficiento apskaičiavimas. Konkordancijos koeficientas W apskaičiuojamas pagal (2.5) formulę:

$$X^2 = W \cdot r \cdot (m - 1) = \frac{12S}{r \cdot m \cdot (m+1)}. \quad (2.5)$$

Jei X^2 apskaičiuotas pagal (2.5) formulę yra didesnis nei naudojantis X_{kr}^2 (chi kvadrato) Pirsono kriterijumi, su tam tikru laisvės laipsniu $\nu = m - 1$, ir, imant reikšmingumo lygį $\alpha = 0,001$, laikoma, kad ekspertų nuomonės yra suderintos.

Atlikus nuomonių suderinamumo vertinimą, kiekvienoje grupėje schemų bus nustatomas didžiausią subjektyvaus saugumo jausmą užtikrinantis infrastruktūros variantas. Variantas nustatomas pagal respondentų suteiktų balų (prieš rangavimą) aritmetinius vidurkius.

2.2.5. Tyrimo rezultatai

Atlikus nuomonių suderinamumo vertinimą nustatyta, kad miesto plėtos specialistų nuomonės yra statistiškai reikšmingai suderintos ($W = 0,705$, $X^2(10) = 35,252$, $p = 0,001$), taip pat ir inžinierių nuomonės tarpusavyje yra statistiškai reikšmingai suderintos ($W = 0,646$, $X^2(10) = 32,280$, $p = 0,001$).

Respondentai apklausos metu balais vertino dviračių infrastruktūros schemas (2.1 lentelė). Miesto plėtos specialistų apklausos rezultatų statistiniai duomenys pateikti 2.2 lentelėje.

Pagal 2.2 lentelėje pateiktus miesto plėtos specialistų apklausos rezultatus matyti, kad dviračių gatvių atveju didžiausią įvertinimą gavo sprendinys su pažymėtomis raudono asfalto juostomis, dviračių simboliais ir vertikaliu kelio

ženklų (DVG_2, $M = 7,80$, $SD = 0,84$), kuris buvo įvertintas aukščiau nei gatvė, pažymėta tik vertikaliu ženklu (DVG_1, $M = 7,40$, $SD = 2,07$).

2.2 lentelė. Miesto plėtros specialistų apklausos rezultatų duomenys (sudaryta autorės)
Table 2.2. Data on the results of urban development specialists (compiled by the author)

Varianto kodas pagal 2.1 lentelę	Vidurkis	Stand. nuokrypis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
DVG_1	7,4000	2,073 64	5,00	10,00
DVG_2*	7,8000	0,836 66	7,00	9,00
DEJ_1	5,2000	1,788 85	3,00	8,00
DEJ_2	6,0000	2,121 32	3,00	9,00
DEJ_3*	8,8000	1,303 84	7,00	10,00
DEJ_4	7,2000	0,836 66	6,00	8,00
DEJ_5	8,2000	0,836 66	7,00	9,00
DT_1	9,4000	0,547 72	9,00	10,00
DT_2*	9,8000	0,447 21	9,00	10,00
DT_3	8,4000	0,547 72	8,00	9,00
DT_4	5,6000	2,880 97	1,00	8,00

* – saugiausias dviračių infrastruktūros tipo įrengimo sprendinys pagal 1.2 skyrių.

Iš dviračių juostų įrengimo variantų didžiausią įvertinimą respondentai skyrė schemai, kurioje dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta siaura želdinių juosta (DEJ_3, $M = 8,80$, $SD = 1,30$). Kiti gerai vertinti variantai buvo dviračių juosta, atskirta automobilių stovėjimo vietomis, saugos zona ir papildoma apsaugine tvorele (DEJ_5, $M = 8,20$, $SD = 0,84$), bei dviračių juosta, atskirta plačiu horizontaliu ženklinimu (DEJ_2, $M = 6,00$, $SD = 2,12$). Mažiausiai saugumo užtikrinančiu sprendiniu laikyta dviračių juosta, atskirta tik siaura horizontalia ženklinimo linija ir dviračio simboliu (DEJ_1, $M = 5,20$, $SD = 1,79$).

Subjektyviai saugiausias dviračių tako įrengimo variantas buvo 3,5 m pločio dviračių takas, fiziškai atskirtas tiek nuo važiuojamosios dalies, tiek nuo pėsčiųjų tako (DT_2, $M = 9,80$, $SD = 0,45$). Panašiai gerai įvertintas ir siauresnis, 2,5 m pločio dvipusis takas, taip pat fiziškai atskirtas nuo kitų eismo dalyvių (DT_1, $M = 9,40$, $SD = 0,55$). Šiek tiek prasčiau įvertintas buvo dviračių takas, nuo važiuojamosios dalies atskirtas želdinių juosta, bet nuo pėsčiųjų tako tik vejos borteliu (DT_3, $M = 8,40$, $SD = 0,55$). Mažiausiai saugumo jausmo užtikrino sprendinys, kai dviračių takas nuo važiuojamosios dalies atskirtas bortu, o nuo pėsčiųjų tako – želdinių juosta (DT_4, $M = 5,60$, $SD = 2,88$).

Inžinierių apklausos rezultatų statistiniai duomenys pateikti 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Inžinierių apklausos rezultatų duomenys (sudaryta autorės)

Table 2.3. Data on the results of engineers (compiled by the author)

Varianto kodas pagal 2.1 lentelę	Vidurkis	Stand. nuokrypis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
DVG_1	5,8000	2,167 95	3,00	8,00
DVG_2*	8,4000	2,607 68	4,00	10,00
DEJ_1	4,4000	2,302 17	1,00	7,00
DEJ_2	6,8000	1,303 84	5,00	8,00
DEJ_3*	9,0000	1,000 00	8,00	10,00
DEJ_4	6,2000	2,863 56	3,00	10,00
DEJ_5	8,8000	1,303 84	7,00	10,00
DT_1	9,0000	1,000 00	8,00	10,00
DT_2*	10,0000	0,000 00	10,00	10,00
DT_3	8,0000	1,224 74	7,00	10,00
DT_4	6,2000	1,483 24	4,00	8,00

* – saugiausias dviračių infrastruktūros tipo įrengimo sprendinys pagal 1.2 skyrių.

Pagal 2.3 lentelės duomenis matyti, kad inžinieriai, taip pat kaip ir miesto plėtros specialistai, didžiausiais balais įvertino tuos pačius variantus: dviračių gatvė su raudono asfalto juostomis, dviračių simboliais ir vertikaliu kelio ženklu (DVG_2, $M = 8,400$, $SD = 2,607$), dviračių eismo juosta nuo važiuojamosios dalies atskirta siaura želdinių juosta (DEJ_3, $M = 9,000$, $SD = 1,000$) ir 3,5 m pločio dviračių takas, fiziškai atskirtas tiek nuo važiuojamosios dalies, tiek nuo pėsčiųjų tako (DT_2, $M = 10,000$, $SD = 0,000$).

Apibendrinant abiejų respondentų grupių apklausos rezultatus matyti, kad iš kiekvienos infrastruktūros tipo įrengimo grupės schemų saugiausiai buvo vertinti tie patys infrastruktūros įrengimo sprendiniai, kurie buvo nustatyti kaip užtikrinantys didžiausią subjektyvaus saugumo jausmą, literatūros analizės metu. Iš to galima daryti išvadą, kad Lietuvos specialistų nuomonė dėl subjektyvaus saugomo dviračių infrastruktūros įrengimo atžvilgiu atitinka kitų tyrimų rezultatus.

2.2. Subjektyvaus saugumo kiekybinis vertinimas

Transporto eismo srautų tyrimuose dažnai taikomi koregavimo koeficientai (angl. *Adjustment Factor*), siekiant tikslinti trumpalaikius matavimus ir juos pritaikyti prognozėms. Tokie koeficientai leidžia riboto laikotarpio dviračių ar automobilių eismo srautus transformuoti į reprezentatyvesnius rodiklius, pavyzdžiui, valandinius duomenis perskaičiuoti į dienos ar metines reikšmes. Literatūroje dažniausiai naudojami valandiniai, dieniniai ir sezoniniai koeficientai, kurie padeda apskaičiuoti vidutinę paros ar metinę eismo intensyvumo reikšmę iš riboto laikotarpio matavimų (Dadashova et al., 2018; Elesawey, 2014). Ši praktika rodo, kad koeficientų taikymas yra įprasta metodika tiek motorinių transporto priemonių, tiek dviračių eismo tyrimuose.

Tuo pat metu subjektyvus saugumo jausmas daro tiesioginę įtaką transporto priemonės pasirinkimui, todėl tiesiogiai veikia eismo srautus (Friel et al., 2023; Gössling & McRae, 2022). Tyrimai rodo, kad saugesniu laikomas infrastruktūros sprendinys didina tikimybę, jog dviračių eismo srautai bus didesni (Gössling & McRae, 2022; Guo et al., 2023; Rivera Olsson & Eildér, 2023; Stoll et al., 2024b; Vasilev et al., 2022; von Stülpnagel & Rintelen, 2024). 2.1 skyriaus rezultatai patvirtino, kad Lietuvos ekspertų subjektyvaus saugumo vertinimai dviračių infrastruktūros atžvilgiu atitinka užsienio tyrimų išvadas, todėl tarptautinių tyrimų rezultatai gali būti pagrįstai pritaikyti Lietuvos kontekste.

Iš literatūros analizės išsiskiria von Stülpnagel & Rintelen (2024) tyrimo rezultatai, kuriuose viename kontekste vertinami visi pagrindiniai dviračių infrastruktūros įrengimo tipai. Šis tyrimas suteikia galimybę subjektyvaus saugumo įvertinius perskaičiuoti į santykinius koeficientus, kuriuose koeficientas 1 priskiriamas kaip saugiausias sprendinys, o kiti sprendiniai vertinami proporcingai. Gautus koeficientus galima taikyti prognozuojamų dviračių eismo srautams koreguoti, leidžiant kiekybiškai įvertinti, kaip skirtingi infrastruktūros įrengimo sprendiniai gali paveikti srautus Lietuvos miestuose. Tokiu būdu subjektyvaus saugumo vertinimai tampa tiesiogiai integruojami į transporto planavimo prognozes, sudarant pagrindą tikslesniam ir kontekstu pagrįstam dviračių eismo srautų modeliui.

2.2.1. Subjektyvaus saugumo koeficientų nustatymo metodika

Subjektyvaus saugumo koeficientai naudojami siekiant kiekybiškai įvertinti, kaip skirtingi dviračių infrastruktūros įrengimo sprendiniai gali paveikti prognozuojamus dviračių eismo srautus. Šie koeficientai leidžia transformuoti respondentų vertinimus (procentus), rodančius, kiek respondentų laikė tam tikrą sprendinį saugiu, į santykinius skaičius, kurie vėliau gali būti taikomi prognozuojamiems srautams koreguoti.

Koeficientų apskaičiavimas vyksta keliais pagrindiniais žingsniais:

1. Procentų nustatymas. Iš von Stülpnagel & Rintelen (2024) tyrimo duomenų surenkami procentiniai įverčiai, rodantys, kiek respondentų kiekvieną infrastruktūros sprendinį laikė saugiu.
2. Bazinio sprendinio parinkimas. Pirmiausia nustatomas saugiausias infrastruktūros sprendinys, kuris laikomas atskaitos tašku ir kuriam suteikiamas 1 koregavimo koeficientas.
3. Santykinių koeficientų apskaičiavimas. Kiekvienam sprendiniui apskaičiuojamas santykinis koeficientas K_i , taikant (2.6) formulę:

$$K_i = \frac{p_i}{p_{\text{pref}}}, \quad (2.6)$$

čia p_i – nagrinėjamo sprendinio procentas, p_{pref} – bazinio sprendinio procentas.

4. Prognozuojamų dviračių eismo srautų tikslinimas. Gauti koeficientai naudojami prognozuojamiems dviračių eismo srautams koreguoti pagal (2.7) formulę:

$$Fl_p = Fl_b \cdot K_i, \quad (2.7)$$

čia Fl_b – bazinis prognozuojamas dviračių eismo srautas, K_i – santykinis koeficientas, pagal dviračių infrastruktūros sprendinį.

2.2.2. Dviračių infrastruktūros sprendinių koregavimo koeficientai

von Stülpnagel ir Rintelen (2024) tyrime dalyvavo 21 500 respondentų, kurie vertino skirtingus dviračių tipų infrastruktūros įrengimo sprendinius subjektyvaus saugumo atžvilgiu. Iš tyrimo buvo išrinkti duomenys apie infrastruktūros tipo ir sprendinio suteikiamą subjektyvaus saugumo jausmą. Tyrimo rezultatai pateikti 2.4 lentelėje.

Siekiant nustatyti bazinį sprendinį, pagal kurį bus apskaičiuojami santykiniai koeficientai, buvo atlikta Vilniaus miesto savivaldybės Darnaus judumo plano analizė. Analizės metu nustatyta, kad 45,5 % respondentų, dalyvavusių Vilniaus miesto apklausoje, dažniausiai dviračių važiuoja ten, kur nevažiuoja automobiliai (dviračių, pėsčiųjų takais, šaligatviais). Todėl baziniu sprendiniu pasirenkamas A3 sprendinys – dviračių takas viename lygyje su pėsčiųjų taku.

2.4 lentelė. Dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmas skirtinguose infrastruktūros sprendiniuose (von Stülpnagel & Rintelen, 2024)

Table 2.4. Cyclists' subjective feeling of safety in different infrastructure options (von Stülpnagel & Rintelen, 2024)

Sutartinis žymėjimas	Dviračių infrastruktūros sprendinys	Saugumas, %
C1	Dviračių gatvė, vizualiai išsiskirianti iš įprastam eismui skirtų gatvių	11
C2	Dviračių gatvė su rekomendacinėmis juostomis	7
B3	Dviračių juosta (2,0 m pločio), atskirta ištisine linija	23
B2	Dviračių juosta (3,5 m pločio), atskirta ištisine linija	39
B1	Dviračių juosta su fiziniais atskyrimais	60
A3	Dviračių takas viename lygyje su pėsčiųjų taku	50
A2	Dviračių takas nuo pėsčiųjų tako atskirtas per bortelį	57
A1	Dviračių takas fiziškai (veja) atskirtas nuo pėsčiųjų tako	68

Likusių dviračių infrastruktūros sprendinių santykiniai koeficientai apskaičiuojami pagal (2.6) formulę. Apskaičiuoti koeficientai pateikti 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Dviračių infrastruktūros sprendinių santykiniai koeficientai (sudaryta autorės)

Table 2.5. Relative coefficients of bicycle infrastructure solutions (compiled by the author)

Sutartinis žymėjimas	Infrastruktūros tipas	Santykiniai koeficientas
C1	Dviračių gatvė vizualiai išsiskirianti iš įprastam eismui skirtų gatvių	0,22
C2	Dviračių gatvė su rekomendacinėmis juostomis	0,14
B3	Dviračių juosta (2,0 m pločio) atskirta ištisine linija	0,46
B2	Dviračių juosta (3,5 m pločio) atskirta ištisine linija	0,78
B1	Dviračių juosta su fiziniais atskyrimais	1,2
A3	Dviračių takas viename lygyje su pėsčiųjų taku	1
A2	Dviračių takas nuo pėsčiųjų tako atskirtas per bortelį	1,14
A1	Dviračių takas fiziškai (veja) atskirtas nuo pėsčiųjų tako	1,36

Iš 2.5 lentelės duomenų matyti, kad apskaičiuoti santykiniai koeficientai, priklausomai nuo dviračių infrastruktūros sprendinio, kinta nuo 0,14 iki 1,36. Mažiausias koeficientas atitinka dviračių gatves su rekomendacinėmis juostomis – 0,14, o didžiausias koeficientas atitinka dviračių taką, kuris yra fiziškai atskirtas nuo kitų eismo dalyvių – 1,36.

Su 2.5 lentelėje pateiktais dviračių infrastruktūros sprendinių santykiniais koeficientais gali būti tikslinamas prognozuojamas dviračių eismo srautas taikant (2.7) formulę. T. y. bazinis suprognuozuotas dviračių eismo srautas, dauginamas iš santykinio koeficiento, priklausomai nuo planuojamo įrengti dviračių infrastruktūros sprendinio.

Apskaičiuoti santykiniai koeficientai leidžia kiekybiškai įvertinti, kaip skirtingi dviračių infrastruktūros įrengimo sprendiniai gali paveikti prognozuojamus dviračių eismo srautus. Tokiu būdu subjektyvaus saugumo vertinimai tampa tiesiogiai integruoti į transporto planavimo prognozes, sudarant pagrindą tikslesniam prognozuojamam dviračių eismo srautui.

2.3. Pradiniai duomenys eksperimentiniam tyrimui atlikti

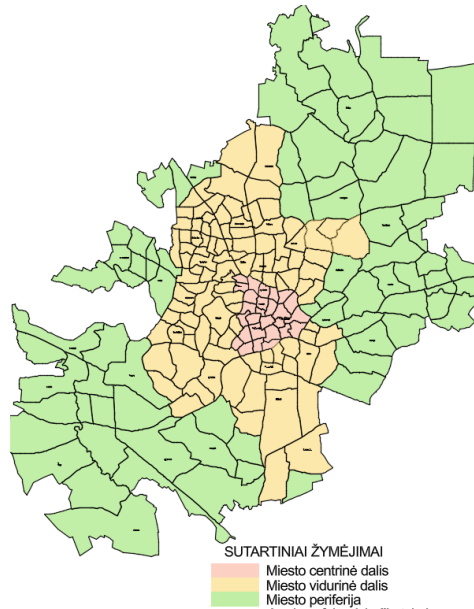
Siekiant atlikti dviračių eismo srautų prognozavimą suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikomis buvo atliekami natūriniai eismo srautų matavimai skirtingose Vilniaus miesto vietose.

2.3.1. Tyrimo vieta

Dviračių eismo srautų prognozavimo eksperimentiniam tyrimui pasirinktas Vilnius miestas. Mieste viešai skelbiami duomenys apie motorinių transporto priemonių eismo srautus, „Strava“ platforma viešam naudojimui teikia duomenis apie fiksuotus dviračių eismo srautus. Naudojantis mieste įrengtomis vaizdo stebėjimo kameromis galima nustatyti dviračių bei paspirtukų eismo srautus.

Vilniaus miestas pagal Vilniaus miesto bendrojo plano sprendinius yra suskirstytas į tris funkcines zonas, kurios skiriasi savo specifika, užstatymo intensyvumu ir tankiu bei traukos objektų skaičiumi (Vilniaus miesto savivaldybė, 2007).

Miesto centrinė dalis – labiausiai funkciškai integruota miesto dalis, kurioje dominuoja darbo vietų skaičius, lyginant su gyventojų skaičiumi. Pagal 2025 m. VĮ „Registų centras“ skelbiamus duomenis čia gyvena tik 14 % visų Vilniaus miesto gyventojų. Tačiau stebimi ryškūs paros eismo srautų svyravimai dėl rytinės traukos į miesto centre esančias darbo vietas ir intensyvaus išvykimo vakarinio piko metu.



2.1 pav. Vilniaus miesto funkcinis zonavimas (sudaryta autorės)

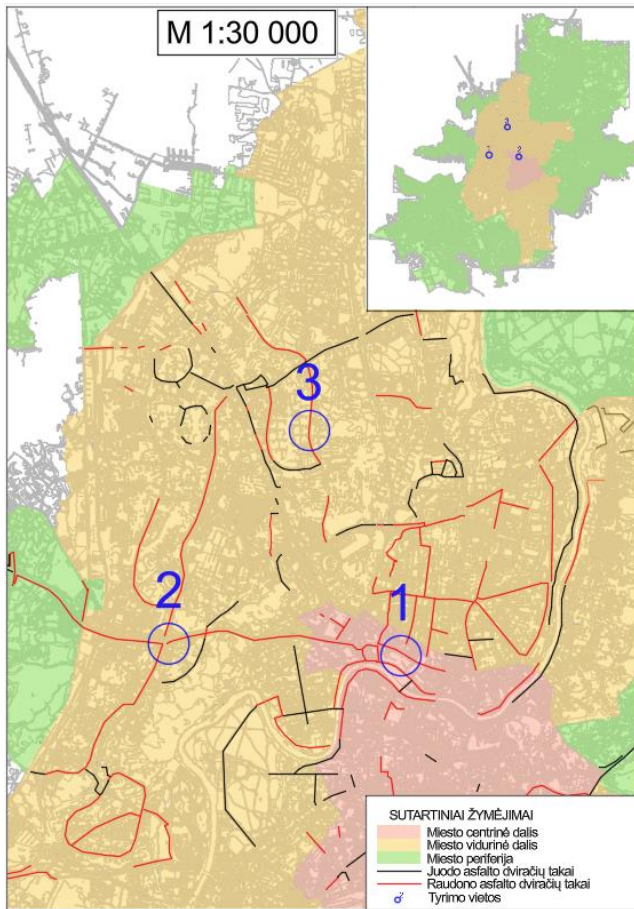
Fig. 2.1. Vilnius city functional zoning (compiled by the author)

Vidurinė miesto dalis pasižymi vidutiniškai mažesniu funkcinės integracijos laipsniu, jai būdinga prieštaringa polifunkcijų ir specializuotų gyvenamųjų, pramonės rajonų visuma (Juškevičius & Valeika, 2020). Kai kuriuose vidurinės funkcinės paskirties gyvenamuosiuose kvartaluose pasitaiko ir pramoninės teritorijos, kitose – specializuotos (pvz., gydymo – Santariškės, švietimo – Saulėtekis), tačiau visose dominuoja gyvenamoji paskirtis. Vidurinėje miesto dalyje, pagal 2025 metų VĮ „Registų centras“ skelbiamus duomenis, gyvena 57 % visų miesto gyventojų.

Periferinė miesto dalis – tai specializuotų rajonų zona, kur vyrauja mažaukščiai gyvenamieji rajonai, grynai pramonės veiklos rajonai, mokslo, mokymo, medicinos centrai, sodų bendrijos (Juškevičius & Valeika, 2020). Čia pastebimas darbo ir socialinės infrastruktūros deficitas, nėra investuojama į susisiekimo ar inžinerinės infrastruktūros plėtrą, kuri būtų prižiūrima miesto. Periferinėje miesto dalyje, pagal 2025 m. VĮ „Registų centras“ skelbiamus duomenis, gyvena 29 % visų miesto gyventojų. Ilgą laiką stebimos tendencijos, kai gyventojai iš vidurinės miesto dalies keliasi gyventi į periferiją dėl mažesnių nekilnojamojo turto kainų. Dėl šios priežasties periferinės dalies gyventojų skaičius palaipsniui didėja.

Miesto periferinėje dalyje automobilių transportui skirta infrastruktūra nėra aktyviai plėtojama, todėl atitinkamai dviračių susisiekimo infrastruktūra taip pat nėra plečiama. Visi ištekliai yra skiriami dviračių susisiekimo infrastruktūros

tinklo plėtrai miesto centrinėje ir vidurinėje dalyje, kur ir vyksta pagrindinės kasdieninės kelionės susisiekimo ar kitais tikslais. Atsižvelgiant į tai, eksperimentiniam tyrimui atlikti pasirinktos 3 vietos – viena miesto centrinėje dalyje ir dvi miesto vidurinėje dalyje (2.2 pav.). Vidurinėje miesto dalyje pasirinktos vietos skiriasi savo integracija į dviračių infrastruktūros tinklą: viena jungiasi prie bendro susisiekimo tinklo, o kita yra nepriklausoma, nesijungianti su likusia infrastruktūra.



2.2 pav. Tyrimų vieta Vilniaus mieste (sudaryta autorės).

Fig. 2.2. Research location in Vilnius city (compiled by the author)

Pirmoji vieta – Konstitucijos pr., esantis Vilniaus miesto centrinėje dalyje (2.2 pav). Konstitucijos pr. yra sparčiai besivystanti naujojo centro teritorija, kurioje kuriasi nauji administraciniai pastatai. Čia yra didžiausias darbo vietų

skaičius, todėl kasdien pritraukia gyventojų iš visų aplinkinių teritorijų. Atitinkamai dviračių susisiekimo infrastruktūra yra pakankamai gerai suplanuota.

Antroji vieta – T. Narbuto g. ir Laisvės pr. sankryža. Nagrinėjama vieta yra vidurinėje miesto funkcinėje zonoje, kur yra daugiabučių gyvenamųjų namų rajonai. T. Narbuto g. jungia didžiausius gyventojų skaičius turinčius gyvenamuosius rajonus su miesto centrine dalimi (2.3 pav.). Gatvėje įrengtas dviračių takas, todėl užtikrinta susisiekimo galimybė tarp gyvenamųjų vietų rajonuose ir miesto centrinės dalies. Atstumas nuo T. Narbuto gatvės iki Konstitucijos prospekto – 3,5 km – yra gana mažas, kad būtų atliekamas kasdieninės kelionės susisiekimo tikslais (iki 5–6 km) (Juškevičius, 2003).

Trečioji analizei pasirinkta vieta – S. Stanevičiaus g. (2.3 pav.). Tai tipiniame daugiabučių gyvenamųjų namų rajone esanti gatvė. Gatvėje yra įrengti dviračių takai, tačiau jie nesijungia į bendrą dviračių infrastruktūros tinklą, kad būtų užtikrinta galimybė susisiekti su miesto centrine dalimi (2.3 pav.). Atstumas iki miesto centrinės dalies, naudojantis šiuo metu įrengta infrastruktūra (Gelvonų g., Ozo g., Kernavės g.), 5,4 km, jei būtų įrengta Vilniaus miesto savivaldybės Darnaus judumo plane numatyta infrastruktūra (Ukmergės g.), atstumas būtų – 4,5 km. Papildomai susisiekimą su centrine miesto dalimi apsunkina ir rajoną nuo centro skiriantis Šeškinės kalnas, kurio įkalnė Ukmergės g. siekia apie 5,9 %, Ozo g. – 4,2 %.

2.3.2. Duomenų rinkimo būdai

Siekiant atlikti eksperimentinius tyrimus, analizei pasirinktose vietose buvo atliekami natūriniai dviračių ir paspirtukų eismo srautų matavimai. Naudojantis duomenų bazėmis, buvo renkami duomenys apie motorinių transporto priemonių eismo srautus, „Strava“ programoje užfiksuotus dviračių eismo srautus ir oro sąlygas.

Dviračių ir paspirtukų eismo srautai buvo fiksuojami peržiūrint Vilniaus miesto sankryžų eismo kamerų duomenis SĮ „Susisiekimo paslaugos“ Eismo valdymo centre. Tiriamosiose vietose buvo identifiкуotos esamos vaizdo stebėjimo kameros. Tuomet peržiūrint įrašus buvo fiksuojami gatve pravažiuojantys paspirtukai ir dviratininkai.

Vilniaus mieste yra kaupiami duomenys apie motorinių transporto priemonių srautus daugumoje gatvių. SĮ „Susisiekimo paslaugos“ yra sukūrusios atvirą duomenų bazę, kurioje galima rasti informaciją apie motorinių transporto priemonių eismo srautus įvairiose gatvėse visu paros metu. Naudojantis šia baze, buvo surinkti duomenys apie motorinių transporto priemonių eismo srautus tiriamosiose vietose.

Daugelyje mokslinių tyrimų naudojami nauji duomenų gavimo šaltiniai, tokie kaip duomenys iš dviračių dalijimosi stotelių ar duomenys iš sporto programėlių.

Atitinkamai ir šiame tyrime buvo pasinaudota duomenimis apie dviračių srautus iš „Strava“ programos. „Strava“ programa yra skirta sportiniams pasiekimams fiksuoti. Programėlė naudoja GPS sekiklius, kai vartotojas ją aktyvuoja užsiimdamas sportine veikla, o sukaupti duomenys yra renkami programoje. „Strava“ platformoje duomenys apie dviračių srautus skirstomi pagal savaites dienas, paros laiką ir kelionės tikslą, todėl suteikiama galimybė išsifiltruoti reikiamus duomenis. Atitinkamai tyrimui buvo panaudoti duomenys apie dviračiais atliekamas keliones susisiekimo tikslais.

Duomenys apie oro sąlygas buvo renkami pagal matavimo metu skelbtas oro prognozes Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos internetiniame puslapyje.

Duomenys apie kritulius buvo fiksuojami peržiūrint eismo kamerų duomenis ir pastebint kritulius.

2.3.3. Duomenų rinkimo laikotarpis

Visi duomenys buvo renkami metus laiko, t.y. nuo 2023 m. rugsėjo 26 d. iki 2024 m. rugsėjo 26 d. Metų laikotarpis buvo pasirinktas siekiant nustatyti, kada yra tikslingiausia rinkti duomenis apie dviračių srautus, kadangi žinoma, jog yra sezoniniai svyravimai naudojantis dviračiu (Fournier et al., 2017). Moksliniais tyrimais nustatyta, kad didžiausi dviračių eismo srautai fiksuojami nuo kovo iki spalio mėnesio (Lin & Fan, 2020). Tačiau, priklausomai nuo miesto ar šalies, dviračių srautų pikas gali kisti. Atsižvelgiant į tai, iš surinktų duomenų bus nustatomas laikotarpis, kada dviračių eismo srautai yra didžiausi, ir su tais duomenimis bus atliekama analizė.

Duomenys apie eismo srautus buvo renkami tik darbo dienomis, nes taip yra atspindimos kelionės susisiekimo tikslais. Nustatyta, kad po Covid-19 pandemijos darbuotojai dažniausiai renkasi pirmadieniais dirbti iš namų (Burke et al., 2024). O penktadienis yra pereinamoji diena tarp darbo savaitės ir savaitgalio, todėl transporto priemonių srautuose atsispindi kelionės ne tik susisiekimo tikslais, bet ir rekreaciniais tikslais (Kinoshita et al., 2024). Atsižvelgiant į tai eismo srautai buvo matuojami dienomis, kurios tiksliausiai atspindi keliones, atliekamas susisiekimo tikslais – antradieniais, trečiadieniais ir ketvirtadieniais.

Buvo pasirinkta eismo srautus matuoti tik rytinio piko ir vakarinio piko valandomis. Pasirinkimas grindžiamas daugeliu mokslinių tyrimų, kuriuose taip pat prognozuojamas srautas pagal piko valandą (Hankey et al., 2021; Lu et al., 2018; Melo & Isler, 2023; Myhrmann & Mabit, 2023; Oskarbski et al., 2021; Pogodzinska et al., 2020).

Dviračių eismo srautų piko valandos gali būti nevienodai pasiskirsčiusios, priklausomai nuo tiriamosios vietos mieste. Todėl kiekvienoje analizuotoje vietoje antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį buvo fiksuojami dviračių eismo srautai rytiniam pikui nustatyti nuo 7:00 val. iki 9:00 val., vakariniam pikui

nustatyti nuo 16:00 val. iki 19:00 val. Atlikus matavimus nustatyta, kad visose tyrimui pasirinktose vietose rytinis pikas yra 7:30–8:30 val., vakarinis pikas 17:30–18:30 val. Piką taip pat paaiškina ir vidutinis tyrimo vietų nutolimo atstumas nuo miesto centrinės dalies 3–4 km.

2.4. Suvestinės elgsenos metodika

Suvestinės elgsenos metodikoje dviračių eismo srautai dažniausiai yra prognozuojami naudojant daugianarę tiesinę regresinę analizę. Šis regresinės analizės metodas buvo pasirinktas ir eksperimentiniam tyrimui atlikti, nes tyrime dviračių eismo srautai yra prognozuojami naudojant daugiau nei vieną nepriklausomąjį kintamąjį, siekiama nustatyti, kokią įtaką modeliams turi skirtingų nepriklausomųjų kintamųjų naudojimas, bei dauguma tyrime naudojamų nepriklausomųjų kintamųjų duomenų yra intervaliniai.

2.4.1. Priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų nustatymas

Natūrinių tyrimų metu surinkti duomenys bus naudojami regresinės analizės metu. Todėl atitinkamai nustatomi priklausomieji kintamieji, kurie yra prognozuojami (2.6 lentelė).

2.6 lentelė. Priklausomųjų kintamųjų aprašymas (sudaryta autorės)

Table 2.6. Description of dependent variables (compiled by the author)

Priklausomasis kintamasis	Kintamojo apibūdinimas	Mato vienetas
Y1	Vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas	dv./h
Y2	Rytinio piko valandos dviračių eismo srautas	dv./h
Y3	Vakarinio piko valandos dviračių eismo srautas	dv./h

Iš 2.6 lentelės duomenų matyti, kad bus prognozuojamas rytinio piko valandos (Y2) dviračių eismo srautas ir vakarinio piko valandos (Y3) dviračių eismo srautas. Vidutinės piko valandos (Y1) dviračių eismo srautas bus apskaičiuojama pagal (2.6) formulę:

$$M(z) = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b z_i, \quad (2.8)$$

čia b – kintamųjų skaičius, z – kintamojo reikšmė.

Vidutinės piko valandos kintamasis įvedamas dėl kelių priežasčių. Pagal Lietuvos statybos techninį reglamentą dviračių takų plotis parenkamas

atsižvelgiant į vidutinės valandos dviračių eismo srautą (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2011). Tačiau kitose šalyse, pavyzdžiui, Olandijoje, Lenkijoje, Vokietijoje, Didžiojoje Britanijoje dviračių takų plotis parenkamas vadovaujantis piko valandos dviračių eismo srautais (CROW, 2016; Department for Transport, 2020; Ministerstwo Infrastruktury, 2019; Vegdirektoratet, 2013). Atitinkamai ir mokslinėje literatūroje nustatyta, kad didžiausi dviračių eismo srautai yra fiksuojami rytinio, vidurdienio ir vakarinio piko valandomis (Hankey et al., 2021; Lin & Fan, 2020; Lu et al., 2018; Myhrmann & Mabit, 2023). Taip pat nustatyta, kad vidutinis valandos dviračių srautas gali būti net iki 66 % mažesnis nei piko valandos dviračių srautas (Chen et al., 2017). Tai rodo, kad tiek užsienio šalių teisinis reguliavimas, tiek dauguma mokslinių tyrimų patvirtina piko valandos rodiklio tinkamumą infrastruktūrai planuoti. Nors įmanoma infrastruktūrą projektuoti maksimaliam planuojamam eismo srautui, tačiau toks modelis būtų netinkamas dėl didelių finansinių išlaidų ir neefektyvios miesto erdvės panaudojimo (Lelke & Friedrich, 2025). Atsižvelgiant į tai tyrime pasirinkta papildomai naudoti kompromisinį rodiklį: vidutinę piko valandą. Jis pasirenkamas kaip tarpinis kintamasis tarp Lietuvoje statybos techniniu reglamentu taikomos vidutinės dienos valandos ir piko valandos, taip siekiant suderinti prognozių tikslumą su racionaliu infrastruktūros planavimu.

Iš natūrinių matavimų metu surinktų duomenų nustatomi nepriklausomieji kintamieji, kuriais naudojantis bus paaiškintos priklausomųjų kintamųjų reikšmės (2.7 lentelė).

2.7 lentelė. Nepriklausomųjų kintamųjų aprašymas (sudaryta autorės)

Table 2.7. Description of independent variables (compiled by the author)

Nepriklausomasis kintamasis	Kintamojo apibūdinimas	Mato vienetas
1	2	3
X1	Rytinio piko valandos „Strava“ platformos fiksuotas dviratininkų skaičius	dv./h
X2	Rytinio piko valandos paspirtukų ir dviračių eismo srautas	Mik./h
X3	Rytinio piko valandos motorinių transporto priemonių eismo srautas	Tr. pr./h
X4	Vakarinio piko valandos „Strava“ platformos fiksuotas dviratininkų skaičius	dv./h
X5	Vakarinio piko valandos paspirtukų ir dviračių eismo srautas	Mik./h
X6	Vakarinio piko valandos motorinių transporto priemonių eismo srautas	Tr. pr./h

2.7 lentelės pabaiga

1	2	3
X7	Krituliai	1 – Yra kritulių, 0 – nėra kritulių
X8	Minimali dienos oro temperatūra	°C
X9	Maksimali dienos oro temperatūra	°C
X10	Vidutinė dienos oro temperatūra	°C

Vidutinė dienos oro temperatūrą (X_{10}) apskaičiuojama pagal (2.8) formulę.

2.4.2. Pradinių duomenų tvarkymas

Natūriniais matavimais surinkti duomenys turi būti tinkamai sutvarkyti, kad būtų juos galima naudoti regresinėje analizėje.

Visų pirma, visi naudojami kintamieji turi būti intervalinėje skalėje. Reikšmės, kurios yra kategorinėje skalėje, turi būti pertvarkomos į nominalią skalę. Nepriklausomasis kintamasis *krituliai* (X_7) yra kategorinėje skalėje – yra kritulių ir nėra kritulių. Todėl šis kintamasis turėjo būti paverstas į pseudo-kintamąjį, kad įgytų dvi reikšmes: 1 – yra kritulių, 0 – nėra kritulių.

Antra, kintamieji turi būti normalieji – pasiskirstę pagal „varpo formą“. Jei ši sąlyga nėra tenkinama duomenys transformuojami.

Trečia, duomenyse neturi būti išskirčių, kadangi modelis sudarytas su išskirtimis nėra patikimas. Išskirtys nustatomos sudarant kintamųjų pasiskirstymo grafikus (angl. *boxplot*). Išskirtys šalinamos iš kintamųjų.

Naudojamų kintamųjų duomenys turi būti homoskedastiški. Šiai prielaidai patikrinti sudaromi nepriklausomųjų kintamųjų priklausomybės nuo priklausomųjų kintamųjų grafikai. Jei gauti priklausomojo kintamojo reikšmių duomenys pasiskirstę tolygiais „debesėliais“, nepriklausomojo kintamojo reikšmėms duomenys tenkina homoskedastiškumo sąlygą.

2.4.3. Pirsono koreliacija

Siekiant nustatyti, kuriuos priklausomuosius kintamuosius įtraukti į regresinę analizę, atliekama kelių kintamųjų analizė (angl. *multiple variable analysis*). Kelių kintamųjų analizės metu apskaičiuojamos koreliacinės reikšmės tarp kintamųjų porų. Pirsono koreliacijos koeficientas r parodo koreliacinio ryšio stiprumą tarp dviejų kintamųjų. Ryšys nusakomas nuo -1 iki 1 , čia -1 – rodo tobulą neigiamą koreliaciją, $+1$ – rodo tobulą teigiamą koreliaciją, o 0 – rodo, jog koreliacijos nėra. Pirsono koreliacijos koeficientas apskaičiuojamas pagal (2.9) formulę.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.9)$$

čia r – koreliacijos koeficientas, y – priklausomasis kintamasis; x – nepriklausomasis kintamasis, n – imties dydis.

Koreliacijos koeficientų stiprumas interpretuojamas vadovaujantis intervalais:

- $|r| < 0,3$ – labai silpna koreliacija;
- $0,3 \leq |r| < 0,5$ – silpna koreliacija;
- $0,5 \leq |r| < 0,7$ – vidutinė koreliacija;
- $0,7 \leq |r| < 0,9$ – stipri koreliacija;
- $0,9 \leq |r| < 1$ – labai stipri koreliacija.

Kelių kintamųjų analizės metu nustatoma p reikšmė, kuri parodo apskaičiuotų koreliacijos koeficientų reikšmių statistinį reikšmingumą. p reikšmės, mažesnės nei 0,05, rodo statistiškai reikšmingas nenulines koreliacijas esant 95 % pasiklovimo lygiui. Atlikta analizė parodo, kokios poros yra statistiškai reikšmingos ir su kokiais nepriklausomaisiais kintamaisiais koreliuoja priklausomieji kintamieji: vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas (Y1), rytinio piko valandos dviračių eismo srautas (Y2), vakarinio piko valandos dviračių eismo srautas (Y3).

2.4.4. Daugianarės tiesinės regresinės analizės modelis

Nustatant ryšį tarp priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų, naudojamas daugianarės regresinės analizės modelis.

Atliekant daugianarę regresinę analizę, kai kurio nors nepriklausomojo kintamojo p reikšmė yra didesnė už 0,05 arba lygi šiam skaičiui, šis kintamasis yra šalinamas iš lygties, nes jis nėra statistiškai reikšmingas esant 95 % patikimumo lygiui. Tuomet daugianarė regresija yra kartojama su likusiais kintamaisiais iki tol, kol visi modelio kriterijai yra statistiškai reikšmingi. Tačiau, statistiškai nereikšmingo regresoriaus pašalinimas iš lygties gali sumažinti modelio determinacijos koeficientą, todėl, jei statistiškai nereikšmingas regresorius padidina determinacijos koeficientą, regresorius yra paliekamas lygtyje (Čekanavičius & Mukauskas, 2014).

Daugianarės regresinės analizės (angl. *multiple regression*) modelio išraiška:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon, \quad (2.10)$$

kur β_p – koeficientai prie nepriklausomųjų kintamųjų; x_p – nepriklausomieji kintamieji; ε – atsitiktinės klaidos komponentas.

2.4.5. Modelio tinkamumas

Tyrime regresinės analizės modelis yra laikomas tinkamu, kai tenkinamos šios sąlygos:

1. Determinacijos koeficientas $R < 0,20$. Determinacijos koeficientas gali įgyti reikšmes nuo 0 iki 1, todėl kuo didesnis determinacijos koeficientas tuo modelis labiau tinka naudotiems duomenims.
2. ANOVA p reikšmė turi būti mažesnė arba lygi 0,05.
3. Dispersijos mažėjimo daugiklis (VIF) turi būti mažesnis už 4.
4. Duomenyse neturi būti išskirčių, t. y. Kuko matas turi būti mažesnis už 1.
5. Priklausomasis kintamasis turi būti normaliai pasiskirstęs. Tikrinama modelio histograma, kuri lyginama su normaliąja kreive ir standartizuotų liekamųjų paklaidų ir standartinio atsiktinio dydžio santykinų procentinių dažnių P-P grafiku. Kuo grafike taškai yra arčiau nubrėžtos tiesės, tuo duomenys yra normalesni.
6. Breušo–Pagano kriterijaus p reikšmė didesnė už 0,05 arba lygi šiam skaičiui. Tai parodo, ar homoskedastiškumo prielaida patenkinta.

2.5. Eskizinio planavimo metodika

Mokslinėje literatūroje vienas iš galimų dviračių srautų prognozavimo metodikų buvo eskizinio planavimo metodika. Paskutinį kartą ji buvo pritaikyta Griffin (2009). Mokslinėje literatūroje niekada nebuvo nustatytas šios metodikos tikslumas – lyginant su natūriniais matavimais nustatytais dviračių srautų duomenimis ar apskaičiuojamas gautų rezultatų MAPE.

Atsižvelgiant į tai, kad Griffin (2009) kurdamas savo metodiką analizavo jau iki tol kitų autorių aprašytas metodikas (Krizek et al., 2006; Turner et al., 1998) bei metodikoje yra naudojami transporto priemonių srautai (visuotinai prieinami duomenys), nuspręsta atlikti eksperimentinį tyrimą pagal paskutinį kartą aprašytą metodiką ir nustatyti šios metodikos tikslumą.

Griffin (2009) dviračių srautų prognozavimo metodikos žingsniai:

1. Nustatoma mieste dviračiais atliekamų kelionių dalis susisiekimo tikslais.
2. Nustatoma mieste bendra dviračiais atliekamų kelionių dalis (susi-
siekimo + rekreacinės).

3. Nustatoma bendra nagrinėjamos teritorijos dviračiais atliekamų kelionių dalis.
4. Nustatomas transporto priemonių srautas nagrinėjamoje teritorijoje.
5. Pagal proporciją apskaičiuojamas esamas dviračių srautas.

Kadangi Vilniaus mieste yra surinkti duomenys apie modalinį kelionių pasidalijimą atskiruose rajonuose Griffin (2009) aprašyta metodika šiame tyrime yra supaprastinta, praleidžiant nereikalingus žingsnius.

T. y. praleidžiamas 1 ir 2 žingsnis, kadangi jų metu yra nustatoma, koks yra bendras, nepriklausomai nuo kelionės tikslo, viso miesto modalinis kelionių pasidalijimas, siekiant apskaičiuoti nagrinėjamo rajono modalinio kelionių pasidalijimo duomenis. Vilniaus miesto atveju duomenys apie modalinį pasidalijimą yra pateikiami atskirais rajonais (SĮ „Susisiekimo paslaugos“, 2022). Patobulinta metodika:

1. Nustatomas nagrinėjamos teritorijos dienos dviračiais atliekamų kelionių dalis.
2. Nustatomas nagrinėjamoje teritorijoje esantys transporto priemonių srautas.
3. Pagal (2.11) formulę apskaičiuojamas prognozuojamas dviračių eismo srautas.

$$P_{dv} = \frac{S_{tr} \cdot M_{dv}}{M_{tr}}, \quad (2.11)$$

čia P_{dv} – prognozuojamas dviračių eismo srautas, dv./h; S_{tr} – transporto priemonių srautas, tr. pr. /h, M_{dv} – dviračiais atliekamų kelionių dalis, M_{tr} – transporto priemonėmis atliekamų kelionių dalis.

Pagal (2.11) formulę apskaičiuojama reikšmingų mėnesių, be išskirčių, prognozuojami dviračių eismo srautai vidutinei piko valandai, rytinio piko valandai ir vakarinio piko valandai.

2.6. Dviračių srautų prognozavimo metodikų tikslumo vertinimas

Siekiant įvertinti skirtingų dviračių srautų prognozavimo metodikų tikslumą, nustatyti bendri tikslumo vertinimo rodikliai.

Tyrimė lyginamos dvi skirtingos dviračių eismo srautų prognozavimo metodikos – suvestinės elgsenos metodika ir eskizinio planavimo metodika. Pradiniame vertinimo etape suvestinės elgsenos metodikos tikslumas vertinamas pagal determinacijos koeficientą (R^2), nes naudojama regresinė analizė. O

eskizinio planavimo metodikos tikslumas vertinamas pagal vidutinę absoliučią procentinę paklaidą (MAPE). MAPE yra apskaičiuojama pagal (2.12) formulę:

$$MAPE = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^c \left(\frac{F_i - A_i}{A_i} \right) \cdot 100 \%, \quad (2.12)$$

čia c – matavimų skaičius, A_i – išmatuota reikšmė, F_i – prognozuojama reikšmė.

Dėl skirtingų tikslumo vertinimo metodų (R^2 ir MAPE) tiesioginis metodikų palyginimas yra ribotas. Todėl, siekiant užtikrinti rezultatų objektyvumą ir galimybę tiesiogiai palyginti abiejų metodikų tikslumą, nuspręsta naudoti vieną vertinimo kriterijų – MAPE.

Nors MAPE yra plačiai naudojamas kaip rodiklis prognozavimo metodikoms įvertinti, pagrindinis jo trūkumas yra tas, kad kai faktinės naudojamų duomenų vertės yra labai mažos, MAPE rezultatai yra labai dideli (Kim & Kim, 2016; Miah et al., 2024). Dar vienas MAPE trūkumas yra tas, kad ji rodo didesnę paklaidą, kai skirtumas tarp esamos ir prognozuojamos reikšmės yra teigiamas, o ne neigiamas (Jierula et al., 2021). Pavyzdžiui, jei esamas dviračių eismo srautas yra 10 dv./h, o jo prognozuojamas yra 15 dv./h, tai paklaida yra 5 dv./h (teigiama). MAPE vertė būtų:

$$MAPE = \left| \frac{15-10}{10} \right| \cdot 100 \% = 50 \%. \quad (2.13)$$

Tačiau, kai esamas dviračių srautas yra 15 dv./h, o prognozuojamas yra 10 dv./h, paklaida vis tiek yra 5 dv./h (neigiama). MAPE reikšmė būtų daug mažesnė:

$$MAPE = \left| \frac{10-15}{15} \right| \cdot 100 \% = 33,3 \%. \quad (2.14)$$

Atsižvelgiant į tai, kad natūrinių tyrimų metu užfiksuoti dviračių eismo srautai yra maži (didžiausias vakaro piko valandos dviračių eismo srautas T. Narbuto g. – 252 dv./h, Konstitucijos pr. – 80 dv./h, S. Stanevičiaus g. – 59 dv./h), ir prognozuojamas dviračių eismo srautas gali būti tiek didesnis, tiek mažesnis už esamą dviračių srautą, metodikų tikslumas taip pat vertinamas pagal vidutinę absoliučiąją paklaidą (MAE). MAE rodiklis rodo skaitinį skirtumą tarp esamų ir prognozuojamų dviračių eismo srautų ir apskaičiuojamas pagal (2.15) formulę:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i - A_i|. \quad (2.15)$$

Eksperimentinio tyrimo metu, pritaikius abi metodikas Vilniaus miesto kontekste, bus nustatyti prognozuojami dviračių eismo srautai trijų skirtingų paros laikotarpių metu: rytinio piko, vakarinio piko ir vidutinės piko valandos. Kiekvienam laikotarpiui bus apskaičiuotas atskiras MAPE ir MAE rodiklis, leidžiantis įvertinti prognozės procentinę ir skaitinę paklaidą pagal paros laiką.

Tikslingesnė metodika bus laikoma ta, kurios MAPE ir MAE rodiklis bus mažesnis, t. y. kuri pasižymės didesniu prognozės tikslumu esant skirtingoms eismo intensyvumo sąlygoms.

2.7. Antrojo skyriaus išvados

1. Atlikus ekspertinę apklausą nustatyta, kad abi skirtingų sričių specialistų grupės vieningai nustatė tuos pačius dviračių infrastruktūros įrengimo sprendinius saugiausius – vizualiai iš įprastų eismo sąlygų išsiskiriančias dviračių gatves, fiziškai nuo važiuojamosios dalies atskirtas dviračių juostas bei nuo kitų eismo dalyvių fiziškai atskirtus dviračių takus. Šie rezultatai atitinka kitų šalių mokslininkų tyrimų rezultatus, patvirtindami, jog subjektyvus saugumo suvokimas yra universalus, todėl tarptautinių tyrimų rezultatai gali būti taikomi ir Lietuvos kontekste.
2. Apskaičiuoti skirtingų dviračių infrastruktūros sprendinių koregavimo koeficientai, leidžiantys prognozuojamuose dviračių eismo srautų modeliuose kiekybiškai įvertinti subjektyvaus saugumo įtaką. Kadangi subjektyvus saugumo jausmas tiesiogiai veikia sprendimą rinktis važiavimą dviračiu, šių koeficientų taikymas suteikia galimybę tikslinti prognozuojamus dviračių eismo srautus pagal planuojamą infrastruktūros tipą. Nustatyta, kad priklausomai nuo dviračių infrastruktūros sprendinio koregavimo koeficientai kinta nuo 0,14 (dviračių gatvė su rekomendacinėmis juostomis) iki 1,36 (dviračių takas fiziškai atskirtas nuo kitų eismo dalyvių).
3. Eksperimentiniam dviračių eismo srautų tyrimui, taikant suvestinės elgsenos metodiką, pasirinktos T. Narbuto, Konstitucijos pr. ir S. Stanevičiaus gatvės Vilniuje. Natūrinių tyrimų metu surinkti duomenys – mikromobilumo priemonių eismo srautas, „Strava“ dviračių eismo srautas, motorinių transporto priemonių eismo srautas, oro temperatūra ir krituliai – bus naudojami kaip nepriklausomieji kintamieji daugianarės tiesinės regresinės analizės metu. Šis statistinės analizės metodas pasirinktas atsižvelgiant į surinktų duomenų pobūdį bei remiantis mokslinėje literatūroje dažniausiai taikomais metodais prognozuojant dviračių eismo srautus pagal suvestinės elgsenos metodiką.
4. Eksperimentinis dviračių eismo srautų tyrimas atliekamas pagal Griffin (2009) sudarytą eskizinio planavimo metodiką. Ši metodika pasirinkta dėl galimybės naudoti laisvai prieinamus duomenis –

miesto modalinį pasidalijimą ir motorinių transporto priemonių eismo srautus. Siekiant įvertinti skirtingų metodikų tikslumą ir panaudojimo galimybes, tyrimas atliekamas tose pačiose Vilniaus miesto vietose, o analizėje naudojami natūrinių eismo tyrimų metu surinkti duomenys.

5. Nustatyta, kad moksliniuose tyrimuose suvestinės elgsenos metodikos tikslumas dažniausiai vertinamas determinacijos koeficientu, o eskizinio planavimo metodikos tikslumo įvertinimas dar nebuvo atliktas. Siekiant palyginti skirtingų metodikų tikslumą, nuspręsta taikyti vienodus tikslumo rodiklius – MAPE ir MAE, leidžiančius kiekybiškai įvertinti prognozių nuokrypį nuo faktinių reikšmių.

3

Eksperimentiniai dviračių eismo srautų prognozavimo tyrimai

Skyriuje pateikti eksperimentinių dviračių eismo srautų tyrimų pagal suvestinės elgsenos studijų ir eskizinio planavimo metodikas rezultatai. Aprašyta tyrimų eiga, gauti rezultatai, įvertintas metodikų tikslumas.

Skyriaus tematika kartu su bendraautoriais paskelbtas vienas autorės straipsnis (Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2025).

3.1. Natūriniai dviračių eismo srautų matavimai

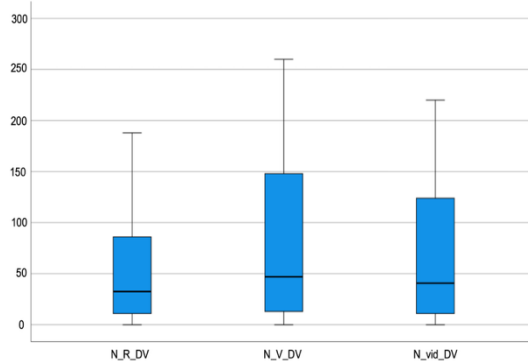
3.1.1. Statistiškai reikšmingos piko valandos

Siekiant nustatyti, ar yra statistiškai reikšmingas skirtumas tarp rytinio piko valandos ir vakarinio piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymo, buvo atliekamas porinių imčių Stjudento t testas. Kadangi rytinio ir vakarinio piko dviračių eismo srautai buvo matuoti tomis pačiomis dienomis, atliekamas priklausomų imčių Stjudento t testas pagal (3.1) formulę:

$$t = \frac{\bar{u} - \bar{v}}{\sqrt{s_d^2/n}} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{s_d^2/n}}, \quad (3.1)$$

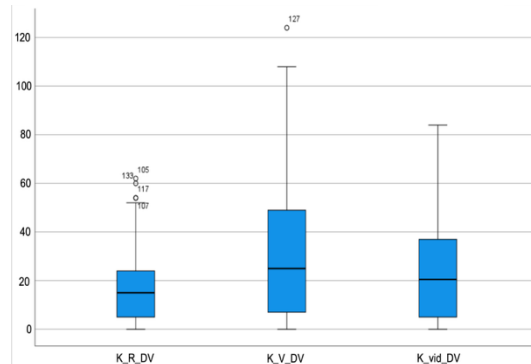
čia \bar{u}, \bar{v} – imčių vidurkiai, $\bar{d} = (d_1 + \dots + d_n)/2$ – skirtumų vidurkis, $S_d^2 = (d_1^2 + \dots + d_n^2 - nd^{-2})/(n - 1)$ – skirtumų dispersija.

Analizuoto laikotarpio, rytinio piko, T. Narbuto g. dviračių eismo srauto vidurkis ($M = 49,54, SD = 45,44$) buvo 34,06 dv./h mažesnis už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($M = 83,60, SD = 75,49$). Atlikus Stjudento t testą nustatyta, kad rytinio piko valandos dviračių eismo srauto vidurkis buvo statistiškai reikšmingai mažesnis už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($t(157) = -10,085, p < 0,001, d = -0,802$).



3.1 pav. T. Narbuto g. analizuoto laikotarpio, rytinio piko (N_R_DV), vakarinio piko (N_V_DV) ir vidutinės piko valandos (N_vid_DV) pasiskirstymo diagramos (sudaryta autorės)

Fig. 3.1. Distribution diagrams of the analysed period, morning peak (N_R_DV), evening peak (N_V_DV) and average peak (N_vid_DV) hour for T. Narbuto St. (compiled by the author)

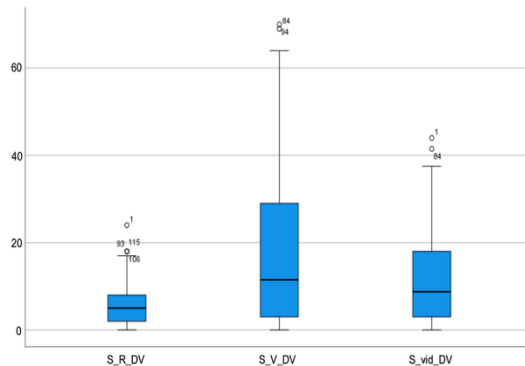


3.2 pav. Konstitucijos pr. analizuoto laikotarpio, rytinio piko (K_R_DV), vakarinio piko (K_V_DV) ir vidutinės piko (K_vid_DV) valandos pasiskirstymo diagramos (sudaryta autorės)

Fig. 3.2. Distribution diagrams of the analysed period, morning peak (K_R_DV), evening peak (K_V_DV) and average peak (K_vid_DV) hour for Konstitucijos Ave. (compiled by the author)

Analizuoto laikotarpio, rytinio piko, Konstitucijos pr. dviračių eismo srauto vidurkis ($M = 16,99$, $SD = 14,56$) buvo 13,503 dv/h mažesni už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($M = 30,49$, $SD = 25,45$). Atlikus Stjudento t testą nustatyta, kad rytinio piko valandos dviračių eismo srauto vidurkis buvo statistiškai reikšmingai mažesnis už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($t(157) = -11,105$, $p < 0,001$, $d = -0,886$).

Analizuoto laikotarpio, rytinio piko, S. Stanevičiaus g. dviračių eismo srauto vidurkis ($M = 5,95$, $SD = 4,58$) buvo 11,63 dv/h mažesnis už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($M = 17,59$, $SD = 17,01$). Atlikus Stjudento t testą nustatyta, kad rytinio piko valandos dviračių eismo srauto vidurkis buvo statistiškai reikšmingai mažesnis už vakarinio piko dviračių eismo srauto vidurkį ($t(157) = -10,258$, $p < 0,001$, $d = -0,816$).



3.3 pav. S. Stanevičiaus g. analizuoto laikotarpio, rytinio piko (S_R_DV), vakarinio piko (S_V_DV) ir vidutinės piko (S_vid_DV) valandos pasiskirstymo diagramos (sudaryta autorės)

Fig. 3.3. Distribution diagrams of the analysed period, morning peak (S_R_DV), evening peak (S_V_DV) and average peak (S_vid_DV) hour for S. Stanevičiaus St. (compiled by the author)

Iš gautų rezultatų matyti, kad visų analizuotų vietų rytinio piko dviračių eismo srautai yra statistiškai reikšmingai mažesni už vakarinio piko dviračių eismo srautus. Tai rodo, kad prognozavimo modelis, sudarytas pagal rytinio piko dviračių eismo srautus, netenkins vakarinio piko metu esančio srauto pralaidumo, ir atvirkščiai – vakarinio piko metu sudarytas modelis viršys rytinio piko metu esamus dviračių eismo srautus. Todėl atitinkamai tarpinis variantas yra vidutinė piko valanda, kurios naudojimo pagrįstumas pateiktas 2.4.1 poskyryje.

3.1.2. Statistiškai reikšmingos dienos

Siekiant pagrįsti, kad analizei buvo pasirinktos tinkamos savaitės dienos ir kad tarpusavyje jos nesiskiria eismo intensyvumo atžvilgiu, atliekama analizuotų dienų vidutinės piko valandos dispersinė analizė (angl. *ANalysis Of VAriance*). Dispersinės analizės tikslas yra nustatyti, ar priklausomojo kintamojo, išmatuoto skirtingose populiacijose, vidurkiai skiriasi. Dispersinės analizės (3.2) formulė:

$$F = \frac{MSB}{MSW}, \quad (3.2)$$

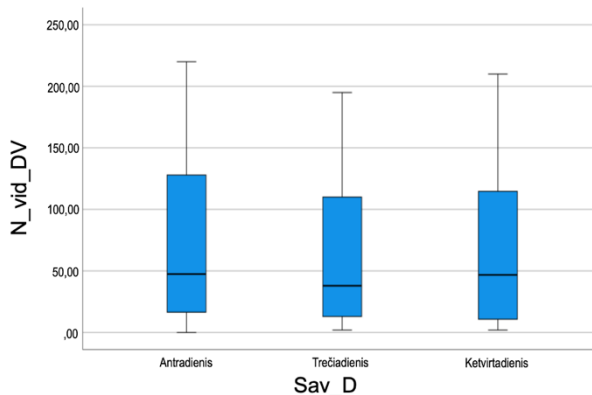
čia MSB – tarpgrupinis dispersijos įvertis, apskaičiuojamas pagal (3.3) formulę, MSW – dispersijos įverčiai viduje grupių, apskaičiuojami pagal (3.4) formulę, F – Fišerio kriterijaus reikšmė.

$$MSB = \frac{SSB}{p-1} = \frac{f_1(\bar{w}_1 - \bar{w})^2 + \dots + f_k(\bar{w}_p - \bar{w})^2}{p-1}, \quad (3.3)$$

čia SSB – kvadratinų nuokrypių suma tarp grupių, \bar{w}_p – p -tosios imties vidurkis, \bar{w} – bendras visų stebėjimų vidurkis, f_p – stebėjimų skaičius grupėje p , p – grupių skaičius.

$$MSW = \frac{SSW}{N-p} = \frac{(f_1-1)S_1^2 + \dots + (f_p-1)S_p^2}{f_1 + \dots + f_p - p}, \quad (3.4)$$

čia SSW – kvadratinų nuokrypių suma grupių viduje, S_p^2 – p -tosios imties dispersija, N – bendras stebėjimų skaičius visose grupėse, p – grupių skaičius, f_p – stebėjimų skaičius grupėje p .

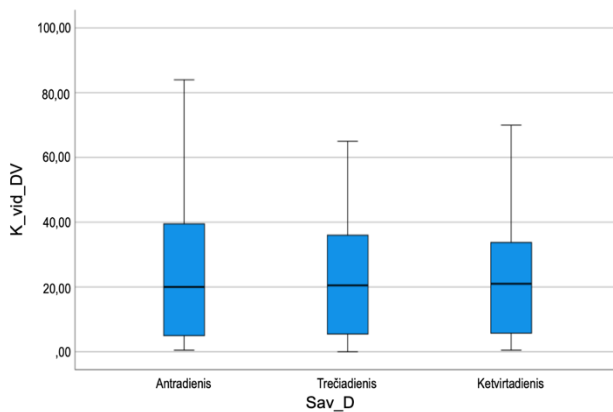


3.4 pav. T. Narbuto g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymas pagal analizuotas dienas (sudaryta autorės)

Fig. 3.4. Distribution of average peak hour bicycle traffic flows on T. Narbuto St. by analysed days (compiled by the author)

T. Narbuto g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas buvo didžiausias antradienį ($M = 72,16$, $SD = 63,32$), ketvirtadienį buvo vidutiniškas ($M = 67,63$, $SD = 59,28$) ir mažiausias trečiadienį ($M = 59,93$, $SD = 53,08$). Atlikus dispersinę analizę nustatyta, kad nėra statistiškai reikšmingo skirtumo tarp vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymo analizuotomis dienomis, $F(2; 155) = 0,587$, $p = 0,557$.

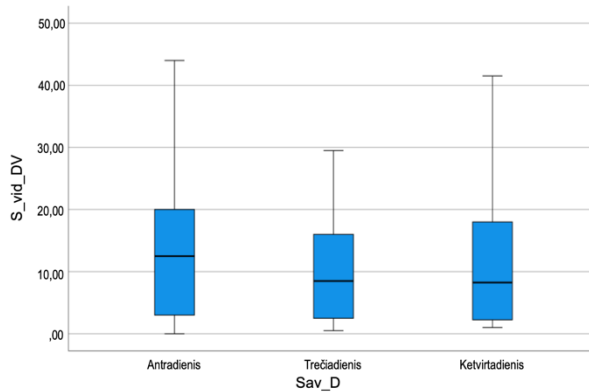
Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas buvo didžiausias antradienį ($M = 24,55$, $SD = 21,47$), nedaug mažesnis ketvirtadienį ($M = 24,04$, $SD = 19,52$) ir mažiausias trečiadienį ($M = 22,28$, $SD = 16,86$). Tačiau nebuvo statistiškai reikšmingo skirtumo tarp vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymo analizuotomis dienomis, $F(2; 155) = 0,201$, $p = 0,818$.



3.5 pav. Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymas pagal analizuotas dienas (sudaryta autorės)

Fig. 3.5. Distribution of average peak hour bicycle traffic flows on Konstitucijos Ave. by analysed days (compiled by the author)

S. Stanevičiaus g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautas buvo didžiausias antradienį ($M = 13,13$, $SD = 11,21$), nedaug mažesnis ketvirtadienį ($M = 11,84$, $SD = 10,72$) ir mažiausias trečiadienį ($M = 10,33$, $SD = 8,52$). Tačiau nebuvo statistiškai reikšmingo skirtumo tarp vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymo analizuotomis dienomis, $F(2; 155) = 0,999$, $p = 0,371$.



3.6 pav. S. Stanevičiaus g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymas pagal analizuotas dienas (sudaryta autorės)

Fig. 3.6. Distribution of average peak hour bicycle traffic flows on S. Stanevičiaus St. by analysed days (compiled by the author)

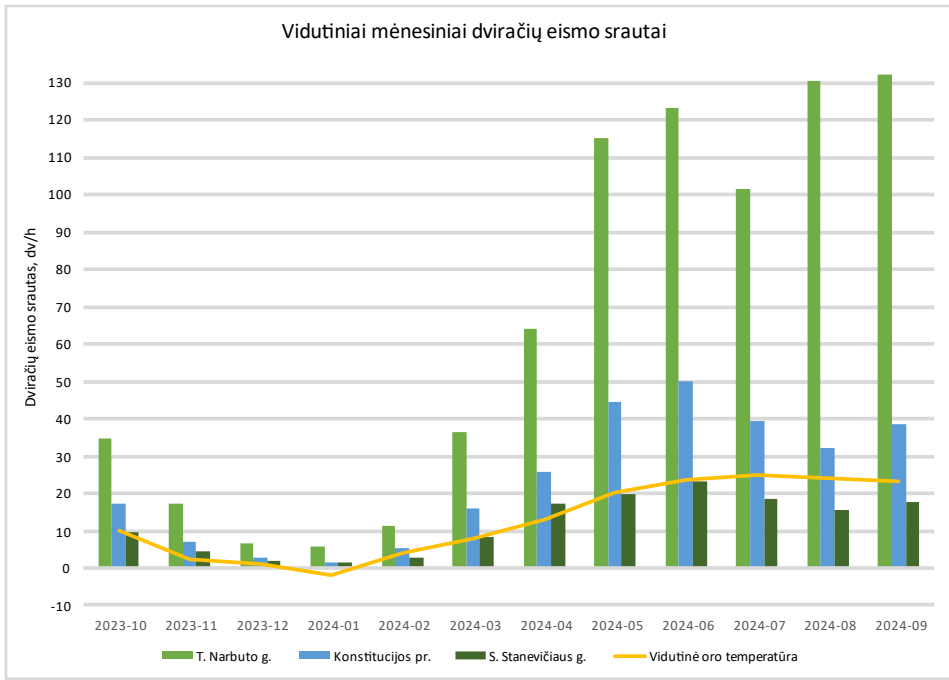
Atlikus analizuotų dienų dispersinę analizę nustatyta, kad visose tirtose vietose nėra statistiškai reikšmingo skirtumo, kaip vidutinę piko valandą pasiskirsto dviračių eismo srautai tarp analizuotų savaitės dienų. Gauti rezultatai patvirtina analizei pasirinktų dienų tikslingumą, nes tai parodo, jog šiomis dienomis atlikinėjamos kelionės susisiekimu tikslais ir visos dienos turi būti įtrauktos į tolesnę duomenų analizę.

3.1.3. Modeliui reikšmingų mėnesių nustatymas

Natūrinių tyrimu metu surinkti duomenys apie dviračių eismo srautus šiltuoju laikotarpiu yra žymiai didesni (gegužis – rugsėjis) nei šaltuoju metų laikotarpiu (spalis – balandis) (3.7 pav.).

Siekiant nustatyti, kokie mėnesiai yra reikšmingi dviračių srautams prognozuoti ir kurie turi būti įtraukti į analizę, buvo atliekama surinktų duomenų statistinė analizė. Įprastai vidurkis yra dažniausiai naudojama statistinė reikšmė, tačiau, kai duomenyse yra daug išskirčių, tikslingiau yra vertinti medianą, kuri parodo duomenų vidurinę reikšmę (Čekanavičius & Mukauskas, 2014). Pagal dviračių eismo srautų duomenų rinkimo laikotarpio, vidutinės piko valandos, mėnesių medianą analizei pasirenkami reikšmingi mėnesiai. Mėnesiai, kurių mediana yra lygi metinių duomenų medianai arba didesnė už ją, įtraukiami į tolesnės duomenų analizės etapus.

$$Mediana_{metų} \leq Mediana_{mėnesio}. \quad (3.5)$$



3.7 pav. Analizuotų vietų vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų pasiskirstymas pagal mėnesius (sudaryta autorės)

Fig. 3.7. Distribution of average peak hour bicycle traffic flows by month in the analysed locations (compiled by the author)

3.1 lentelėje pateikti T. Narbuto g. vidutinės piko valandos statistiniai duomenys, pagal kuriuos nustatyti reikšmingi mėnesiai.

3.1 lentelė. T. Narbuto g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų apibūdinamoji statistika (sudaryta autorės)

Table 3.1. Descriptive statistics of average peak hour bicycle traffic flows on T. Narbuto St. (compiled by the author)

Matavimų data	Matavimų skaičius	Vidurkis	Mediana	Moda	Stand. nuokrypis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
1	2	3	4	5	6	7	8
2023 09–2024 09	158	66,56	40,75	6,5	58,58	0	220
2023 10	13	34,84	35,5	11,0	21,36	11	95

3.1 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8
2023 11	14	17,17	15	8,5	10,61	5	34
2023 12	12	6,5	7,25	8	3,06	0	11,5
2024 01	14	5,85	5,25	5	2,76	1,5	11
2024 02	12	11,45	9,5	6,5	4,9	6,5	21
2024 03	12	36,33	33,25	17	14,56	17	57,5
2024 04	13	69,42	56,0	16,5	55,76	16,5	168
2024 05	14	115,03	126,5	39	36,52	39	152
2024 06	12	123,37	132	57	28,98	57	154
2024 07	14	101,5	98	98	54,05	27	220
2024 08	13	130,35	134	72	33,36	72	195
2024 09	15	123,13	125,5	121,5	35,96	70	210

Pagal 3.1 lentelės duomenis nustatyta, kad T. Narbuto g. reikšmingi mėnesiai yra balandis, gegužė, birželis, liepa, rugpjūtis ir rugsėjis.

3.2 lentelėje pateikti Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos statistiniai duomenys, pagal kuriuos atrinkti reikšmingi mėnesiai.

3.2 lentelė. Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų apibrėžiamoji statistika (sudaryta autorės)

Table 3.2. Descriptive statistics of average peak hour bicycle traffic flows on Konstitucijos Ave. (compiled by the author)

Matavimų data	Matavimų skaičius	Vidurkis	Mediana	Moda	Stand. nuokrypis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
1	2	3	4	5	6	7	8
2023 09–2024 09	158	23,62	20,25	3,5	19,27	0	84
2023 10	13	17,11	14,5	14,5	6,35	10	32
2023 11	14	7,14	6,5	9,5	3,82	1	13,5
2023 12	12	2,87	3,25	3,5	1,22	1,5	5,5

3.2 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8
2024 01	14	1,35	1,25	0	1,13	0	3,5
2024 02	12	5,37	5	3	2,14	3	10
2024 03	12	15,87	13	8,5	7,12	8,5	31
2024 04	13	25,57	19	17	15,44	5	53,5
2024 05	14	44,57	44,5	29	14,5	26	70
2024 06	12	50,12	51,5	61	8,01	32	61
2024 07	14	39,21	32,5	30	20,25	16	84
2024 08	13	32	32	26	6,3	20	41
2024 09	15	38,6	35,5	31	10,18	25	61,5

Pagal 3.2 lentelės duomenis nustatyta, kad Konstitucijos pr. reikšmingi mėnesiai yra gegužė, birželis, liepa, rugpjūtis, rugsėjis.

3.3 lentelėje pateikti S. Stanevičiaus g. vidutinės piko valandos statistiniai duomenys, pagal kuriuos atrinkti reikšmingi mėnesiai.

3.3 lentelė. S. Stanevičiaus g. vidutinės piko valandos dviračių eismo srautų apibūdinamoji statistika (sudaryta autorės)

Table 3.3. Descriptive statistics of average peak hour bicycle traffic flows on S. Stanevičiaus St. (compiled by the author)

Matavimų data	Matavimų skaičius	Vidurkis	Mediana	Moda	Stand. nuokrypis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė
1	2	3	4	5	6	7	8
2023 09–2024 09	158	11,76	8,75	2	10,21	0	44
2023 10	13	9,53	9,5	9,5	5,02	3,5	23
2023 11	14	4,5	4,5	4	2,36	1	9
2023 12	12	1,95	1,75	1,5	1,35	0	5
2024 01	14	1,28	1,5	2	0,75	0	2
2024 02	12	2,7	2	2	1,64	1,5	7,5
2024 03	12	8,5	6,75	4	5,26	2,5	16,5

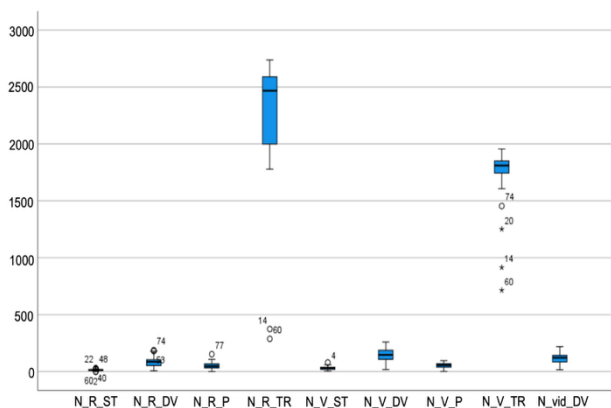
3.3 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8
2024 04	13	17,07	15,5	2,5	14,20	2,5	41,5
2024 05	14	19,6	19,5	19	7,92	8,5	37,5
2024 06	12	23,08	25,5	31	6,98	10	31
2024 07	14	18,32	18	16	9,71	3	34
2024 08	13	15,38	16	16	3,67	6	20
2024 09	15	17,76	13,5	16,5	11,34	7	44

Pagal 3.3 lentelės duomenis nustatyta, kad S. Stanevičiaus g. reikšmingi mėnesiai yra balandis, gegužė, birželis, liepa, rugpjūtis, rugsėjis ir spalio.

3.1.4. Išskirčių šalinimas

T. Narbuto g. nustatyti reikšmingi mėnesiai buvo balandis – rugsėjis, todėl su šiais duomenimis sudaromos stačiakampės diagramos ir identifikuojamos išskirtys (3.6 pav.). Prieš išskirčių šalinimą T. Narbuto g. buvo 81 eilutė duomenų.

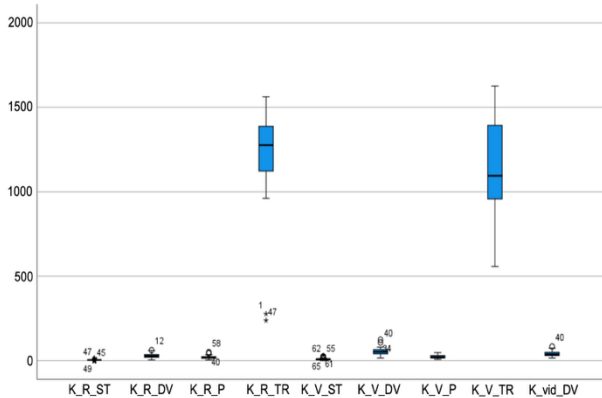


3.8 pav. T. Narbuto g. duomenys prieš išskirčių šalinimą, N-81 (sudaryta autorės)

Fig. 3.8. T. Narbuto St. data before removal of the exclusions, N-81
(compiled by the author)

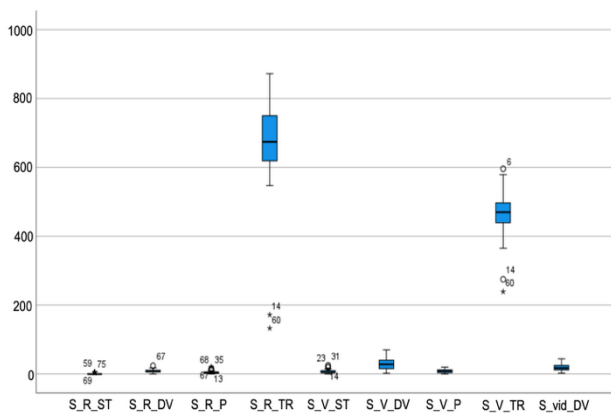
Iš 3.8 pav. matyti, kad išskirtys buvo fiksuotos dėl „Strava“ srautų, kurie buvo lygūs 0 dv./h arba viršijantys 20–60 dv./h, dviračių eismo srautų, viršijančių 170 dv./h, transporto priemonių srautų, mažesnių už 1400 tr. pr./h. Po išskirčių šalinimo liko 62 eilutės duomenų, kurios yra tinkamos naudoti regresinėje analizėje.

Konstitucijos pr. reikšmingi mėnesiai buvo gegužis – rugsėjis. Su reikšmingais mėnesiais sudarytos stačiakampinės diagramos išskirtims šalinti (3.9 pav.). Reikšmingu laikotarpiu prieš išskirčių šalinimą buvo 68 eilutės duomenų.



3.9 pav. Konstitucijos pr. duomenys prieš išskirčių šalinimą, N-68 (sudaryta autorės)
Fig. 3.9. Konstitucijos Ave. data before removal of the exclusions, N-68
 (compiled by the author)

Iš 3.9 pav. matyti, kad išskirtys buvo fiksuotos dėl „Strava“ duomenų, kurie buvo mažesni arba didesni už 5 dv./h, transporto priemonių srautų, mažesnių už 500 tr. pr./h. Šalinant „Stava“ ir transporto srautų išskirtis kartu pašalinavo ir dviračių eismo srautų išskirtys. Po išskirčių šalinimo liko 48 eilutės duomenų, kurios yra tinkamos vykdyti regresinę analizę.



3.10 pav. S. Stanevičiaus g. duomenys prieš išskirčių šalinimą, N-68 (sudaryta autorės)
Fig. 3.10. S. Stanevičiaus St. data before removal of the exclusions, N-68
 (compiled by the author)

3.4 lentelės pabaiga

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Y3	Kof.	0,450	0,684	-0,141	0,628	0,980	0,028	-0,565	0,436	0,624	0,553
	<i>p</i>	**	**	0,136	**	**	,413	**	**	**	**
	N	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63

** – $p < ,001$

Iš 3.4 lentelės duomenų matyti, kad yra tiesinis ryšys tarp Y1, Y2, Y3 ir X1, X2, X4, X5, X7, X8, X9, X10, todėl tarp šių priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų sudaromos regresinės analizės lygtys. Kintamieji X8, X9 ir X10 visi atspindi oro temperatūrą ir tarpusavyje smarkiai koreliuoja, todėl lygtyse turi būti naudojamas tik vienas iš šių kintamųjų. Pasirenkama naudoti X9 kintamąjį, nes jo koreliacijos koeficientas yra didžiausias. Pirminiai regresinės analizės modeliai sudaromi tarp priklausomųjų kintamųjų – Y1, Y2, Y3 ir nepriklausomųjų kintamųjų – X1, X2, X4, X5, X7, X9.

Pirsono koreliacinė analizė atlikta su Konstitucijos pr. duomenimis, siekiant identifikuoti tiesinius ryšius tarp priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų ir nustatyti, kokios kintamųjų poros turi būti naudojamos regresinės analizės modeliui sudaryti. 3.5 lentelėje pateikti Pirsono koreliacinės analizės rezultatai Konstitucijos pr. tarp priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų.

3.5 lentelė. Konstitucijos pr. Pirsono koreliacijos koeficientai tarp kintamųjų (sudaryta autorės)

Table 3.5. Konstitucijos Ave. Pearson correlation coefficients between variables (compiled by the author)

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Y1	Kof.	0,191	0,859	0,500	0,476	0,940	0,343	-0,316	-0,101	0,019	-0,041
	<i>p</i>	0,096	**	**	**	**	**	*	0,248	0,449	0,390
	N	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Y2	Kof.	0,297	0,945	0,448	0,494	0,654	0,275	-0,242	0,006	0,091	0,053
	<i>p</i>	*	**	**	**	**	*	*	0,484	0,270	0,360
	N	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Y3	Kof.	0,085	0,645	0,445	0,378	0,965	0,327	-0,309	-0,155	-0,033	-0,098
	<i>p</i>	0,284	**	**	**	**	*	*	0,146	0,411	0,253
	N	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

** – $p < ,001$, * – $p < 0,01$

Iš 3.5 lentelės duomenų matyti, kad yra tiesinis ryšys tarp Y1 ir X2, X3, X4, X5, X6, X7; Y2 ir X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7; Y3 ir X2, X3, X4, X5, X6, X7.

Su šiomis priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų poromis bus sudaromos daugianarės tiesinės regresinės analizės lygtys.

Pirsono koreliacinė analizė atlikta su S. Stanevičiaus g. duomenimis, siekiant identifikuoti tiesinius ryšius tarp kintamųjų. 3.6 lentelėje pateikti Pirsono koreliacinės analizės rezultatai S. Stanevičiaus g. tarp priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų.

3.6 lentelė. S. Stanevičiaus g. Pirsono koreliacijos koeficientai tarp kintamųjų (sudaryta autorės)

Table 3.6. S. Stanevičiaus St. Pearson correlation coefficients between variables (compiled by the author)

		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Y1	Kof.	0,159	0,538	0,243	0,261	0,962	0,018	-0,223	0,216	0,365	0,304
	<i>p</i>	0,117	**	*	*	**	0,447	*	0,052	**	*
	N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Y2	Kof.	0,157	0,947	0,161	0,119	0,382	-0,130	-0,005	0,078	0,200	0,147
	<i>p</i>	0,119	**	0,114	0,186	**	0,165	0,485	0,280	0,066	0,135
	N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Y3	Kof.	0,137	0,352	0,231	0,261	0,978	0,055	-0,249	0,222*	0,356	0,302
	<i>p</i>	0,153	*	*	*	**	0,341	*	*	**	*
	N	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58

** – $p < ,001$, * – $p < 0,01$

Iš 3.6 lentelės duomenų matyti, kad yra tiesinis ryšys tarp Y1 ir X2, X3, X4, X5, X7, X9, X10; Y2 ir X2, X5; Y3 ir X2, X3, X4, X5, X7, X8, X9, X10. Tarp šių priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų porų bus sudaromos daugianarės tiesinės regresinės analizės lygtys.

3.2.2. Daugianarės tiesinės regresinės analizės modeliai

Su nustatytų priklausomųjų ir nepriklausomųjų kintamųjų poromis sudaromos daugianarės tiesinės regresinės analizės lygtys. Analizių tikslas buvo surasti tokį modelį, kurio determinacijos koeficientas būtų didžiausias. Didžiausias determinacijos koeficientas reiškia, kad nepriklausomieji kintamieji geriausiai paaiškina priklausomojo kintamojo reikšmes.

Atlikus daugianarę tiesinę regresinę analizę gauti T. Narbuto g. modeliai, kur x_n^* – statistiškai reikšmingas nepriklausomasis kintamasis:

$$y_1 = 84,686 - 0,042x_1 + 0,568x_2^* - 0,028x_3^* + 1,013x_4^* - 11,525x_7 - 0,669x_8, \quad (3.6)$$

$$y_2 = 23,508 + 0,567x_2^* - 0,009x_3 + 0,352x_4^* - 1,714x_7 - 0,557x_8 \quad (3.7)$$

$$y_3 = 10,527 - 0,007x_3 + 0,287x_4 + 0,738x_5^* + 1,816x_7 - 0,449x_8 \quad (3.8)$$

Konstitucijos pr. modeliai:

$$y_1 = -3,764 - 0,325x_1^* + 0,309x_2^* + 0,003x_3 + 0,118x_4 + 0,366x_5^* - 0,462x_7 \quad (3.9)$$

$$y_2 = 6,346 + 0,709x_2^* - 0,005x_3 - 0,201x_9 \quad (3.10)$$

$$y_3 = -6,483 - 0,558x_1^* - 0,055x_2 + 0,007x_3 + 0,740x_5^* - 1,297x_7 \quad (3.11)$$

S. Stanevičiaus g. modeliai:

$$y_1 = -1,874 + 0,298x_2^* + 0,383x_5^* + 1,231x_7 + 0,103x_9 \quad (3.12)$$

$$y_2 = -0,609 + 0,088x_1 + 0,691x_2^* + 0,001x_3 + 0,007x_5 + 0,403x_7 + 0,004x_9 \quad (3.13)$$

$$y_3 = -12,389 + 0,153x_1 - 0,003x_3 + 0,749x_5^* + 0,021x_6 + 2,515x_7^* + 0,219x_9 \quad (3.14)$$

Sudarytų daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių koeficientai pateikti B priede.

Modeliuose be statistiškai reikšmingų kintamųjų buvo paliekami ir statistiškai nereikšmingi kintamieji, nes jų naudojimas pagerina modelio rezultatus – patikslina statistiškai reikšmingus kriterijus. Atskirose lygtyse determinacijos koeficientas padidėjo nuo 0,003 iki 0,011.

Analizuojant lygtis matyti, kad nepriklausomai nuo tiriamosios vietos vidutinės piko valandos (Y1) ir rytinio piko valandos modeliuose (Y2) visuomet statistiškai reikšmingas rytinio piko dviračių ir paspirtukų eismo srautas (X2), o vakarinio piko valandos (Y3) modeliuose statistiškai reikšmingas išlieka vakarinio piko valandos dviračių ir paspirtukų eismo srautas (X5). Kiti statistiškai reikšmingi kintamieji – rytinio piko „Strava“ dviračių eismo srautas (X1), rytinio piko motorinių transporto priemonių eismo srautas (X3), vakarinio piko „Strava“ dviračių eismo srautas (X4), krituliai (X7) ir maksimali oro temperatūra (X9) – priklauso nuo tiriamosios vietos mieste.

Iš statistiškai reikšmingų kintamųjų pasiskirstymo pagal tiriamąsias vietas mieste matyti, kad nepriklausomai nuo analizės vietos mieste, didėjant esamiems

paspirtukų ir dviračių srautams (X2 ir X5), didės ir prognozuojamas dviračių eismo srautas. Tai rodo, jog paspirtukai ir dviračiai yra vienos rūšies transporto priemonė ir naudojimas viena iš jų atskleidžia bendrą susisiekimo poreikį mikromobilumo priemonėmis.

Miesto centrinėje dalyje rytinio piko „Strava“ srautams (X1) didėjant, mažės prognozuojami dviračių eismo srautai. Tai rodo, kad jei kelionės atliekamos ne susisiekimo tikslais, bendras dviračių srautas turi mažėti. Miesto vidurinėje dalyje, kai infrastruktūra jungiasi į bendrą tinklą, motorinių transporto priemonių srautams (X3) didėjant, mažės prognozuojamas dviračių srautas, tai rodo pasiskirstymą tarp transporto rūšies pasirinkimo, atliekamos kelionės susisiekimo tikslu. O vakarinio piko „Strava“ dviračių srautams (X4) didėjant, didės ir prognozuojamas dviračių srautas, tai rodo, kad, didėjant rekreaciniais tikslais atliekamoms kelionėms, didės ir bendri dviračių eismo srautai. Miesto vidurinėje dalyje, kai infrastruktūra nesujungia į bendrą tinklą – kritulių (X7) nebuvimas ir didėjanti maksimali oro temperatūra (X9) teigiamai veiks prognozuojamus dviračių eismo srautus.

Sudarytų regresijos modelių tinkamumas buvo vertinamas pagal 3.7 lentelėje pateiktus kriterijus.

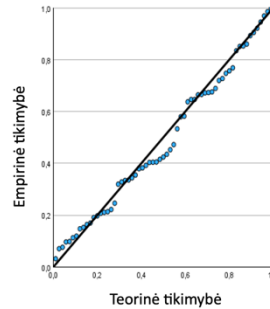
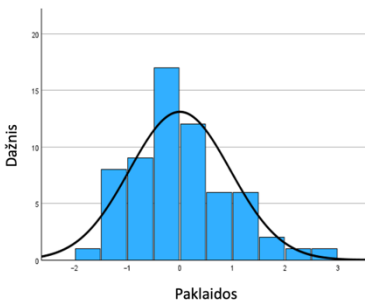
3.7 lentelė. Tiriamųjų vietų daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių vertinimo kriterijai (sudaryta autorės)

Table 3.7. Criteria for evaluating models for multinomial linear regression analysis of study sites (compiled by the author)

Sąlygos	T. Narbuto g.			Konstitucijos pr.			S. Stanevičiaus g.		
	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Determinacijos koeficientas (R^2) < 0,2	0,859	0,947	0,964	0,968	0,897	0,945	0,967	0,900	0,967
Anova $p \leq 0,05$	0,001								
Dispersijos mažėjimo daugiklis (VIF) < 4	1,515– 2,334	1,411– 2,281	1,368– 2,197	1,396– 2,532	1,452– 1,864	1,234– 2,311	1,201– 1,340	1,226– 1,614	1,208– 1,682
Kuko mato maksimali reikšmė $Di < 1$	0,130	0,115	0,122	0,516	0,312	0,263	0,380	0,178	0,262

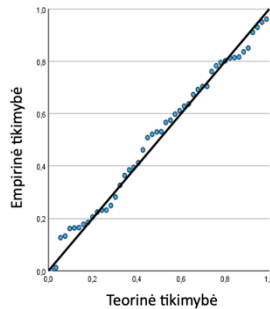
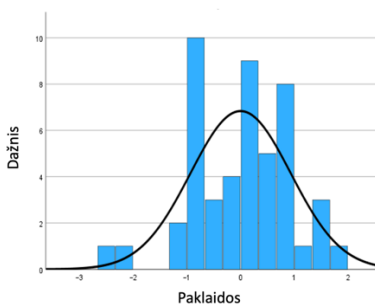
3.7 lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Priklausomasis kintamasis normaliai pasiskirstęs (histogramoje ir P-P grafike)	atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.11 pav.)			atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.12 pav.)			atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.13 pav.)		
	atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.11 pav.)			atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.12 pav.)			atitinka (geriausio modelio rezultatas žr. 3.13 pav.)		
Šapiro–Vilko kriterijaus $p > 0,05$	0,473	0,356	0,220	0,282	0,141	0,370	0,333	0,510	0,859
Breušo–Pagano kriterijaus $p > 0,05$	0,702	0,199	0,342	0,349	0,482	0,864	0,093	0,070	0,106



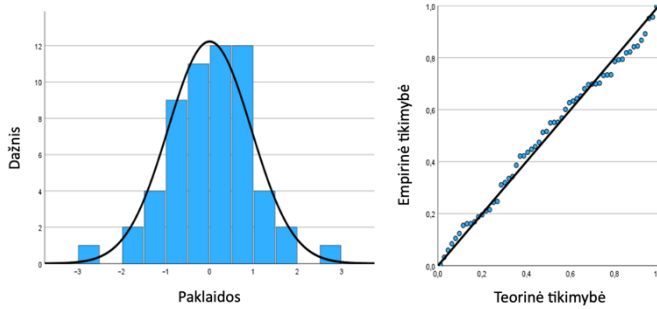
3.11 pav. T. Narbuto g. vakarinio piko valandos (Y3) standartizuotų liekamųjų paklaidų histograma, Q-Q grafikas (sudaryta autorės)

Fig. 3.11. T. Narbuto St. evening peak hour (Y3) standardised residual error histogram, Q-Q graph (compiled by the author)



3.12 pav. Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos (Y1) standartizuotų liekamųjų paklaidų histograma, Q-Q grafikas (sudaryta autorės)

Fig. 3.12. Konstitucijos Ave. average peak hour (Y1) standardised residual error histogram, Q-Q graph (compiled by the author)

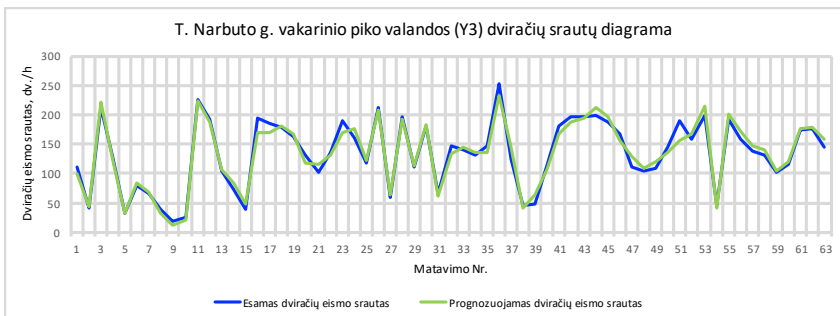


3.13 pav. S. Stanevičiaus g. vakarinio piko valandos (Y3) standartizuotų liekamųjų paklaidų histograma, Q-Q grafikas (sudaryta autorės)

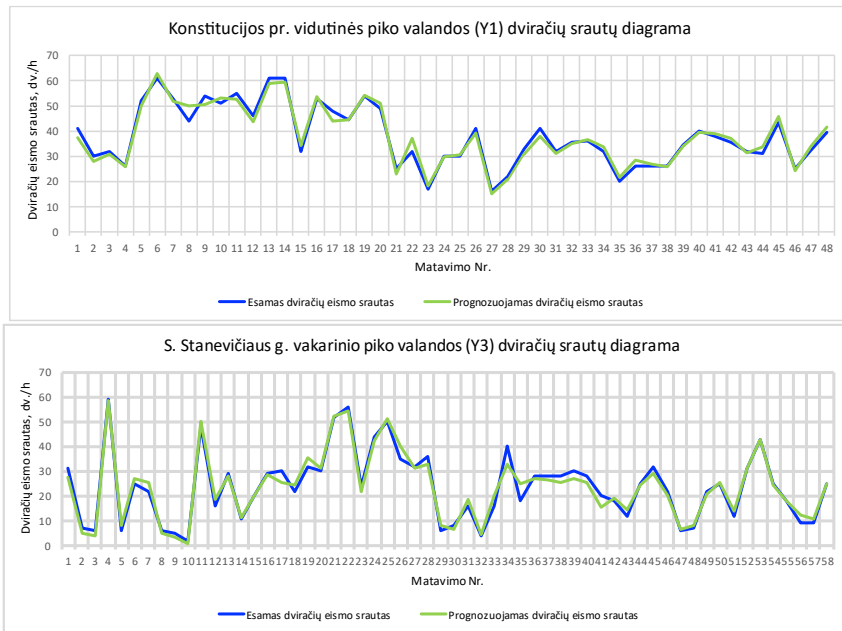
Fig. 3.13. S. Stanevičiaus St. evening peak hour (Y3) standardised residual error histogram, Q–Q graph (compiled by the author)

Iš 3.7 lentelės duomenų matyti, kad visi sudaryti dviračių srautų prognozavimo modeliai tenkina daugianarės tiesinės regresinės analizės modelio tinkamumo kriterijus, todėl galima teigti, kad modeliai yra tinkami prognozuoti dviračių eismo srautus tiriamosiose vietose. Pagal determinacijos koeficientus matyti, kad T. Narbuto g. tiksliausias vakarinio piko valandos (Y3) modelis, Konstitucijos pr. – vidutinės piko valandos (Y1) modelis, o S. Stanevičiaus g. vienodai tikslūs tiek vidutinės piko valandos (Y1), tiek vakarinio piko valandos (Y3) modeliai.

Pagal sudarytas daugianarės tiesinės regresinės analizės lygtis (3.6–3.14 formulės) buvo apskaičiuotas prognozuojamas dviračių eismo srautas vidutinei piko valandai, rytinio piko valandai ir vakarinio piko valandai. Prognozuojamos ir esamos dviračių eismo srauto reikšmės, sudarytos pagal didžiausią determinacijos koeficientą turinčius modelius, pateiktos 3.14 pav.



3.14 pav. pabaiga kitame puslapyje



3.14 pav. T. Narbuto g. vakarinio piko valandos (Y3), Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos (Y1) ir S. Stanevičiaus g. vakarinio piko valandos (Y3) prognozuojamos ir esamos dviračių eismo srautų reikšmės, apskaičiuotos pagal daugianarės tiesinės regresinės analizės lygtis (sudaryta autorės)

Fig. 3.14. T. Narbuto St. evening peak hour (Y3), Konstitucijos Ave. average peak hour (Y1) and S. Stanevičiaus St. evening peak hour (Y3) predicted and current bicycle traffic flows values, calculated according to multinomial linear regression analysis equations (compiled by the author)

Nustačius prognozuojamų dviračių eismo srautų reikšmes buvo atliktas prognozavimo metodikos tikslumo vertinimas pagal MAPE ir MAE. Rezultatai pateikti 3.8 lentelėje.

Atlikus nagrinėjamų vietų regresinę analizę nustatyta, kad visose analizuotose miesto vietose prognozuojant dviračių eismo srautus statistiškai reikšmingi yra rytinio ir vakarinio piko paspirtukų bei dviračių eismo srautai (X2 ir X5). Tai leidžia daryti išvadą, kad prognozuojant dviračių eismą tikslinga į analizę įtraukti bendrus mikromobilumo priemonių srautus (dviračių ir elektrinių paspirtukų), nes šie vartotojai konkuruoja dėl tos pačios infrastruktūros ir pasižymi panašiomis kelionės charakteristikomis. Nors bendras mikromobilumo priemonių srautas glaudžiai susijęs su dviračių srautu, jis atlieka ne tiesioginio pakaitalo, bet paklausos indikatorius funkciją, atspindinčią realų alternatyvaus transporto poreikį konkrečioje miesto vietoje.

Įtraukus šį kintamąjį, prognozavimo modeliai gali tiksliau atspindėti realias kelionės sąlygas ir užtikrinti jų pritaikomumą dinamiškai kintančioje miesto mobilumo aplinkoje.

3.8 lentelė. Dviračių eismo srautų prognozavimo metodikos pagal suvestinės elgsenos metodiką tikslumo vertinimo rezultatai (sudaryta autorės)

Table 3.8. Results of the accuracy assessment of the bicycle traffic flows forecasting methodology based on the aggregated behaviour model (compiled by the author)

Tikslumo vertinimo metodika	T. Narbuto g.			Konstitucijos pr.			S. Stanevičiaus g.		
	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3	Y1	Y2	Y3
MAPE %	4,25	2,49	0,07	0,27	1,11	0,80	0,72	1,81	0,39
MAE dv./h	13,00	6,00	9,00	1,69	2,56	2,79	1,04	0,90	1,98

Vertinant statistiškai reikšmingų kintamųjų pasiskirstymą pagal analizuotas miesto vietas, darytina išvada, kad priklausomai nuo miesto dalies turi būti diferencijuojami į prognozavimo modelius įtraukiami kintamieji. Miesto centrinėje dalyje (Konstitucijos pr.) prognozuojant dviračių srautus būtina naudoti rytinio piko „Strava“ fiksuotų dviračių eismo srautų duomenis (X1). Miesto vidurinėje dalyje, kuri atlieka jungties funkciją tarp gyvenamųjų rajonų ir miesto centro (T. Narbuto g.), prognozuojant dviračių eismo srautus reikšminga įtraukti rytinio piko transporto priemonių srautus (X3) bei vakarinio piko „Strava“ dviračių eismo srautus (X4). Gyvenamuosiuose rajonuose (S. Stanevičiaus g.) prognozuojant dviračių eismo srautus būtina į modelį įtraukti klimato sąlygų rodiklius – kritulius (X7) ir maksimalią oro temperatūrą (X9).

3.3. Dviračių srautų prognozavimas pagal eskizinio planavimo metodiką

Eskizinio planavimo metodikos tikslumui nustatyti ir gautiems prognozavimo rezultatams palyginti su regresinės analizės modeliais buvo naudojamos tos pačios tyrimo vietos – T. Narbuto g., Konstitucijos pr., S. Stanevičiaus g. Pagal Vilniaus miesto 2022 m. modalinio pasidalijimo duomenis nustatyta dviračiais ir automobiliais atliekamų kasdieninių kelionių dalis nagrinėjamose vietose. Duomenys pateikti 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Dviračiais ir automobiliais atliekamų kasdieninių kelionių dalis tiriamosiose vietose (sudaryta autorės pagal SĮ „Susisiekimo paslaugos“, 2022)

Table 3.9. Share of daily trips made by bicycles and cars in the study areas (compiled by the author based on SĮ Susisiekimo paslaugos (2022b))

	T. Narbuto g.	Konstitucijos pr.	S. Stanevičiaus g.
Dviračiais atliekamų kelionių dalis	1,6 %	2,94 %	0,9 %
Automobiliais atliekamų kelionių dalis	24,3 %	50 %	28,3 %

Pagal natūrinių matavimų metu surinktus transporto priemonių srautų duomenis, rytinio piko valandos, vakarinio piko valandos ir vidutinio piko valandos prognozuojami dviračių eismo srautai apskaičiuojami pagal (2.9) formulę.

3.3.1. T. Narbuto g. dviračių eismo srautų prognozavimas

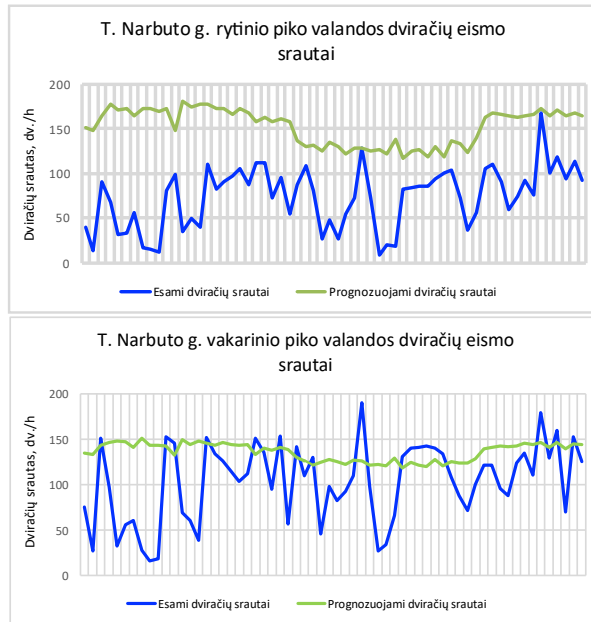
T. Narbuto g. prognozuojami dviračių eismo srautai, pagal eskizinio planavimo metodiką, apskaičiuoti vidutinei piko valandai (N-63), rytinio piko valandai (N-63) ir vakarinio piko valandai (N-63). Skaičiavimų rezultatai pateikti A priede.

Pagal apskaičiuotus prognozuojamus dviračių eismo srautus skirtingomis piko valandomis (A priedas, 1A lentelė) sudaryti esamų ir prognozuojamų dviračių eismo srautų grafikai (3.15 pav.).

Iš 3.15 pav. matyti, kad dviračių eismo srautai, prognozuojami pagal transporto priemonių eismo srautus, neperteikia tikrosios situacijos – nėra stebimi prognozuojamų dviračių srautų svyravimai. Taip yra, nes transporto priemonių srautai yra tolygūs, jie nekinta, išlaikoma ta pati tendencija. Dviračių eismo srautai linkę labiau kisti, jie nėra tolygūs atskiromis dienomis.



3.15 pav. pabaiga kitame puslapyje



3.15 pav. T. Narbuto g. vidutinės, rytinio ir vakarinio piko valandos esami ir prognozuojami dviračių eismo srautai (sudaryta autorės)

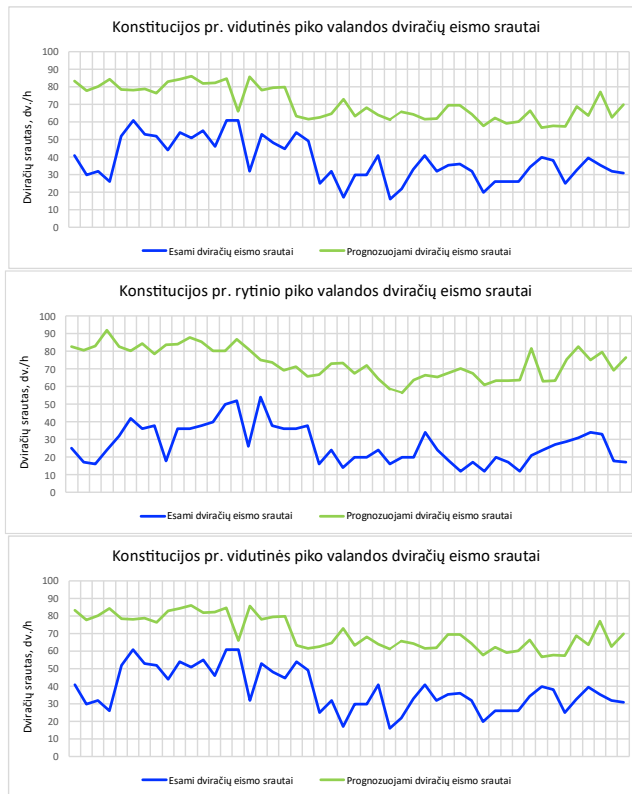
Fig. 3.15. Current and predicted average, morning and evening peak hour bicycle traffic patterns on T. Narbuto St. (compiled by the author)

Prognozuojamų dviračių eismo srautų pagal eskizinio planavimo metodiką tikslumas buvo įvertintas naudojant MAPE ir MAE skaičiavimus. Pagal MAPE skaičiavimus nustatyta, kad T. Narbuto g. vidutinės piko valandos prognozės tikslumas yra 83,86 %, rytinio piko valandos – 244,09 %, vakarinio piko valandos – 26,85 %. Pagal MAE skaičiavimus vidutinės piko valandos paklaida yra 47,7 dv./h, rytinio piko valandos paklaida – 78 dv./h, vakarinio piko valandos paklaida – 48,5 dv./h.

3.3.2. Konstitucijos pr. dviračių eismo srautų prognozavimas

Konstitucijos pr. prognozuojami dviračių eismo srautai, pagal eskizinio planavimo metodiką, apskaičiuoti vidutinei piko valandai (N-48), rytinio piko valandai (N-48) ir vakarinio piko valandai (N-48). Skaičiavimų rezultatai pateikti A priede.

Pagal apskaičiuotus prognozuojamus dviračių eismo srautus, skirtingomis piko valandomis (A priedas, 2A lentelė) sudaryti esamų ir prognozuojamų dviračių eismo srautų grafikai (žr. 3.16 pav.).



3.16 pav. Konstitucijos pr. vidutinės, rytinio ir vakarinio piko valandos esami ir prognozuojami dviračių eismo srautai (sudaryta autorės)

Fig. 3.16. Current and predicted average, morning and evening peak hour bicycle traffic patterns on Konstitucijos Ave. (compiled by the author)

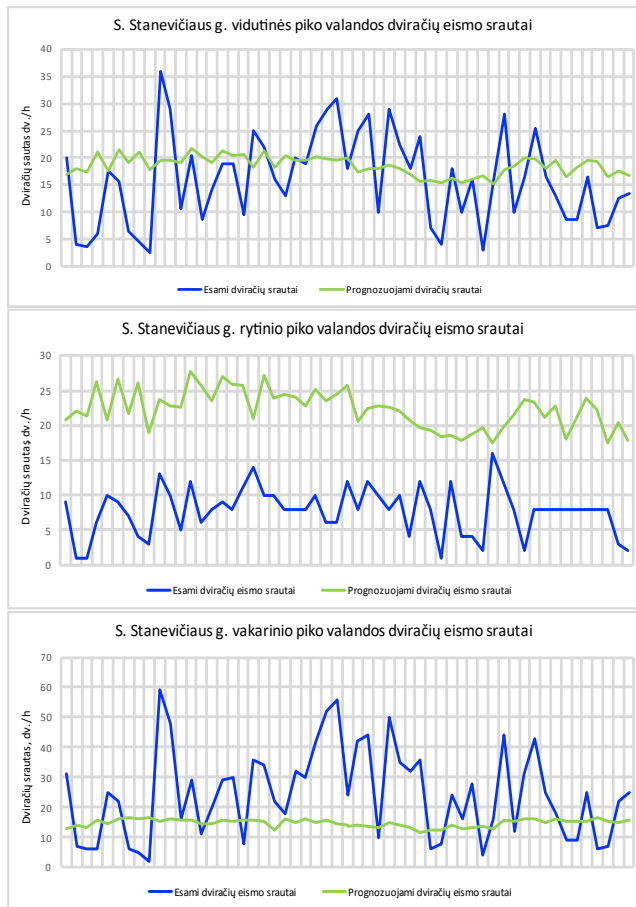
Iš 3.16 pav. pateiktų grafikų matyti, kad prognozuojami dviračių srautai atitinka dviračių srautų kitimo tendencijas – matomi panašūs mažėjimai. Taip galėtų būti, nes Konstitucijos pr. vykdomos kelionės tik susisiekimo tikslais, ir tiek transporto srautai, pagal kuriuos buvo prognozuojama, tiek ir dviračių srautai atspindi tas pačias kitimo tendencijas.

Atlikus metodikos vertinimą pagal MAPE nustatyta, kad Konstitucijos pr. vidutinės piko valandos MAPE – 102,14 %, rytinio piko valandos MAPE – 211,28 %, vakarinio piko valandos MAPE – 53,77 %. Pagal MAE skaičiavimus vidutinės piko valandos paklaida yra 32,5 dv./h, rytinio piko valandos paklaida – 46,6 dv./h, vakarinio piko valandos paklaida – 20,6 dv./h.

3.3.3. S. Stanevičiaus g. dviračių eismo srautų prognozavimas

S. Stanevičiaus g. prognozuojami dviračių eismo srautai, pagal eskizinio planavimo metodiką apskaičiuoti vidutinei piko valandai (N-58), rytinio piko valandai (N-58) ir vakarinio piko valandai (N-58). Skaičiavimų rezultatai pateikti A priede.

Pagal apskaičiuotus prognozuojamus dviračių eismo srautus skirtingomis piko valandomis (A priedas, 3A lentelė) sudaryti esamų ir prognozuojamų dviračių eismo srautų grafikai (žr. 3.17 pav.).



3.17 pav. S. Stanevičiaus g. vidutinės, rytinio ir vakarinio piko valandos esami ir prognozuojami dviračių eismo srautai (sudaryta autorės)

Fig. 3.17. Current and predicted average, morning and evening peak hour bicycle traffic patterns on S. Stanevičiaus St. (compiled by the author)

Iš 3.17 pav. pateiktų grafikų matyti, kad prognozuojami dviračių srautai tik vidutiniškai atspindi esamus dviračių eismo srautus vidutinėmis ir vakarinio piko valandomis, tačiau rytinio piko valandomis prognozuojami dviračių srautai yra didesni už esamus srautus.

Atlikus metodikos vertinimą pagal MAPE nustatyta, kad S. Stanevičiaus g. vidutinės piko valandos MAPE – 84,81 %, rytinio piko valandos MAPE – 397,71 %, vakarinio piko valandos MAPE – 74,58 %. Pagal MAE skaičiavimus vidutinės piko valandos paklaida yra 7 dv./h, rytinio piko valandos paklaida – 14,5 dv./h, vakarinio piko valandos paklaida – 14,1 dv./h.

3.4. Dviračių srautų prognozavimo modelių vertinimas

Siekiant nustatyti, kuri dviračių srautų prognozavimo metodika yra tikslingesnė (I metodika – suvestinės elgsenos studijos metodika, II – eskizinio planavimo metodika), atliekamas abiejų metodikų tikslumo vertinimas pagal MAPE ir MAE rodiklius. Metodikų vertinimo rezultatai pagal MAPE pateikti 3.10 lentelėje, pagal MAE – 3.11 lentelėje.

3.10 lentelė. Dviračių srautų prognozavimo metodikų vertinimas pagal MAPE (sudaryta autorės)

Table 3.10. Evaluation of bicycle flows forecasting methodologies based on MAPE (compiled by the author)

	T. Narbuto g.		Konstitucijos pr.		S. Stanevičiaus g.	
	I metodika	II metodika	I metodika	II metodika	I metodika	II metodika
Y1, MAPE, %	4,25	83,86	0,27	102,14	0,72	84,81
Y2, MAPE, %	2,49	244,09	1,11	211,28	1,81	397,71
Y3, MAPE, %	0,07	26,85	0,80	53,77	0,39	74,58

Iš 3.10 lentelės rezultatų matyti, kad, nepriklausomai nuo analizuotos vietos ir piko valandos, geresni yra I metodikos rezultatai (suvestinės elgsenos studijos metodikos), nes šios metodikos paklaida kinta nuo 0,07 % iki 4,25 %. II metodikos (eskizinio planavimo metodika) paklaida kinta nuo 26,85 % iki 397,71 %.

3.11 lentelė. Dviračių srautų prognozavimo metodikų vertinimas pagal MAE (sudaryta autorės)

Table 3.11. Evaluation of bicycle flows forecasting methodologies based on MAE (compiled by the author)

	T. Narbuto g.		Konstitucijos pr.		S. Stanevičiaus g.	
	I metodika	II metodika	I metodika	II metodika	I metodika	II metodika
Y1, MAE, dv./h	12,71	47,70	1,69	32,50	1,04	7,00
Y2, MAE, dv./h	6,20	78,00	2,56	46,60	0,90	14,50
Y3, MAE, dv./h	8,53	48,50	2,79	20,60	1,98	14,10

Iš 3.11 lentelės duomenų matyti, kad I metodika (suvestinės elgsenos metodika) yra labai tiksli, kadangi prognozuojamas dviračių eismo srautas, pagal analizuotą vietą ir piko valandą kinta nuo 0,90 dv./h iki 12,71 dv./h. II metodika yra mažiau tiksli, kadangi prognozuojamos reikšmės nuo tikrųjų reikšmių skyrėsi nuo 7 dv./h iki 78 dv./h. Įvertinus metodikų tikslumą pagal MAPE ir MAE rodiklius galima teigti, jog suvestinės elgsenos metodika yra tikslesnė už eskizinio planavimo metodiką.

Nors pagal MAPE eskizinio planavimo metodikos rezultatus atrodytų, kad ši metodika yra visiškai netiksli, nes paklaida siekia beveik 400 %, tačiau tokie dideli paklaidos rezultatai neįrodo, kad metodika yra neteisinga. Nors MAPE yra plačiai naudojama kaip prognozavimo metodikų vertinimo rodiklis, tačiau pagrindinis jos trūkumas, jog kai tikrosios naudojamų duomenų reikšmės yra labai mažos MAPE rezultatai yra labai dideli (Kim & Kim, 2016). Tokius pačius rezultatus nustatė ir Kothuri et al. (2022), kai tyrimo metu pastebėjo, kad kai analizuojamose vietose dviračių eismo srautai yra maži, MAPE rezultatas viršija 100 %. Analizuojant bendrai MAPE ir MAE rodiklius matyti, kad nors pagal MAPE eskizinio planavimo metodikos S. Stanevičiaus g. rytinio piko valandos (Y2) paklaida siekia 397,71 %, tačiau skaitiškai ši reikšmė atitinka tik 14,5 dv./h. Tai įrodo, kad esant mažoms vertinamoms reikšmėms MAPE rodiklis būna labai didelis, o eskizinio planavimo metodika yra teisinga, tik jos paklaida yra didesnė nei suvestinės elgsenos studijos metodikos.

Atlikus suvestinės elgsenos metodikos ir eskizinio planavimo metodikos vertinimą nustatyta, kad gauti rezultatai atitinka kitų mokslininkų rezultatus. Miah et al. (2024) nustatė, kad sudėtingi prognozavimo modeliai turi mažesnę MAPE, kai paprastesni – didesnę. Toks pats rezultatas buvo gautas ir šiame tyrime. Taikant suvestinės elgsenos metodiką naudojami statistinės analizės metodai, todėl palygus su eskizinio planavimo metodika – suvestinės elgsenos metodika yra sudėtingesnė. Atitinkamai suvestinės elgsenos metodikos tikslumas buvo

didesnis (MAPE nuo 0,07 % iki 4,25 %) nei eskizinio planavimo metodikos (nuo 26,85 % iki 397,71 %). Nustatyta, kad metodikų, kurias taikant naudojama regresinė analizė, MAPE vidurkis yra 25 %, tačiau minimali reikšmė gali siekti apie 9 %, o maksimali – 52 % (Miah et al., 2024).

Atsižvelgiant į tai, kad eskizinio planavimo metodikos tikslumas niekada anksčiau nebuvo nustatytas, negalima šios metodikos rezultatų palyginti su kitų autorių rezultatais. Tačiau MAPE paklaida, viršijanti 100 % vertę, yra normalus rezultatas, kadangi buvo nustatyta, kad esant mažiems dviračių eismo srautams (iki 49 dv./h) MAPE gali siekti 288–669 %, esant vidutiniams srautams (iki 193 dv./h) MAPE nuo 60 iki 123 %, esant dideliems srautams (iki 1951 dv./h) MAPE gali kisti nuo 41 iki 54 % (Kothuri et al., 2022).

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

1. Atliekant pradinių duomenų tvarkymą nustatyta, kad rytinio piko dviračių eismo srautai statistiškai reikšmingai mažesni už vakarinio piko srautus. Dispersinės analizės rezultatai patvirtina, jog dviračių eismo srautai prognozavimo modeliams turi būti renkami antradieniais, trečiadieniais ir ketvirtadieniais. Be to, nustatyta, kad reikšmingiausias duomenų rinkimo laikotarpis yra nuo balandžio iki spalio, tačiau priklausomai nuo miesto vietos šis periodas gali būti trumpesnis.
2. Taikant daugianarę tiesinę regresinę analizę, prognozuojant dviračių eismo srautus pagal suvestinės elgsenos metodiką, nustatyta, kad visose tyrimo vietose statistiškai reikšmingą įtaką prognozuojamiems dviračių eismo srautams turi rytinio ir vakarinio piko valandos mikromobilumo priemonių eismo srautai. Tačiau, priklausomai nuo analizuotos vietos mieste, kinta kiti modeliuose naudoti statistiškai reikšmingi kintamieji: miesto vidurinėje dalyje, kur infrastruktūra jungiasi į bendrą dviračių tinklą, svarbūs yra rytinio piko motorinių transporto priemonių srautai ir vakarinio piko „Strava“ dviračių srautai; miesto centrinėje dalyje – rytinio piko „Strava“ dviračių srautai; vidurinėje dalyje, kur infrastruktūra nesijungia į bendrą tinklą, reikšmingi yra krituliai ir maksimali oro temperatūra.
3. Atlikus dviračių eismo srautų prognozavimą pagal eskizinio planavimo metodiką nustatyta, kad visose analizuotose vietose prognozuojami dviračių eismo srautai tik iš dalies atspindi natūriniais tyrimais fiksuotus dviračių eismo srautus. Tokie rezultatai gauti dėl to, kad prognozėms naudojami motorinių transporto priemonių eismo srautai dažniausiai yra

tolygūs ir nekintantys, todėl jie neperteikia dviračių srautams būdingų kasdienių kitimo tendencijų.

4. Suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikų tikslumas buvo vertintas MAPE ir MAE rodikliais. Nustatyta, kad suvestinės elgsenos studijos metodikos MAPE kinta nuo 0,07 % iki 4,25 %, o eskizinio planavimo metodikos MAPE kinta nuo 26,85 % iki 397,71 %. Pagal MAE rodiklį suvestinės elgsenos metodikos paklaida kinta nuo 0,90 dv./h iki 12,71 dv./h. eskizinio planavimo metodikos paklaida kinta nuo 7,00 dv./h iki 78,00 dv./h. Metodikų tikslumo vertinimas, atliktas pagal MAE rodiklį, patvirtina, kad, esant mažiems dviračių eismo srautams, MAPE paklaida gali būti labai didelė, bet tai neįrodo naudojamos metodikos prastumo. Kadangi net esant metodikos MAPE paklaidai iki 397,71 %, statistiškai maksimali paklaida siekia 78,00 dv./h.

Bendrosios išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad skirtingi dviračių infrastruktūros sprendiniai daro tiesioginę įtaką dviratininkų subjektyvaus saugumo jausmui: didėjant fiziniam ir vizualiniam atskirymui tarp eismo dalyvių, subjektyvus saugumas didėja. Nustatyta, kad dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų pasirinkimas priklauso nuo projekto masto. Dažniausiai dviračių eismo srautams prognozuoti miesto mastu taikomos suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikos, kurios skiriasi naudojamais kintamaisiais ir prognozavimo tikslumu. Suvestinės elgsenos metodikose dažniausiai naudojami gyventojų sociodemografiniai, aplinkos užstatymo ir meteorologiniai kintamieji, o eskizinio planavimo metodikose – gyventojų skaičius, aplinkos užstatymo ir modalinio pasidalijimo rodikliai. Literatūroje nurodoma, kad suvestinės elgsenos metodikų prognozių tikslumas gali siekti iki 53 %, o eskizinio planavimo metodikų prognozių tikslumas dažnai nepateikiamas (nėra sistemiskai kiekybiškai įvertintas).
2. Ekspertinė apklausa parodė, kad Lietuvos specialistų vertinimai dėl subjektyvios saugos, priklausomai nuo dviračių infrastruktūros sprendinių, atitinka tarptautinės mokslinės literatūros rezultatus. Tai patvirtina, kad subjektyvaus saugumo vertinimai dviračių infrastruktūros atžvilgiu

yra iš esmės nepriklausomi nuo šalies konteksto ir gali būti palyginami tarp skirtingų šalių, atsižvelgiant į vietinių ekspertų įžvalgas.

3. Kiekybinė analizė patvirtino, kad dviračių infrastruktūros sprendinių teikiamas subjektyvus saugumo jausmas reikšmingai veikia prognozuojamus dviračių eismo srautus: mažiausiai saugūs sprendiniai gali sumažinti prognozuojamą srautą iki 14 %, o saugiausi sprendiniai – padidinti iki 36 %. Dėl to dviračių eismo srautų prognozėse ir infrastruktūros planavimo srityje subjektyvaus saugumo veiksnys turi būti įtraukiamas kaip reikšmingas srautų pokytį lemiantis veiksnys.
4. Atlikus dviračių eismo srautų prognozavimą gatvės lygmeniu, naudojant laisvai prieinamus duomenų šaltinius, nustatyta, kad suvestinės elgsenos metodikos prognozių paklaida siekia iki 4,25 %. Taip pat pirmą kartą įvertintas eskizinio planavimo metodikos tikslumas taikant ją gatvės lygmeniui – prognozių paklaida siekia iki 398 %. Dviračių eismo srautų prognozavimo metodikų pasirinkimas turi būti siejamas su turimų duomenų išsamumu ir siekiamu prognozių tikslumu.
5. Atlikus dviračių srautų prognozavimo metodikų praktinio pritaikomumo vertinimą gatvės lygmens atvejo analizėje ir palyginus gautų prognozių tikslumą, nustatyta, kad suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikos gali būti praktiškai taikomos gatvės lygmens dviračių infrastruktūros projektavimo srityje, naudojant viešai prieinamus duomenis. Praktiškai taikant suvestinės elgsenos metodika tinkamesnė, kai reikalingos didelio tikslumo dviračių eismo srautų prognozės, o eskizinio planavimo metodika – preliminariam dviračių infrastruktūros poreikio pagrindimui. Apskaičiuoti dviračių eismo srautų koregavimo koeficientai pagal planuojamos infrastruktūros tipą sudaro prielaidas tikslinti prognozuojamus srautus ir pagrįsti sprendinių pasirinkimą projektavimo bei planavimo procese. Įvertinus skirtingų dviračių infrastruktūros tipų koregavimo koeficientus, kurie atspindi subjektyvaus saugumo poveikį, didžiausią subjektyvaus saugumo lygį užtikrinančiu sprendiniu laikytina fiziškai atskirta dviračių takų infrastruktūra, o bendri pėsčiųjų ir dviračių takų sprendiniai siejami su mažesniu subjektyviu saugumu ir mažesniu prognozuojamų srautų augimo potencialu.

Literatūra ir šaltiniai

- Alattar, M. A., Cottrill, C., & Beecroft, M. (2021). Sources and applications of emerging active travel data: A review of the literature. *Sustainability* 13(13), Article 7006. <https://doi.org/10.3390/SU13137006>
- Baert, W., & Caers, M. (2021). *Rapport fietsstraten en fietszones* [Report on bicycle streets and bicycle zones]. Fietsberaad Vlaanderen. <https://fietsberaad.be/documenten/rapportfietsstratenenfietszones>
- Bai, Y., Bai, Y., Wang, R., Yang, T., Song, X., & Bai, B. (2023). Exploring associations between the built environment and cycling behaviour around urban greenways from a human-scale perspective. *Land*, 12(3), Article 619. <https://doi.org/10.3390/land12030619>
- Belgian Mobility Dashboard. (2024). <https://www.mobilitydashboard.be/bicycles/bicycle-counters/>
- Bhowmick, D., Saberi, M., Stevenson, M., Thompson, J., Winters, M., Nelson, T., Leao, S. Z., Seneviratne, S., Pettit, C., Vu, H. L., Nice, K., & Beck, B. (2023). A systematic scoping review of methods for estimating link-level bicycling volumes. *Transport Reviews*, 43(4), 622–651. <https://doi.org/10.1080/01441647.2022.2147240>
- Bian, R., Tolford, T., Liu, S., & Gangireddy, S. (2023). Lessons learned from evaluating complete streets project outcomes with emerging data sources.

- Transportation Planning and Technology*, 46(6), 754–772. <https://doi.org/10.1080/03081060.2023.2214136>
- BikePed Portal. (2025). https://bikeped.trec.pdx.edu/explore/?region_id=1
- Bojke, L., Soares, M., Claxton, K., Colson, A., Fox, A., Jackson, C., Jankovic, D., Morton, A., Sharples, L., & Taylor, A. (2021). Developing a reference protocol for structured expert elicitation in health-care decision-making: a mixed-methods study. *Health Technology Assessment*, 25(37), 1–124. <https://doi.org/10.3310/hta25370>
- Boufous, S., Hatfield, J., & Grzebieta, R. (2018). The impact of environmental factors on cycling speed on shared paths. *Accident Analysis and Prevention*, 110, 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.017>
- Burinskienė, M., Paliulis, G. M., ir Ušpalytė-Vitkūnienė, R. (2009). Miestų viešasis transportas. Technika. <https://doi.org/10.3846/1057-5>
- Burke, M. E., Bell, M., & Dissanayake, D. (2024). 9 to 5 or a new-normal? Cluster analysis of pre and post pandemic vehicle and cycle diurnal flow profiles. *IET Intelligent Transport Systems*, 18(S1), 3041–3057. <https://doi.org/10.1049/itr2.12558>
- Cabral, L., & Kim, A. M. (2020). An empirical reappraisal of the four types of cyclists. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 206–221. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2020.05.006>
- Čekanavičius, V. ir Murauskas, G. (2014). *Taikomoji regresinė analizė socialiniuose tyrimuose*. Vilniaus universiteto leidykla.
- Chen, P., Zhou, J., & Sun, F. (2017). Built environment determinants of bicycle volume: A longitudinal analysis. *Journal of Transport and Land Use*, 10(1), 655–674. <https://doi.org/10.5198/JTLU.2017.892>
- Clark, C., Mokhtarian, P., Circella, G., & Watkins, K. (2019). User preferences for bicycle infrastructure in communities with emerging cycling cultures. *Transportation Research Record*, 2673(12), 89–102. <https://doi.org/10.1177/0361198119854084>
- Comptage vélo – Données compteurs. (2025). <https://parisdata.opendatasoft.com/pages/home/>
- Copenhagenize, & EIT Urban Mobility. (2025). The Copenhagenize Index 2025.
- CROW. (2016). Design manual for bicycle traffic (R. Herwijnen, Ed.). Crow media.
- Dadashova, B., Griffin, G., Das, S., Turner, S., & Graham, M. (2018). *Guide for seasonal adjustment and crowdsourced data scaling*. Texas A&M Transportation Institute.
- Dadashova, B., & Griffin, G. P. (2020). Random parameter models for estimating statewide daily bicycle counts using crowdsourced data. *Transportation*

- Research Part D: Transport and Environment*, 84, Article 102368
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102368>
- Dadashova, B., Griffin, G. P., Das, S., Turner, S., & Sherman, B. (2020). Estimation of average annual daily bicycle counts using crowdsourced Strava data. *Transportation Research Record*, 2674(11), 390–402. <https://doi.org/10.1177/0361198120946016>
- Department for Transport. (2020). Cycle infrastructure design. www.tsoshop.co.uk
- Elesawey, M. (2014). Estimation of annual average daily bicycle traffic with adjustment factors. *Transportation Research Record*, 2443(1), 106–114. <https://doi.org/10.3141/2443-12>
- Ermagun, A., Lindsey, G., & Hadden Loh, T. (2018). Bicycle, pedestrian, and mixed-mode trail traffic: A performance assessment of demand models. *Landscape and Urban Planning*, 177, 92–102. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2018.05.006>
- European Commission. (2011). White paper 2011: Roadmap to a single European transport area – towards a competitive and resource efficient transport system.
- European Parliament, & European Parliament Council. (2024). EU Artificial Intelligence Act. https://artificialintelligenceact.eu/article/3/?utm_source=chatgpt.com
- Fan, W., Lin, Z., Liu, S., Searcy, S., Manager, P., & Carter, B. (2021). *Bicycle volume: counting machine validation & correction, estimating & forecasting, and analysis of injury risk*. University of North Carolina at Charlotte Institute for Transportation Research and Education.
- Fitch, D. T., Carlen, J., & Handy, S. L. (2022). What makes bicyclists comfortable? Insights from a visual preference survey of casual and prospective bicyclists. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 155, 434–449. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.11.008>
- Flaes, J. B., Rudinac, S., & Worring, M. (2016). What multimedia sentiment analysis says about city liveability. In N. Ferro, , F. Crestani, , M.-F. Moens, , J. Mothe, F. Silvestri, G. M. Nunzio, C. Hauff, & G. Silvello (Eds.), *Advances in information retrieval. ECIR 2016*. (Lecture Notes in Computer Science). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30671-1_74
- Fournier, N., Christofa, E., & Knodler, M. A. (2017). A sinusoidal model for seasonal bicycle demand estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50, 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.021>
- Friel, D., Wachholz, S., Werner, T., Zimmermann, L., Schwedes, O., & Stark, R. (2023). Cyclists' perceived safety on intersections and roundabouts – A qualitative bicycle simulator study. *Journal of Safety Research*, 87, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.012>

- Gehl, J. (2010). *Cities for people*. Island Press. <https://islandpress.org/books/cities-people#desc>
- Geller, R. (2006). *Four types of cyclists*. <https://www.portland.gov/sites/default/files/2022/Four%20Types%20of%20Cyclists%20updated%202009.pdf>
- Goldsmith, S. (1997). *Estimating the effect of bicycle facilities on VMT and emissions*. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/98166/sec2.3.cfm>
- Gössling, S., & McRae, S. (2022). Subjectively safe cycling infrastructure: New insights for urban designs. *Journal of Transport Geography*, 101, Article 103340. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103340>
- Griffin, G. (2009). Simple Techniques for Forecasting Bicycle and Pedestrian Demand. *Practicing Planner*, 7(3). https://rosap.ntl.bts.gov/pdfjs/web/viewer.html?file=/view/dot/25507/dot_25507_DS1.pdf
- Griffin, G. P., & Jiao, J. (2015). Where does bicycling for health happen? Analysing volunteered geographic information through place and plexus. *Journal of Transport & Health*, 2(2), 238–247. <https://doi.org/10.1016/J.JTH.2014.12.001>
- Griffin, G. P., Mulhall, M., Simek, C., & Riggs, W. W. (2020). Mitigating Bias in big data for transportation. *Journal of Big Data Analytics in Transportation* 2(1), 49–59. <https://doi.org/10.1007/S42421-020-00013-0>
- Griswold, J. B., Yu, M., Filingeri, V., Grembek, O., & Walker, J. L. (2018). A behavioral modeling approach to bicycle level of service. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116, 166–177. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2018.06.006>
- Guo, X., Tavakoli, A., Angulo, A., Robartes, E., Chen, T. D., & Heydarian, A. (2023). Psycho-physiological measures on a bicycle simulator in immersive virtual environments: how protected/curbside bike lanes may improve perceived safety. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 92, 317–336. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.11.015>
- Gupta, M., Bhowmick, D., Newbury, R., Saberi, M., Pan, S., & Beck, B. (2025). INSPIRE-GNN: Intelligent Sensor Placement to Improve Sparse Bicycling Network Prediction via Reinforcement Learning Boosted Graph Neural Networks. <https://arxiv.org/abs/2508.00141v1>
- Hankey, S., & Lindsey, G. (2016). Facility-Demand models of peak period pedestrian and bicycle traffic: comparison of fully specified and reduced-form models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2586(1), 48–58. <https://doi.org/10.3141/2586-06>
- Hankey, S., Zhang, W., Le, H. T. K., Hystad, P., & James, P. (2021). Predicting bicycling and walking traffic using street view imagery and destination data.

- Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, Article 102651 <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102651>
- Harrou, F., Dairi, A., Zeroual, A., & Sun, Y. (2022). Forecasting of bicycle and pedestrian traffic using flexible and efficient hybrid deep learning approach. *Applied Sciences* 12(9), 4482. <https://doi.org/10.3390/APP12094482>
- Hochmair, H. H., Bardin, E., & Ahmouda, A. (2019). Estimating bicycle trip volume for Miami-Dade county from Strava tracking data. *Journal of Transport Geography*, 75, 58–69. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGEO.2019.01.013>
- Janušauskienė, D., Vileikienė, E., Nevinskaitė, L. ir Gečienė, I. (2017). Subjektyvus grėsmių suvokimas: ar Lietuvos gyventojai jaučiasi saugūs? *Filosofija. Sociologija*, 2, 99–108. <https://doi.org/10.6001/fil-soc.2017.28.2.1>
- Jean-Louis, G., Eckhardt, M., Podschun, S., Mahnkopf, J., & Venohr, M. (2024). Estimating daily bicycle counts with Strava data in rural and urban locations. *Travel Behaviour and Society*, 34, Article 100694. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100694>
- Jierula, A., Wang, S., Oh, T. M., & Wang, P. (2021). Study on accuracy metrics for evaluating the predictions of damage locations in deep piles using artificial neural networks with acoustic emission data. *Applied Sciences* (Switzerland), 11(5), 1–21. <https://doi.org/10.3390/app11052314>
- Johnstone, D., Nordback, K., & Kothuri, S. (2018). Annual average nonmotorized traffic estimates from manual counts: Quantifying error. *Transportation Research Record*, 2672(43), 134–144. <https://doi.org/10.1177/0361198118792338>
- Johnstone, D., Nordback, K., & Lowry, M. (2017). *Collecting network-wide bicycle and pedestrian data: a guidebook for when and where to count*. Washington State Department of Transportation Office of Research and Library Service. <https://doi.org/10.21949/1503647>
- Jørgensen, P. (2020). *Shared speed for safe transportation and sustainable cities – A study from a cyclist perspective on how traffic design can promote shared speed and the acceptance of mixed traffic*. Chalmers University of Technology. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/301671>
- Juškevičius, P. (2003). *Miestų planavimas*. Technika. <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/134154>. <https://doi.org/10.3846/533-S>
- Juškevičius, P. ir Valeika, V. (2020). *Lietuvos miestų susisiekimo sistemos*. Vilnius. Technika. <https://doi.org/10.20334/2019-041-M>
- Kaiser, S. K., Klein, N., & Kaack, L. H. (2025). From counting stations to city-wide estimates: data-driven bicycle volume extrapolation. *Environmental Data Science*, 4, e13. <https://doi.org/10.1017/EDS.2025.5>
- Kendall, M. G. (1970). *Rank Correlation methods* (4th ed.). Griffin and Co.

- Kim, S., & Kim, H. (2016). A new metric of absolute percentage error for intermittent demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 32(3), 669–679. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.12.003>
- Kinoshita, S., Bando, Y., & Sayama, H. (2024). *Spatio-temporal differences in bike sharing usage: A tale of six cities*. <http://arxiv.org/abs/2412.19294>
- Klein, L. A., Mills, M., & Gibson, D. R. P. (2006). *Traffic detector handbook*, Vol. II (3rd ed.). Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center.
- Kothuri, S., Broach, J., McNeil, N., Hyun, K., Mattingly, S., Miah, Md. M., Nordback, K., & Proulx, F. (2022). *Exploring data fusion techniques to estimate network-wide bicycle volumes*. <https://doi.org/10.15760/trec.273>
- Krizek, K. J., Barnes, G., Poindexter, G., Mogush, P., Thompson, K., Levinson, D., Tilahun, N., Loitzenheiser, D., Kidston, D., Hunter, W., Tharpe, D., Gillenwater, Z., & Killingsworth, R. (2006). *Guidelines for analysis of investments in bicycle facilities*. www.TRB.org
- Kuzmyk, J. R., Walters, J., Bradley, M., & Kockelman, K. M. (2014). *Estimating bicycling and walking for planning and project development: a guidebook*. https://www.kls-eng.com/3_nchrp_rpt_770.pdf
- Kwigizile, V., Morgan Kwayu, K., & Oh, J. S. (2022). Leveraging the spatial-temporal resolution of crowdsourced cycling data to improve the estimation of hourly bicycle volume. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100596>
- Kwigizile, V., Oh, J.-S., Kwayu, K., & University, W. M. (2019). *Integrating crowdsourced data with traditionally collected data to enhance estimation of bicycle exposure measure*. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/44138>
- Le, H. T. K., Buehler, R., & Hankey, S. (2019). Have walking and bicycling increased in the US? A 13-year longitudinal analysis of traffic counts from 13 metropolitan areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 69, 329–345. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2019.02.006>
- Lee, K., & Sener, I. N. (2020). Emerging data for pedestrian and bicycle monitoring: Sources and applications. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, Article 100095. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2020.100095>
- Lee, R. J., Sener, I. N., & Mullins, J. A. (2016). An evaluation of emerging data collection technologies for travel demand modeling: from research to practice. *Transportation Letters*, 8(4), 181–193. <https://doi.org/10.1080/19427867.2015.1106787>
- Lelke, T., & Friedrich, B. (2025). Extracting representative peak hour travel speeds using vehicle trajectories. *Transportation Research Procedia*, 86, 793–800. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.04.099>

- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2011). *Statybos techninis reglamentas STR 2.06.04:2014*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.413395/asr>
- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2022). *Darna judumo planų rengimo rekomendacijos*. <https://sumin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/darnus-judumas/darna-judumo-planai/svarbiausi-darnu-juduma-reglamentuojantys-teises-aktai/>
- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2024). *Dviračių ir pėsčiųjų eismo infrastruktūros planavimo ir projektavimo taisyklės*. <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/4b1abe31ac3611efaae6a4c601761171?jfwid=n3y3fwa09>
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2002). *Kelių eismo taisyklės*. <https://www.infolex.lt/ta/65354>
- Lietuvos rytas. (2018). *Vilniaus gatvėse pasirodė nematytos švieslentės*. <https://www.lrytas.lt/auto/radaras/2018/11/03/news/vilniaus-gatvese-pasirode-nematytos-svieslentes-7800973>
- Lin, Z., & Fan, W. (David). (2020). Modeling bicycle volume using crowdsourced data from Strava smartphone application. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 9(4), 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2020.03.003>
- Loidl, M., Werner, C., Heym, L., Kofler, P., & Innerebner, G. (2019). *Lifestyles and Cycling Behavior—Data from a Cross-Sectional Study*, 4(4), 140. <https://doi.org/10.3390/DATA4040140>
- Lu, T., Buehler, R., Mondschein, A., & Hankey, S. (2017). Designing a bicycle and pedestrian traffic monitoring program to estimate annual average daily traffic in a small rural college town. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 193–204. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2017.04.017>
- Lu, T., Mondschein, A., Buehler, R., & Hankey, S. (2018). Adding temporal information to direct-demand models: Hourly estimation of bicycle and pedestrian traffic in Blacksburg, VA. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.05.011>
- Main Roads Western Australia. (2024). *Trafficmap*. <https://trafficmap.mainroads.wa.gov.au/>
- Markevicius, V., Navikas, D., Zilys, M., Andriukaitis, D., Valinevicius, A., & Cepenai, M. (2016). Dynamic vehicle detection via the use of magnetic field sensors. *Sensors* 16(1), 78. <https://doi.org/10.3390/S16010078>
- McCreery-Phillips, S., & Heydari, S. (2023). Neighbourhood characteristics and bicycle commuting in the Greater London area. *Transport Policy*, 142, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.08.007>

- McDonald, A. A., Macbeth, A. G., Ribeiro, K. M., & Mallett, D. S. (2007). *Estimating demand for new cycling facilities in New Zealand*. <https://viastrada.nz/sites/default/files/NZTA-Research-Report-340.pdf>
- Melo, L. E. A. de, & Isler, C. A. (2023). Integrating link count data for enhanced estimation of deterrence functions: A case study of short-term bicycle network interventions. *Journal of Transport Geography*, *112*, Article 103711. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103711>
- Mertens, L., Van Dyck, D., Ghekiere, A., De Bourdeaudhuij, I., Deforche, B., Van de Weghe, N., & Van Cauwenberg, J. (2016). Which environmental factors most strongly influence a street's appeal for bicycle transport among adults? A conjoint study using manipulated photographs. *International Journal of Health Geographics*, *15*(1), Article 31. <https://doi.org/10.1186/s12942-016-0058-4>
- Miah, M. M., Hyun, K. K., & Mattingly, S. P. (2024). A review of bike volume prediction studies. *Transportation Letters*, *16*(10), 1406–1433. <https://doi.org/10.1080/19427867.2024.2310831>
- Miah, M. M., Hyun, K. K., Mattingly, S. P., & Khan, H. (2023). Estimation of daily bicycle traffic using machine and deep learning techniques. *Transportation*, *50*(5), 1631–1684. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10290-z>
- Miguel, J., Mendonça, P., Quelhas, A., Caldeira, J. M. L. P., & Soares, V. N. G. J. (2024). Using Computer Vision to Collect Information on Cycling and Hiking Trails Users. *Future Internet* *16*(3), 104. <https://doi.org/10.3390/FI16030104>
- Ministerstwo Infrastruktury. (2019). *Wytyczne organizacji bezpiecznego ruchu rowerowego*. www.kbrd.gov.pl
- Müggenburg, H., Blitz, A., & Lanzendorf, M. (2022). What is a good design for a cycle street? – User perceptions of safety and attractiveness of different street layouts. *Case Studies on Transport Policy*, *10*(2), 1375–1387. <https://doi.org/10.1016/J.CSTP.2022.04.021>
- Munira, S., Sener, I. N., & Zhang, Y. (2021). Estimating Bicycle Demand in the Austin, Texas Area: Role of a Bikeability Index. *Journal of Urban Planning and Development*, *147*(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000725](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000725)
- Myhrmann, M. S., & Mabit, S. E. (2023). Estimating city-wide hourly bicycle flow using a hybrid LSTM MDN. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, *176*, Article 103783. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103783>
- Nateghinia, E., Beitel, D., Lesani, A., & Miranda-Moreno, L. F. (2024). A LiDAR-based methodology for monitoring and collecting microscopic bicycle flow parameters on bicycle facilities. *Transportation*, *51*(1), 129–153. <https://doi.org/10.1007/s11116-022-10322-8>
- Nazemi, M., van Eggermond, M. A. B., Erath, A., Schaffner, D., Joos, M., & Axhausen, K. W. (2021). Studying bicyclists' perceived level of safety using

- a bicycle simulator combined with immersive virtual reality. *Accident Analysis and Prevention*, 151, Article 105943. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105943>
- Nelson, T., Roy, A., Ferster, C., Fischer, J., Brum-Bastos, V., Laberee, K., Yu, H., & Winters, M. (2021). Generalized model for mapping bicycle ridership with crowdsourced data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125, Article 102981. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.102981>
- Nematchoua, M. K., Ricciardi, P., Buratti, C., Orosa, J. A., Asadi, S., Deuse, C., Saadi, I., & Reiter, S. (2023). A bike trips survey as an impetus for the transition to sustainable cities and societies. *Cities*, 141, Article 104526. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2023.104526>
- Noland, R. B., Smart, M. J., & Guo, Z. (2019). Bikesharing trip patterns in New York City: associations with land use, subways, and bicycle lanes. *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(9), 664–674. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1501520>
- Nordback, K., Marshall, W., Janson, B., & Stolz, E. (2013). Estimating annual average daily bicyclists. *Transportation Research Record*, 2339 (1), 90–97. <https://doi.org/10.3141/2339-10>
- Nordback, K., Piatkowski, D., Janson, B. N., Marshall, W. E., Krizek, K. J., & Main, D. S. (2011). Using inductive loops to count bicycles in mixed traffic. *Journal of Transportation of the Institute of Transportation Engineers*, 2(1), 39–56.
- O'Reilly, R. K., Kollmann, A., Cohen, J. J., & Reichl, J. (2024). Macro-factors driving bicycle adoption as a primary transport mode across Europe. *Travel Behaviour and Society*, 34, Article 100669. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100669>
- Orvin, M. M., Fatmi, M. R., & Chowdhury, S. (2021). Taking another look at cycling demand modeling: A comparison between two cities in Canada and New Zealand. *Journal of Transport Geography*, 97, Article 103220. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGEO.2021.103220>
- Oskarbski, J., Birr, K., & Žarski, K. (2021). Bicycle traffic model for sustainable urban mobility planning. *Energies*, 14(18), Article 5970. <https://doi.org/10.3390/en14185970>
- Pazdan, S., Kiec, M., & D'Agostino, C. (2021). Impact of environment on bicycle travel demand—Assessment using bikeshare system data. *Sustainable Cities and Society*, 67, Article 102724. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.102724>
- Pogodzinska, S., Kiec, M., & D'Agostino, C. (2020). Bicycle traffic volume estimation based on GPS data. *Transportation Research Procedia*, 45, 874–881. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2020.02.081>
- Proulx, F. R., Schneider, R. J., & Miranda-Moreno, L. F. (2016). Performance evaluation and correction functions for automated pedestrian and bicycle

- counting technologies. *Journal of Transportation Engineering*, 142(3), Article 04016002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000828](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000828)
- Rahman, M. (2023). Commute mode switch and its relationship to life events, built-environment, and attitude change. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 120, Article 103777. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2023.103777>
- Ray, A. F., Pelletier, J. E., & Zukoski, A. P. (2020). Bicycle and pedestrian manual count programs: Assessing the feasibility and value for measuring local active transportation work. *Journal of Transport & Health*, 16, Article 100833. <https://doi.org/10.1016/J.JTH.2020.100833>
- Reggiani, G., Salomons, A. M., Sterk, M., Yuan, Y., O'Hern, S., Daamen, W., & Hoogendoorn, S. (2022). Bicycle network needs, solutions, and data collection systems: A theoretical framework and case studies. *Case Studies on Transport Policy*, 10(2), 927–939. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.03.006>
- Rivera Olsson, S., & Elldér, E. (2023). Are bicycle streets cyclist-friendly? Micro-environmental factors for improving perceived safety when cycling in mixed traffic. *Accident Analysis and Prevention*, 184, Article 107007. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107007>
- Rupi, F., Poliziani, C., & Schweizer, J. (2019). Data-driven bicycle network analysis based on traditional counting methods and GPS traces from smartphone. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(8), 322. <https://doi.org/10.3390/IJGI8080322>
- Ryu, S. (2020). A bicycle origin-destination matrix estimation based on a two-stage procedure. *Sustainability (Switzerland)*, 12(7), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su12072951>
- Ryus, P., Ferguson, E., Laustsen, K. M., Schneider, R. J., Proulx, F. R., Hull, T., & Miranda-Moreno, L. (2014). Guidebook on pedestrian and bicycle volume data collection. NCHRP Report 797. *National Cooperative Highway Research Program*. <https://doi.org/10.17226/22223>
- Sanders, R. L. (2016). We can all get along: The alignment of driver and bicyclist roadway design preferences in the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 91, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.002>
- Shah, N., Cherry, C., Brakewood, C., Cate, M., Kohls, A., Ortmann, M., & Proulx, F. (2020). TDOT Bicycle & Pedestrian Counting: Best Methodologies Assessment. <https://rosap.nhtl.gov/view/dot/56300>
- SĮ „Susisiekimo paslaugos“. (2022). 2022 m. Vilniaus miesto gyventojų modalinio kelionių pasiskirstymo apklausos rezultatai.
- Stoll, T., Hagmann, D., Leitner, J., & Hackenfort, M. (2024). Keep me safe—evaluation of safety perception of different bicycle facilities. *Traffic Safety Research*, 7. <https://doi.org/10.55329/vrrz2104>

- Sun, Y., Banchemo, S., Pearse, J., Demiris, D., & Wooldridge, C. (2022). Use of automated video surveys on shared paths. In S. A. Turner & R. H. Grzebieta (Eds.), *Proceedings of the 2022 Australasian Road Safety Conference* (pp. 209–210). Australasian College of Road Safety. https://australasianroadsafetyconference.com.au/wp-content/uploads/2024/11/ARSC2022-Christchurch-Proceedings_compressed.pdf
- Tabeshian, M., & Kattan, L. (2014). Modeling nonmotorized travel demand at intersections in Calgary, Canada. *Transportation Research Record*, 2430(1), 38–46. <https://doi.org/10.3141/2430-05>
- Tao, T., Lindsey, G., Stern, R., & Levin, M. (2024). The use of crowdsourced mobile data in estimating pedestrian and bicycle traffic: A systematic review. *Journal of Transport and Land Use*, 17(1), 41–65. <https://doi.org/10.5198/JTLU.2024.2315>
- Turner, S., Shunk, G., & Hottenstein, A. (1998). Development of a methodology to estimate bicycle and pedestrian travel demand. Texas Transportation Institute.
- Tzouras, P. G., Pastia, V., Kaparias, I., & Kepaptsoglou, K. (2025). Exploring the effect of perceived safety in first/last mile mode choices. *Transportation*, 52(5), 2145–2183. <https://doi.org/10.1007/s11116-024-10487-4>
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://docs.un.org/en/A/RES/70/1>
- UrbanTide. (2025). *uSmart*. <https://usmart.io/org/cyclingscotland/>
- Vasilev, M., Pritchard, R., & Jonsson, T. (2022). Mixed-methods approach to studying multiuser perceptions of an interim Complete Streets project in Norway. *Travel Behaviour and Society*, 29, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.05.002>
- Vegdirektoratet. (2013). Håndbok 233 –Sykkelhåndboka. https://filesserver.motocross.io/trafikksiden/HB233_Sykkelhandboka_2013.pdf
- Vierø, A. R., Vybornova, A., & Szell, M. (2024). How good is open bicycle network data? A Countrywide Case Study of Denmark. *Geographical Analysis*. <https://doi.org/10.1111/gean.12400>
- Vilniaus miesto savivaldybė. (2007). Vilniaus miesto savivaldybės teritorijos bendrasis planas iki 2015 m. <https://vilnius.lt/savivaldybe/miesto-pletra/vilniaus-miesto-savivaldybes-teritorijos-bendrasis-planas-iki-2015-m>
- Vilniaus miesto savivaldybė. (2018). Vilniaus miesto savivaldybės darnaus judumo planas.
- Vilniaus miesto savivaldybė. (2022). Saugios aplinkos tyrimas. <https://vilnius.lt/savivaldybe/saugus-miestas/saugios-aplinkos-tyrimas>
- von Stülpnagel, R., & Rintelen, H. (2024). A matter of space and perspective – Cyclists’, car drivers’, and pedestrians’ assumptions about subjective safety in

- shared traffic situations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2023.103941>
- Wang, X., Lindsey, G., Hankey, S., & Hoff, K. (2013). Estimating mixed-mode urban trail traffic using negative binomial regression models. *Journal of Urban Planning and Development*, 140(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000157](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000157)
- Xu, Y., Shaw, S. L., Fang, Z., & Yin, L. (2016). Estimating potential demand of bicycle trips from mobile phone data—an anchor-point based approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 5(8), 131. <https://doi.org/10.3390/IJGI5080131>
- Younkin, S., Fremont, H., Bratburd, J., De Los Santos, D., & Patz, J. (2023). The influence of socioeconomic characteristics on active travel in US metropolitan areas and the contribution to health inequity. *Wellcome Open Research*, 8, 266. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.19147.1>
- Yuan, Y., Wang, K., Duives, D., Hoogendoorn, S., Hoogendoorn-Lanser, S., & Lindeman, R. (2023). bicycle data-driven application framework: A Dutch case study on machine learning-based bicycle delay estimation at signalized intersections using nationwide sparse GPS data. *Sensors*, 23(24), Article 9664. <https://doi.org/10.3390/S23249664>

Autorės mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Zabielaitytė-Skirmantė, M., Burinskienė, M., & Maliene, V. (2023). Influence of Revitalization on the Social and Economic Well-Being of Residents: Case Study of Lithuania. *Sustainability*, 15, Article 7304. <https://doi.org/10.3390/su15097304>.

Zabielaitytė-Skirmantė, M., & Burinskienė, M. (2024a). Bicycle Infrastructure Safety Assessment From the Perspective of Urban Development Specialists and Engineers. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 19(3), 102–131. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2024-19.644>.

Zabielaitytė-Skirmantė, M., & Burinskienė, M. (2025). Bicycle Traffic Flow Forecasting Methodology for Different Functional Zones of the City. *Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 20(2), 43–80. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2025-20.659>.

Straipsniai kituose leidiniuose

Zabielaitytė-Skirmantė, M., & Burinskienė, M. (2022). Analysis and usage options of „Park and Ride“ lots in Vilnius. *Mokslas – Lietuvos Ateitis / Science – Future of Lithuania*, 14. <https://doi.org/10.3846/mla.2022.17182>

- Zabielaitytė-Skirmantė, M., ir Burinskienė, M. (2023). Dviračių srauto pasiskirstymas Vilniaus miesto funkcinėse zonose. *26th Conference for Junior Researchers „Science – Future of Lithuania“*. <https://doi.org/10.3846/da.2023.008>
- Zabielaitytė-Skirmantė, M., & Burinskienė, M. (2023). Evaluation of the methodology for determining cycling flows in Lithuania. *12th International Conference „Environmental Engineering“*. <https://doi.org/10.3846/enviro.2023.866>.
- Zabielaitytė-Skirmantė, M., & Burinskienė, M. (2024b). Veiksnių, lemiančių pasirinkimą atlikti keliones dviračiais, ir eismo įvykių, susijusių su kelionėmis dviračiais, analizė. *Ustainable Environment: Proceedings of the 27th Conference for Junior Researchers „Science – Future of Lithuania“*, 25 April 2024, Vilnius, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/DA.2024.016>

Summary in English

Introduction

Problem formulation

Despite sustained investments in cycling infrastructure and the implementation of sustainable mobility policies (European Commission, 2011; United Nations, 2015), the 2025 Copenhagenize Index data shows that only 10 out of 100 cities assessed achieve a 25% or higher share of daily cycling trips (Copenhagenize & EIT Urban Mobility, 2025). Research indicates that infrastructure use is determined not only by its availability but also by cyclists' perceived (subjective) safety, which significantly influences mode choice (CROW, 2016; Friel et al., 2023; Reggiani et al., 2022; Tzouras et al., 2025). However, bicycle traffic flows forecasting is typically based solely on objective indicators, while the effects of infrastructure design options mediated through perceived safety are rarely considered. Moreover, existing forecasting methods are predominantly applied at the city scale, and their suitability for street-level projects has not been sufficiently investigated. Consequently, a methodological basis is lacking for using freely available data to forecast bicycle traffic flows and assess how different infrastructure solutions affect the predicted flows (Friel et al., 2023; Tzouras et al., 2025).

Relevance of the dissertation

Bicycle traffic flows forecasts are most commonly based on existing traffic count data, sociodemographic indicators, and information on the built environment (Dadashova &

Griffin, 2020; Le et al., 2019; Nelson et al., 2021). By contrast, the potential use of freely available data sources – such as micromobility and motor-vehicle traffic volumes, the Strava platform data, and meteorological indicators – has not been widely investigated. Although the influence of cycling infrastructure design on cyclists' perceived (subjective) safety has been examined (Gössling & McRae, 2022; Müggenburg et al., 2022a; Vasilev et al., 2022), it remains unclear how this factor affects predicted bicycle traffic flows.

Regional travel-demand and discrete-choice models used for bicycle flows forecasting are not suitable for street-level projects, as they require extensive input data and complex modelling procedures. Therefore, there is a need for methods that can operate under limited-data conditions. Aggregated behaviour and sketch planning approaches meet these requirements; however, aggregated behaviour models are predominantly applied at the city scale (Chen et al., 2017; Dadashova et al., 2020; Hankey & Lindsey, 2016; Nelson et al., 2021), while the forecasting accuracy of sketch planning methods has not been evaluated (Krizek et al., 2006). Consequently, a methodological basis is lacking to enable street-level bicycle traffic flows forecasting using freely available data and to assess how infrastructure design options influence the predicted flows.

Object of research

The object of the research is the impact of bicycle infrastructure solutions on the subjective safety and the application of bicycle traffic flows forecasting methodologies on city streets.

Aim of the dissertation

The dissertation aims to determine the accuracy of the aggregated behaviour model and the sketch plan method in predicting bicycle traffic flows on city streets, using freely available data, and to determine the impact of different bicycle infrastructure solutions on predicted bicycle traffic flows in terms of subjective safety.

Tasks of the dissertation

The following tasks need to be solved in the work to achieve the aim of the dissertation:

1. To conduct a literature review and assess how different cycling infrastructure design solutions influence perceived safety, and to identify the most commonly used city-scale bicycle traffic flows forecasting methods, including the variables they employ and their forecasting accuracy.
2. To conduct an expert survey and determine whether the opinion of Lithuanian specialists on subjective safety in relation to the installation of bicycle infrastructure is consistent with the results of other scientific research.
3. To quantitatively determine the impact of subjective safety on predicted bicycle traffic flows.
4. To predict bicycle traffic flows using the aggregated behaviour model and the sketch plan method, using freely available data, and to assess the accuracy of the methodologies.

5. To evaluate the practical applicability of bicycle traffic flows forecasting methods and adjustment (correction) factors in street-level cycling infrastructure design.

Research methodology

Statistical analysis methods, multinomial linear regression analysis methods, the sketch plan method, and an expert survey were used to achieve the work's objectives.

Scientific novelty of the dissertation

The following novel results in the civil engineering science were obtained while writing the dissertation:

1. The impact of cycling infrastructure design solutions on predicted bicycle traffic flows was quantified by incorporating perceived safety.
2. It was proven that the aggregated behaviour study method can be applied to street-level bicycle traffic flows forecasting using publicly available data (micromobility and motor-vehicle traffic volumes, Strava platform data, and meteorological data).
3. For the first time, the accuracy of the sketch plan method was evaluated, and its scope of application was established: the method is suitable for assessing the overall cycling infrastructure needs.

Practical value of research findings

The dissertation findings can be applied in the planning and design of cycling infrastructure: the safest infrastructure solutions identified in this study can inform regulatory frameworks and the selection of design options, while the aggregated behaviour and sketch planning methods enable bicycle traffic flows forecasting using publicly available data when count data are unavailable or insufficient. The evaluated accuracy of the sketch planning method supports its use for preliminary flows estimates at the early stages of planning, and the calculated perceived-safety adjustment factors make it possible to refine forecasts according to the type of cycling infrastructure being designed.

Defended statements

1. Subjective safety adjustment factors enable quantitative adjustments to bicycle traffic flows forecasts, considering the type of planned infrastructure.
2. The aggregated behaviour model, when applied to the street level, allows for a fairly accurate prediction of bicycle traffic flows using publicly available data.
3. The sketch planning method is suitable for preliminary estimates of bicycle traffic flows but is not appropriate for detailed forecasting.

Approval of the research findings

A total of seven articles have been published on this dissertation's subject: three in publications refereed in the *Clarivate Analytics Web of Science* database with a citation index (Zabielaitė-Skirmantė et al., 2023; Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2023a, 2024a); one in peer-reviewed international conference proceedings (Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2023a); and three in publications in other international databases (Zabielaitė-Skirmantė & Burinskienė, 2022, 2023b, 2024b).

The research results have been presented at seven conferences in Lithuania and abroad:

- the 25th Lithuanian Young Scientists Conference “Science – the Future of Lithuania”, 25 March 2022, Vilnius, Lithuania.
- the 26th Lithuanian Young Scientists Conference “Science – the Future of Lithuania”, 14 April 2023, Vilnius, Lithuania.
- the 12th international conference “Environmental Engineering”, 27–28 April 2023, Vilnius, Lithuania.
- the 2nd international conference “Land & Property development: Innovations and Transformations”, 25–26 May 2023, Kyiv, Ukraine.
- the 27th Lithuanian Young Scientists Conference “Science – the Future of Lithuania”, 25 April 2024, Vilnius, Lithuania.
- the 3rd Transnational Conference “Land & Property development: Innovations and Transformations”, 23–24 May 2024, Kyiv, Ukraine.
- the 11th international conference “Technology & Engineering”, 22–25 July 2024, Athens, Greece.

Structure of the dissertation

The dissertation consists of an introduction, three chapters and general conclusions, a list of references, and a list of the author's publications on the topic of the dissertation. It has three appendices.

The volume of the work is 128 pages, excluding appendices, 29 numbered formulas, 30 figures and 24 tables are used in the text. The dissertation uses 131 references.

Acknowledgements

My sincere gratitude goes to Prof. Dr Marija Burinskienė for her dedicated guidance, valuable scientific insights, patience, and continuous support throughout the preparation of this dissertation.

I also thank my family – Erika and Vilmantas Zabelos, and Marius Skirmantas – for their understanding, patience, and support throughout my doctoral studies.

1. Bicycle traffic flows data and forecasting methods in cycling infrastructure planning

The chapter outlines bicycle infrastructure planning principles, reviews bicycle traffic flows data sources and databases, and analyses forecasting methods, their key input data, and accuracy.

The developed bicycle infrastructure must meet five basic principles: integrity, directness, safety, convenience and attractiveness (CROW, 2016; Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija, 2024). Bicycle infrastructure can become a sustainable and integral part of the urban transport system only when it is oriented towards cyclists' needs – ensuring safety, convenience, and competitiveness with other modes of transport (CROW, 2016).

One of the main indicators of bicycle infrastructure meeting residents' needs is the increasing share of daily trips made by bicycle, also known as the modal split (CROW, 2016). Modal split is expressed as a percentage, in a defined area, of all trips made per day by the chosen mode of travel (on foot, non-motorised transport, public transport, and individual transport) (Vilniaus miesto savivaldybė, 2018). This indicator provides insights into the efficiency and sustainability of the urban transport system (Flaes et al., 2016).

Despite cities' investment in bicycle infrastructure, the share of bicycle trips in many European capitals does not even reach 10%. This fact confirms that infrastructure alone is not the main factor driving the increase in the number of cyclists. It has been established that cyclists' perceived safety is an essential factor determining their choice to travel by bicycle (Friel et al., 2023). Perceived safety varies by sociodemographic characteristics of cyclists, such as gender (women feel unsafe more often) or age (older people feel unsafe more often) (Müggenburg et al., 2022). Perceived safety is influenced by a cyclist's experience and skills: the more the bicycle is used, the greater perceived safety (Müggenburg et al., 2022). Geller (2006) found that, by type of cyclist, the majority of urban residents (60%) are classified as cyclists who are interested in cycling but are afraid, meaning their perceived safety is not assured. Therefore, to increase bicycle trips in cities, it is necessary to determine which infrastructure cyclists perceive as safe.

The scientific literature extensively analyses bicycle infrastructure design solutions and their impact on cyclists' perceived safety. Most often, perceived safety is determined by conducting surveys of cyclists, during which they indicate when and for what reason they felt unsafe (Friel et al., 2023; Müggenburg et al., 2022), as well as using video simulation and analysing data recorded during a bicycle trip, such as gaze analysis (Guo et al., 2023) or analysing traffic accident data (Bian et al., 2023).

Perceived safety is mainly determined by visual and physical separation from other road users (cars and pedestrians); i.e., safety assessment results increase when traffic conditions change visually, or the distance between individual groups of road users increases.

Considering the results, the safest bicycle infrastructure solutions for cyclists can be distinguished as follows: a bicycle street that is visually distinguished from streets intended for regular traffic (Baert & Caers, 2021; Jörgensen, 2020); a bicycle lane physically separated from the roadway (Mertens et al., 2016); and a bicycle path physically separated from the carriageway and pedestrian path (Boufous et al., 2018; Clark et al., 2019; Nazemi et al., 2021; Sanders, 2016).

When planning bicycle infrastructure, its type is selected based on planning documents and applicable legal norms. Therefore, the type of bicycle street, bicycle lane, or bicycle path is selected based on them. Bicycle paths are among the most commonly used types of bicycle infrastructure, as they ensure the greatest level of traffic safety. However, the technical parameters of bicycle paths depend on predicted bicycle traffic

flows, and data on bicycle traffic flows are necessary. When planning bicycle streets or lanes, bicycle flows data are not necessary, since the infrastructure's technical parameters do not depend on them. Scientists and urban planners often face the problem of the availability and quality of these data. Although many cities claim to collect data on bicycle flows, these data are often not publicly available or provided in a form that does not allow their direct use in analysis or forecasts. Examples of bicycle traffic flows databases in Australia (Main Roads Western Australia, 2024), Scotland (UrbanTide, 2025), and the United States (*Comptage Vélo – Données Compteurs*, 2025) are worth following, as the databases are comprehensive, allowing for analysis of data by month of the year, day of the week, and even hour of the day.

When bicycle traffic flows data is not collected systematically in cities, conventional data-collection methods must be chosen. Lee and Sener (2020) divided bicycle data collection sources into two main categories: traditional and emerging. Traditional data collection sources include in-person bicycle flows measurements and travel surveys. Emerging data sources include bicycle flows data obtained from databases that either specify (Strava, bike sharing data) or do not specify (GPS data) the travel mode. In recent years, artificial intelligence has also been used to collect data on bicycle traffic flows and make predictions (Gupta et al., 2025; Miguel et al., 2024; Nateghinia et al., 2024).

Once the actual bicycle traffic flows are determined, various bicycle flow forecasting methodologies are used to predict future flows. Existing bicycle flows forecasting methodologies differ in their level of detail, accuracy and applicability; therefore, the most accurate methodology must be selected in each case based on the desired results, the size of the analysed territory and the available data (Krizek et al., 2006).

Krizek et al. (2006) and McDonald et al. (2007) distinguished five categories of methodologies: comparison studies, aggregate behaviour models, sketch plan methods, discrete choice models and regional travel models.

Predicted bicycle traffic flows data are essential for planning the overall urban bicycle infrastructure system and for designing individual bicycle infrastructure routes (Bhowmick et al., 2023; Dadashova & Griffin, 2020; Kwigizile et al., 2022; Ryu, 2020). Therefore, it is possible to distinguish the aggregated behaviour model and the sketch plan method from bicycle flows forecasting methodologies, based on their practical application possibilities, data availability and application complexity.

Considering the scale of application of the models, the data requirements, the methodological complexity, and practical applicability, the aggregated behaviour model and sketch plan method stand out from the examined methodologies. The other methodologies – regional travel models, discrete choice models and comparison studies – are considered unsuitable for street-level bicycle flows forecasting. Regional travel models require extremely detailed initial data, specific software and significant time costs; therefore, their application to individual street sections is not effective. Discrete choice models are based on detailed population surveys and high-level statistical and technical skills, which complicates their application in the practical planning process. Comparison studies, although simple, are usually based on already existing bicycle traffic flows data, and are therefore not suitable for predictive assessments when such data have not yet been collected.

Meanwhile, the aggregated behaviour model and sketch plan method stand out as some of the easiest to apply in practice compared to the other examined methodologies. These models require relatively small amounts of data, are based on easily interpretable environmental and population characteristics, and can be applied at the early planning stage, when detailed traffic study data are not yet available. Although sketch plan methods have a higher error rate, they allow for a quick assessment of potential bicycle flows and are suitable for substantiating preliminary solutions.

When forecasting bicycle traffic flows using the aggregated behaviour model, the predicted dependent variable is usually the annual average daily bicycle traffic, daily bicycle traffic, or peak hour bicycle flows (Miah et al., 2024). Alternative data sources (Strava data, GPS data), sociodemographic characteristics of the population, the characteristics of urban development, and weather conditions are usually used as independent variables.

The accuracy of the aggregated behaviour model is most often expressed as the coefficient of determination when the regression analysis methodology is used, or as the mean absolute percentage error (MAPE). An analysis of various scientific sources found that the accuracy of the aggregated behaviour model, as assessed by the coefficient of determination, varies from 0.28 to 0.997, where an approximation to 1 would correspond to a completely accurate methodology, and the MAPE varies from 29–38% (Dadashova et al., 2020; Dadashova & Griffin, 2020).

Sketch plan methods have been described in the scientific literature only four times (Goldsmith, 1997; G. Griffin, 2009; Krizek et al., 2006; Turner et al., 1998). These methodologies use only freely available data to predict bicycle traffic flows: population, modal split data, and land-use type. Although the sketch plan methods have been examined in the scientific literature, the accuracy of this methodology has never been established. Therefore, a clear lack of scientific knowledge is visible.

2. Theoretical background on cyclists' perceived safety and experimental research methodology

The chapter presents the theoretical research on subjective safety across cycling infrastructure solutions. It describes the experimental bicycle traffic flows forecasting study, including in-field traffic flows measurements, the aggregated behaviour model and sketch plan method, and the accuracy assessment criteria.

Perceived safety is a key factor in choosing a bicycle for travel; therefore, its assessment is important when planning and designing bicycle infrastructure (Gössling & McRae, 2022). An analysis of scientific studies on cyclists' perceived safety in different bicycle infrastructure solutions revealed that it is closely associated with visual and physical separation from other road users. However, studies on perceived safety assessment have been conducted in different countries; hence, the question arises whether their results can be directly applied regardless of the country in which the study results were obtained. To determine whether Lithuanian specialists' opinions on the perceived safety of bicycle infrastructure are consistent with the results of other studies, a survey of urban development specialists and engineers was conducted.

Experts were selected following the principles of a structured expert survey, in which the selection is based on predefined criteria for competence, professional activity, and potential bias factors (Bojke et al., 2021).

The following criteria were applied to the expert selection:

1. Competence – experts have at least five years of professional work experience in the areas of transport infrastructure design, directly related to the planning or implementation of bicycle infrastructure. This criterion was chosen based on the usual terms for the preparation and implementation of urban infrastructure projects. A period of five years was considered sufficient for specialists to have encountered all stages of infrastructure development – from the initial idea to its implementation.
2. Active professional activity – the survey includes specialists who are actively working and responsible for the preparation, design or implementation of bicycle infrastructure projects.
3. Professional responsibility – the expert group includes specialists whose professional duties include decision-making, preparing technical solutions, or project coordination.
4. Direct contact with the issues under consideration – experts have practical contact with the application of bicycle infrastructure solutions in the urban environment, including the design, implementation or evaluation stages.
5. Bias – the expert group is formed so that two different professional perspectives are represented (bicycle infrastructure designers responsible for ensuring safety and urban development specialists responsible for approving project solutions), thereby reducing the dominance of any one institution or professional perspective.

Following these principles, experts working in the city of Vilnius were selected for the study. Vilnius was chosen as the research location for several reasons: it is the capital and largest city of Lithuania, where rapid, systematic bicycle infrastructure development has been observed in recent years. This development dynamics implies that Vilnius specialists have accumulated significant practical experience in the design, implementation and evaluation of different bicycle infrastructure solutions in real urban conditions. In addition, limiting the study to one city reduces contextual differences related to institutional practices and planning principles, thereby ensuring greater comparability of expert assessments.

Engineers were selected from SI “Vilniaus planas” – a municipal enterprise with the most experience in designing urban transport infrastructure in Vilnius. The company had ten engineers working in bicycle and street infrastructure design, from whom, based on the selection criteria, five respondents were selected. Urban development specialists were selected from the Working Group for the Evaluation of Engineering Structure Projects and Project Proposals formed by Vilnius City Municipality. This group is responsible for approving bicycle infrastructure project proposals and technical solutions. The group consisted of 15 specialists representing the municipality and its subordinate institutions. Of these, five specialists were selected for the survey based on their work experience.

The survey was conducted in 2023 by sending prepared questionnaires to participants via e-mail. The questionnaires presented three groups of bicycle infrastructure schemes. Each group contained two to five different infrastructure installation options. The schemes included alternatives for installing bicycle streets, bicycle lanes and bicycle paths. Respondents – engineers and urban development specialists – were asked to rate each scheme on the perceived safety provided to cyclists by the specific infrastructure solutions. The schemes were rated on a scale of 1 (least safe) to 10 (safest).

After conducting the survey, the compatibility of respondents' opinions was assessed using Kendall's W concordance coefficient. The compatibility assessment determined that the opinions of urban development specialists are statistically significantly consistent ($W = 0.705$, $X^2(10) = 35.252$, $p = 0.001$), as are the opinions of engineers ($W = 0.646$, $X^2(10) = 32.280$, $p = 0.001$). The survey results of both respondent groups indicate that, from among the schemes of infrastructure-type installations, the same solutions were considered the safest. They were also determined as ensuring the greatest perceived safety during the literature analysis: a bicycle street with red asphalt lanes, bicycle symbols and a vertical road sign, a bicycle lane separated from the carriageway by a narrow strip of greenery, and a 3.5 m wide bicycle path, physically separated from both the carriageway and the pedestrian path. Thus, Lithuanian specialists' opinions on the perceived safety of bicycle infrastructure correspond to the results of other studies.

In traffic flows studies, adjustment or calibration coefficients are often applied to refine short-term measurements and adapt them to forecasts. At the same time, perceived safety directly affects the choice of vehicle and, therefore, traffic flows (Friel et al., 2023; Gössling & McRae, 2022). Theoretical studies conducted in the dissertation confirmed that Lithuanian experts' perceived safety assessments of bicycle infrastructure are consistent with the conclusions of foreign studies; therefore, the results of international studies can be reasonably applied to the Lithuanian context. The results of the study by von Stülpnagel and Rintelen (2024) stand out in the literature analysis for assessing all the main types of bicycle infrastructure installation in a single context. This study provides an opportunity to convert perceived safety estimates into relative coefficients.

Perceived safety coefficients are used to quantitatively assess how different bicycle infrastructure installation solutions can affect predicted bicycle traffic flows. These coefficients allow transforming respondents' assessments (percentages) indicating how many respondents considered a certain solution safe into relative numbers that can later be applied to adjust forecast flows.

The calculation of coefficients has several main steps:

1. Percentage determination. From the study data by von Stülpnagel and Rintelen (2024), percentage estimates are collected showing how many respondents considered each infrastructure solution to be safe.
2. Baseline solution selection. First, the safest infrastructure solution is determined, which is considered a reference point and is given an adjustment factor of 1.
3. Calculation of relative coefficients. For each solution, a relative coefficient K_i is calculated using formula (S2.1):

$$K_i = \frac{p_i}{p_{pref}}, \quad (\text{S2.1})$$

where, p_i – percentage of the solution under consideration; p_{pref} – percentage of the base solution.

4. Adjustment of predicted bicycle traffic flows. The obtained coefficients are used to adjust the predicted bicycle traffic flows according to formula (S2.2):

$$Fl_p = Fl_b \cdot K_i, \quad (S2.2)$$

where, Fl_b – basic predicted bicycle traffic flows; K_i – relative coefficient, according to the bicycle infrastructure solution.

In a study by von Stülpnagel and Rintelen (2024), 21500 respondents evaluated different types of bicycle infrastructure solutions for their subjective safety. Data on the subjective sense of safety provided by the type of infrastructure and the solution were extracted from the study. The results of the study are presented in Table S2.1.

Table S2.1. Cyclists' subjective safety in different infrastructure options (von Stülpnagel & Rintelen, 2024)

Conventional designation	Bicycle infrastructure solution	Safety, %
C1	Bicycle street visually distinguished from streets intended for regular traffic	11
C2	Bicycle street with recommended lanes	7
B3	Bicycle lane (2.0 m wide) separated by a solid line	23
B2	Bicycle lane (3.5 m wide) separated by a solid line	39
B1	Bicycle lane with physical separations	60
A3	Bicycle path at the same level as the pedestrian path	50
A2	Bicycle path separated from the pedestrian path by a curb	57
A1	Bicycle path physically separated from the pedestrian path (by a lawn)	68

To determine the basic solution, according to which the relative coefficients will be calculated, the Sustainable Mobility Plan of Vilnius City Municipality was analysed. It was determined that 45.5% of respondents who participated in the Vilnius city survey usually cycle where cars do not ride (on bicycle paths, pedestrian paths, and sidewalks). Therefore, the A3 solution is adopted as the basic solution, i.e., a bicycle path at the same level as the pedestrian path.

The relative coefficients of the remaining bicycle infrastructure solutions are calculated using the formula (S2.1). The calculated coefficients are presented in Table S2.2.

Table S2.2. Relative coefficients of bicycle infrastructure solutions (compiled by the author)

Conventional designation	Bicycle infrastructure solution	Relative coefficient
C1	Bicycle street visually distinguished from streets intended for regular traffic	0.22
C2	Bicycle street with recommended lanes	0.14
B3	Bicycle lane (2.0 m wide) separated by a solid line	0.46
B2	Bicycle lane (3.5 m wide) separated by a solid line	0.78
B1	Bicycle lane with physical separations	1.2
A3	Bicycle path at the same level as the pedestrian path	1
A2	Bicycle path separated from the pedestrian path by a curb	1.14
A1	Bicycle path physically separated from the pedestrian path (by a lawn)	1.36

To forecast bicycle traffic flows using the aggregated behaviour model and sketch plan method, in situ traffic flows measurements were made in different locations in Vilnius city.

The study sites were selected based on Vilnius city's functional zoning: Konstitucijos Ave. (centre), T. Narbuto St. (middle part, integrated into the bicycle infrastructure network), and S. Stanevičiaus St. (middle part, not integrated into the bicycle infrastructure network). Field measurements were taken in September 2023 – September 2024, three days a week (Tuesdays, Wednesdays, and Thursdays), during peak hours only (7:30–8:30 and 17:30–18:30), to record trips for transportation purposes. The collected data included: recorded bicycle and scooter flows (from video recordings), Strava program trip data for transportation purposes, weather conditions (temperature and precipitation), and car flows obtained from the city database.

Bicycle traffic flows, according to the methodology of the aggregated behaviour model, were predicted using multiple linear regression analysis. The expression of the multiple regression model:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon, \quad (\text{S2.3})$$

where $\beta_1, \beta_2, \beta_p$ – coefficients to independent variables; x_1, x_2, x_p – independent variables; ε – statistical error component.

First, the dependent variables used in the multinomial regression analysis equations were determined: the average peak-hour bicycle traffic flows (Y1), morning peak-hour bicycle traffic flows (Y2), and evening peak-hour bicycle traffic flows (Y3). The data collected during the field measurements were used as independent variables: morning peak hour Strava program fixed number of cyclists (X1), morning peak hour scooter and bicycle flows (X2), morning peak hour vehicle flows (X3), evening peak hour Strava program fixed number of cyclists (X4), evening peak hour scooter and bicycle flows (X5), evening peak hour vehicle flows (X6), precipitation (X7), the minimum daily air

temperature (X8), the maximum daily air temperature (X9), and the average daily air temperature (X10).

The pairs of dependent and independent variables, used in the multinomial linear regression analysis, were determined according to the Pearson correlation coefficient formula (S2.4):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (\text{S2.4})$$

where r – the correlation coefficient; y – dependent variable; x – independent variable, n – the sample size.

The statistical significance of the calculated correlation coefficient values, p less than 0.05, indicates statistically significant non-zero correlations at the 95% confidence level. The analysis shows which pairs are statistically significant and with which independent variables the dependent variables correlate: the average peak-hour bicycle traffic flows (Y1), morning peak-hour bicycle traffic flows (Y2), and evening peak-hour bicycle traffic flows (Y3).

The multinomial linear regression analysis models used in the study were accepted as suitable when they satisfied the following conditions: the coefficient of determination (R^2) was required to be below 0.20 (R^2 ranges from 0 to 1, with higher values indicating a better fit), the ANOVA p -value had to be ≤ 0.05 , the variance inflation factor (VIF) had to be < 4 , and no influential outliers were permitted (Cook's distance < 1). In addition, the dependent variable was required to be approximately normally distributed, which was checked using the histogram against a normal curve as well as the P-P plot of standardised residuals (with points closer to the reference line indicating better normality). Finally, homoscedasticity was evaluated using the Breusch-Pagan test, with the p -value required to be ≥ 0.05 .

Bicycle traffic flows were predicted using the sketch plan method based on a simplified version of the methodology proposed by Griffin (2009). This approach consists of five steps: first, the share of trips made by bicycle for transportation purposes is determined; second, the overall bicycle mode share is established by combining transportation and recreational trips; third, the total bicycle trip share within the study area is defined; fourth, the total vehicle flows in the study area is identified; and finally, the current bicycle flows is calculated based on the resulting proportions (Griffin, 2009).

Because district-level modal split data are available for the city of Vilnius, the methodology proposed by Griffin (2009) was simplified in this study by omitting unnecessary steps. The modified approach comprises three steps: first, the share of daily bicycle trips in the study area is determined; second, the total vehicle flows in the study area is established; and third, the predicted bicycle traffic flows is calculated using formula (2.5).

$$p_{dv} = \frac{sr_{tr} \cdot dv_{mod}}{tr_{mod}}, \quad (\text{S2.5})$$

where, p_{dv} – predicted bicycle traffic flows, $dv./h$; sr_{tr} – vehicle flows; $tr.$ $pr./h$, dv_{mod} – share of trips made by bicycles; tr_{mod} – share of trips made by vehicles.

The study compares two different traffic methodologies for predicting bicycle flows: the aggregated behaviour model and the sketch plan method. In the initial evaluation stage, the accuracy of the aggregated behaviour model is assessed by the coefficient of determination (R^2), since regression analysis is used, and that of the sketch plan method is assessed by the mean absolute percentage error (MAPE) formula (S2.6).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - F_i}{A_i} \right) \cdot 100\%, \quad (S2.6)$$

where, n – the number of measurements; A_i – the measured value; F_i – the predicted value.

Although MAPE is widely used as an indicator for evaluating forecasting methodologies, its main drawback is that when the actual values of the used data are very small, the MAPE results are very large (Kim & Kim, 2016). Given that the current bicycle traffic flows recorded during the field study are small, the accuracy of the methodologies is also assessed using the mean absolute error (MAE). The MAE indicator shows the numerical difference between the current and forecasted indicators and is calculated using formula (S2.7)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i|. \quad (S2.7)$$

3. Experimental studies of bicycle flows forecasting

The chapter presents the results of experimental bicycle traffic flows studies, based on the aggregate behaviour model and the sketch plan method. The research course is described, the results are presented, and the accuracy of the methodologies is assessed.

At the initial stage, to ensure the correct data were collected for use in further stages, they were analysed. Applying the Student's t test, it was determined that the morning peak hour bicycle traffic flows are statistically significantly lower than the evening peak hour flows in all study locations. Consequently, bicycle traffic flows are predicted during the morning, evening, and mid-peak hours. The analysis of variance (ANOVA) was used to determine whether there is a statistically significant difference between the natural measurement days, i.e., Tuesday, Wednesday, and Thursday. The analysis confirmed that there was no statistically significant difference in bicycle traffic flows on the analysed days, confirming the selection of appropriate days. Based on scientific research, bicycle traffic flows vary over time; therefore, only significant months were selected for analysis (Fournier et al., 2017). When assessing the average peak-hour bicycle traffic flows, the monthly median, if it was greater than or equal to the annual median, was selected as a significant month. It was determined that for T. Narbuto St., significant months were April–September, for Konstitucijos Ave., May–September, and for S. Stanevičiaus St., April–October. Before constructing regression analysis equations, data outliers were removed from the data for the significant months using boxplot diagrams.

The results of Pearson's correlation analysis revealed that the first multinomial linear regression analysis equations must be formed for T. Narbuto St. between dependent variables Y1, Y2, and Y3 and independent variables X1, X2, X4, X5, X7, and X9. Konstitucijos Ave. Y1 with X2, X3, X4, X5, X6, X7, and Y2 with X1, X2, X3, X4, X5, X6, and X7, and Y3 with X2, X3, X4, X5, X6, and X7. S. Stanevičiaus St. Y1 with X2,

X3, X4, X5, X7, X9, and X10, Y2 with X2 and X5, and Y3 with X2, X3, X4, X5, X7, X8, X9, and X10.

Multinomial linear regression analysis equations were constructed until the maximum determination coefficient of the models was obtained, and the model suitability conditions described in the Second Chapter were satisfied.

The determination coefficients of the models constructed on T. Narbuto St. reached 0.859 (Y1), 0.947 (Y2), and 0.964 (Y3). According to MAPE, the accuracy of the Y1 models was 4.25%, 2.49% (Y2), and 0.07% (Y3). According to MAE, the error of the Y1 model was 13.0 bic./h, the error of the Y2 model was 6.0 bic./h, and the error of the Y3 model was 9.0 bic./h.

The determination coefficients of the Konstitucijos Ave. models were 0.968 (Y1), 0.897 (Y2), and 0.945 (Y3), respectively. According to MAPE, the accuracy of the Y1 model was 0.27%, Y2 – 1.11%, and Y3 – 0.80%. According to MAE, the error of the Y1 model was 1.69 bic./h, the error of the Y2 model was 2.56 bic./h, and the error of the Y3 model was 2.79 bic./h.

The determination coefficients of the S. Stanevičiaus St. models were 0.967 (Y1), 0.900 (Y2), and 0.967 (Y3), respectively. According to MAPE, the accuracy of the Y1 model was 0.72%, Y2 – 1.81%, and Y3 – 0.39%. According to MAE, the error of the Y1 model was 1.04 bic./h, the error of the Y2 model was 0.9 bic./h, and the error of the Y3 model was 1.98 bic./h.

A regression analysis of the studied locations showed that, across all analysed urban areas, the morning and evening peak scooter and bicycle traffic flows (X2 and X5) are statistically significant when predicting bicycle traffic flows. Consequently, when predicting bicycle traffic flows, it is appropriate to include total micromobility flows (bicycles and electric scooters) in the analysis, since these users compete for the same infrastructure and have similar travel characteristics. Although the total micromobility flows is closely related to bicycle flows, it does not perform the function of a direct substitute, but rather a demand indicator, reflecting the real need for alternative transport in a specific urban area. By including this variable, forecasting models can reflect real travel conditions more accurately and ensure their applicability in a dynamically changing urban mobility environment.

When assessing the distribution of statistically significant variables in the analysed urban areas, it can be concluded that the variables included in the forecasting models must be differentiated depending on the part of the city. In the central part of the city (Konstitucijos Ave.), when predicting bicycle flows, it is necessary to use the morning peak Strava fixed bicycle traffic flows data (X1). In the central part of the city, which serves as a connection between residential areas and the city centre (T. Narbuto St.), when predicting bicycle traffic flows, it is important to include the morning peak vehicle flows (X3) and the evening peak Strava bicycle traffic flows (X4). Meanwhile, in residential areas (S. Stanevičiaus St.), when predicting bicycle traffic flows, it is necessary to include climate condition indicators in the model: precipitation (X7) and the maximum air temperature (X9).

Bicycle traffic flows, according to the sketch plan method, were predicted based on vehicle traffic flows data determined during field measurements and modal split data for Vilnius city for 2022.

According to MAPE calculations, it was determined that T. Narbuto St. Y1 accuracy was 83.86%, Y2 – 244.09%, and Y3 – 26.85%. According to MAE calculations, the Y1 error was 47.7 bic./h, Y2 error – 78 bic./h, and Y3 error – 48.5 bic./h.

Konstitucijos Ave. Y1 accuracy according to MAPE – 102.14%, Y2 – 211.28%, and Y3 – 53.77%. According to MAE calculations, the Y1 error was 32.5 bic./h, the Y2 error was 46.6 bic./h, and the Y3 error was 20.6 bic./h.

Stanevičiaus g. Y1 MAPE was 84.81%, Y2 – 397.71%, and Y3 – 74.58%. According to MAE calculations, the Y1 error was 7 bic./h, the Y2 error was 14.5 bic./h, and the Y3 error was 14.1 bic./h.

After evaluating the aggregate behaviour model and sketch plan method, it was found that the accuracy of the aggregate behaviour model was higher (MAPE from 0.07% to 4.25%) than that of the sketch plan method (MAPE from 26.85% to 397.71%). The results obtained during the study are consistent with the results of other researchers. Miah et al. (2024) found that complex forecasting models have a lower MAPE, while simpler ones have a higher MAPE. The same result was obtained in this study. The aggregate behaviour model uses statistical analysis methods; therefore, compared to the sketch plan method, it is more complex. Accordingly, it was found that the average MAPE of the methodologies that use regression analysis is 25%, but the minimum value can reach about 9%, and the maximum 53% (Miah et al., 2024). Given the fact that the accuracy of the sketch plan method has never been determined before, the results of this methodology cannot be compared with the results of other authors. However, a MAPE error exceeding the 100% threshold is a normal result, as it has been found that for low bicycle traffic flows (up to 49 bic./h) MAPE can reach 288–669%, for medium flows (up to 193 bic./h) MAPE can range from 60% to 123%, and for high flows (up to 1951 bic./h) MAPE can range from 41% to 54% (Kothuri et al., 2022).

General conclusions

1. The literature review found that different cycling infrastructure solutions have a direct effect on cyclists' perceived safety: as physical and visual separation between traffic participants increases, perceived safety increases. It was also determined that the choice of bicycle traffic flows forecasting method depends on the scale of the project. At the city scale, aggregated behaviour and sketch planning methods are most commonly used, and they differ in the variables applied and forecasting performance. Aggregated behaviour methods typically use sociodemographic, built-environment, and meteorological variables, whereas sketch planning methods rely on population, built-environment, and modal split indicators. The literature indicates that the forecasting error of aggregated behaviour methods can be up to 53%, while the forecasting accuracy of sketch planning methods is often not reported (i.e., it has not been systematically quantified).
2. The expert survey showed that Lithuanian specialists' assessments of perceived safety, depending on cycling infrastructure solutions, are consistent with findings reported in the international scientific literature. This confirms that perceived-safety assessments in relation to cycling infrastructure are largely

independent of national context and can be compared across countries, while considering local expert insights.

3. Quantitative analysis confirmed that the level of perceived safety associated with cycling infrastructure solutions has a significant effect on predicted bicycle traffic flows: the least safe solutions can reduce the predicted flows by up to 14%, while the safest solutions can increase it by up to 36%. Therefore, in bicycle traffic flows forecasting and infrastructure planning, perceived safety should be incorporated as a key factor influencing changes in bicycle flows.
4. After forecasting bicycle traffic flows at the street level using freely available data sources, it was found that the aggregated behaviour model achieves a forecasting error of up to 4.25%. In addition, the accuracy of the sketch plan method was evaluated for the first time in a street-level application, with forecasting error reaching up to 398%. The selection of bicycle traffic flows forecasting methods should therefore be aligned with the availability and completeness of the input data as well as the desired level of forecasting accuracy.
5. Based on an assessment of the practical applicability of bicycle traffic flows forecasting methodologies in a street-level case study and a comparison of the resulting prediction accuracy, it was found that both the aggregated behaviour and sketch planning methods can be applied in street-level cycling infrastructure design using publicly available data. In practice, the aggregated behaviour method is more appropriate when highly accurate bicycle traffic flows forecasts are required, whereas the sketch planning method is suitable for a preliminary assessment of overall cycling infrastructure needs. The calculated bicycle flows adjustment factors by planned infrastructure type provide a basis for refining predicted flows and for supporting the selection of design solutions in the planning and design process. Based on the adjustment factors, which capture the effect of perceived safety, the highest level of perceived safety is associated with physically separated cycle-track infrastructure, while shared pedestrian-cycle facilities are linked to lower perceived safety and, consequently, a lower potential for growth in predicted bicycle flows.

Priedai

- A priedas.** Prognozuojami dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką
- B priedas.** T. Narbuto g., Konstitucijos pr., S. Stanevičiaus g. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių koeficientai
- C priedas.** Dviračių eismo srautų prognozavimas pagal suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas

A priedas. Prognozuojami dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką

1A lentelė. Esami (E_{Yx}) ir prognozuojami (P_{Yx}) dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką, T. Narbuto g.

Table 1A. Current (E_{Yx}) and predicted (P_{Yx}) bicycle traffic flows, according to the sketch plan method, T. Narbuto st.

Data	E_{Y1}	P_{Y1}	E_{Y2}	P_{Y2}	E_{Y3}	P_{Y3}
1	2	3	4	5	6	7
2024-04-02	76	135	39	151	112	118
2024-04-04	28	133	13	148	42	118
2024-04-10	152	143	90	165	213	122
2024-04-11	98	147	68	178	127	115
2024-04-16	33	148	32	170	33	125
2024-04-17	56	147	33	173	79	122
2024-04-18	61	141	56	165	65	118
2024-04-23	28	151	16	173	40	129
2024-04-24	17	144	15	174	18	114
2024-04-25	19	144	12	169	26	118
2024-04-30	153	143	80	172	225	113
2024-05-02	146	132	99	148	193	116
2024-05-07	69	150	34	180	104	120
2024-05-08	61	144	50	174	72	114
2024-05-09	39	148	40	178	38	119
2024-05-14	152	146	110	178	194	114
2024-05-16	134	144	82	173	186	115
2024-05-23	126	147	90	172	162	121
2024-05-30	115	145	98	166	132	123
2024-06-04	104	143	106	172	101	114
2024-06-05	112	144	88	168	136	121
2024-06-06	151	133	112	158	190	108
2024-06-13	136	140	112	163	160	118

1A lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7
2024-06-17	95	138	72	158	118	118
2024-06-18	154	141	96	161	212	122
2024-06-19	57	139	54	158	60	120
2024-06-25	142	130	88	137	196	124
2024-06-27	110	126	108	130	112	123
2024-07-03	130	122	80	132	180	112
2024-07-04	46	125	26	126	66	123
2024-07-09	98	128	48	135	148	121
2024-07-10	83	125	26	131	140	120
2024-07-11	93	123	54	122	132	123
2024-07-16	110	127	72	129	148	125
2024-07-17	190	126	128	128	252	124
2024-07-23	98	122	72	124	124	120
2024-07-24	27	123	8	126	46	119
2024-07-25	34	121	20	122	48	119
2024-07-30	66	129	18	138	114	120
2024-08-01	131	118	82	117	180	120
2024-08-06	140	124	84	125	196	124
2024-08-07	141	122	85	127	197	116
2024-08-08	143	120	86	119	200	121
2024-08-13	141	128	94	131	187	125
2024-08-14	134	121	100	118	168	123
2024-08-20	108	126	104	137	112	115
2024-08-21	88	124	72	133	104	115
2024-08-22	72	124	36	124	108	124
2024-08-27	101	128	56	141	145	116
2024-09-19	122	140	105	163	138	117
2024-09-24	122	141	111	168	132	115
2024-09-25	96	143	90	166	102	120

1A lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
2024-09-26	88	142	60	165	116	119
2023-09-26	124	143	75	163	173	123
2023-09-27	135	146	93	165	177	127
2023-09-28	111	144	76	166	145	123
2024-09-04	179	147	168	173	190	120
2024-09-05	130	141	100	165	159	117
2024-09-11	160	146	119	171	200	122
2024-09-12	70	140	94	165	46	115
2024-09-17	153	145	113	168	192	122
2024-09-18	126	144	92	165	159	124

2A lentelė. Esami (E_{Yx}) ir prognozuojami (P_{Yx}) dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką, Konstitucijos pr.

Table 2A. Current (E_{Yx}) and predicted (P_{Yx}) bicycle traffic flows, according to the sketch plan method, Konstitucijos Ave.

Data	E_{Y1}	P_{Y1}	E_{Y2}	P_{Y2}	E_{Y3}	P_{Y3}
1	2	3	4	5	6	7
2024-05-02	41	83	25	83	57	84
2024-05-07	30	78	17	81	43	75
2024-05-08	32	80	16	83	48	78
2024-05-09	26	84	24	92	28	77
2024-05-14	52	78	32	83	72	74
2024-05-15	61	78	42	80	80	76
2024-05-22	53	79	36	84	70	73
2024-06-04	52	76	38	79	66	74
2024-06-05	44	83	18	84	70	82
2024-06-06	54	84	36	84	72	85
2024-06-11	51	86	36	88	66	84
2024-06-12	55	82	38	86	72	78
2024-06-13	46	82	40	80	52	84

2A lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7
2024-06-17	61	85	50	80	72	89
2024-06-18	61	66	52	87	70	45
2024-06-19	32	86	26	81	38	90
2024-06-25	53	78	54	75	52	81
2024-06-26	48	80	38	74	58	85
2024-06-27	45	80	36	69	53	90
2024-07-02	54	63	36	71	72	55
2024-07-03	49	62	38	66	60	57
2024-07-04	25	63	16	67	34	59
2024-07-09	32	65	24	73	40	56
2024-07-10	17	73	14	73	20	73
2024-07-11	30	63	20	67	40	59
2024-07-16	30	68	20	72	40	64
2024-07-18	41	64	24	64	58	64
2024-07-24	16	61	16	59	16	64
2024-07-25	22	66	20	57	24	75
2024-07-30	33	64	20	64	46	65
2024-08-01	41	61	34	66	48	56
2024-08-06	32	62	24	65	40	59
2024-08-07	36	69	18	68	53	71
2024-08-08	36	70	12	70	60	69
2024-08-13	32	64	17	68	47	61
2024-08-14	20	58	12	61	28	54
2024-08-20	26	62	20	63	32	61
2024-08-21	26	59	17	63	35	55
2024-08-22	26	60	12	64	40	57
2024-08-27	35	66	21	82	48	51
2024-08-28	40	57	24	63	56	51
2024-08-29	38	58	27	63	49	52

2A lentelės pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
2024-09-12	25	57	29	75	21	39
2024-09-17	33	69	31	82	34	55
2024-09-18	40	64	34	75	45	52
2024-09-19	36	77	33	80	38	74
2024-09-25	32	63	18	69	46	56
2024-09-26	31	70	17	76	45	64

3A lentelė. Esami (E_{Yx}) ir prognozuojami (P_{Yx}) dviračių eismo srautai pagal eskizinio planavimo metodiką, S. Stanevičiaus g.

Table 3A. Current (E_{Yx}) and predicted (P_{Yx}) bicycle traffic flows, according to the sketch plan method, S. Stanevičiaus St.

Data	E_{Y1}	P_{Y1}	E_{Y2}	P_{Y2}	E_{Y3}	P_{Y3}
1	2	3	4	5	6	7
2024-04-02	20	17	9	21	31	13
2024-04-03	4	18	1	22	7	14
2024-04-04	4	17	1	21	6	13
2024-04-16	6	21	6	26	6	16
2024-04-17	18	18	10	21	25	14
2024-04-18	16	21	9	27	22	16
2024-04-23	7	19	7	22	6	16
2024-04-24	5	21	4	26	5	16
2024-04-25	3	18	3	19	2	16
2024-04-10	36	20	13	24	59	15
2024-05-02	29	20	10	23	48	16
2024-05-07	11	19	5	23	16	16
2024-05-08	21	22	12	28	29	16
2024-05-09	9	20	6	26	11	15
2024-05-14	14	19	8	24	20	15
2024-05-15	19	21	9	27	29	16
2024-05-16	19	21	8	26	30	15

3A lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6	7
2024-05-21	10	21	11	26	8	16
2024-05-23	25	18	14	21	36	16
2024-05-28	22	21	10	27	34	15
2024-05-30	16	18	10	24	22	12
2024-06-04	13	20	8	24	18	16
2024-06-05	20	20	8	24	32	15
2024-06-06	19	20	8	23	30	16
2024-06-12	26	20	10	25	42	15
2024-06-13	29	20	6	24	52	16
2024-06-17	31	20	6	24	56	15
2024-06-19	18	20	12	26	24	14
2024-06-25	25	17	8	21	42	14
2024-06-26	28	18	12	22	44	14
2024-06-27	10	18	10	23	10	13
2024-07-02	29	19	8	23	50	15
2024-07-03	23	18	10	22	35	14
2024-07-04	18	17	4	21	32	13
2024-07-09	24	16	12	20	36	12
2024-07-10	7	16	8	19	6	12
2024-07-11	4	15	1	18	8	12
2024-07-16	18	16	12	19	24	14
2024-07-18	10	15	4	18	16	13
2024-07-23	16	16	4	19	28	13
2024-07-24	3	17	2	20	4	14
2024-07-25	16	15	16	18	16	13
2024-07-31	28	18	12	20	44	16
2024-09-03	10	18	8	21	12	15
2024-09-04	17	20	2	24	31	16
2024-09-05	26	20	8	23	43	16

3A lentelēs pabaiga

1	2	3	4	5	6	7
2024-09-10	17	18	8	21	25	15
2024-09-11	13	19	8	23	18	16
2024-09-12	9	17	8	18	9	15
2024-09-17	9	18	8	21	9	15
2024-09-18	17	20	8	24	25	15
2024-09-19	7	19	8	22	6	16
2024-09-24	8	16	8	17	7	15
2024-09-25	13	18	3	20	22	15
2024-09-26	14	17	2	18	25	16

B priedas. T. Narbuto g., Konstitucijos pr., S. Stanevičiaus g. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių koeficientai

1B lentelė. T. Narbuto g. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių koeficientai (sudaryta autorės)

Table 1B. T. Narbuto St. multinomial linear regression analysis model coefficients (compiled by the author)

Kintamieji		Nestandardizuoti koeficientai		Stand- artizuoti koefi- cientai	<i>t</i>	<i>p</i>	Multikolinearumo statistika	
		Beta	Std. nuokrypis				Beta	Reikšmė
Y1	Konst.	84,686	25,379		3,337	0,002		
	X1	-0,042	0,495	-0,005	-0,085	0,933	0,655	1,527
	X2	0,568	0,056	0,778	10,143	**	0,428	2,334
	X3	-0,028	0,010	-0,203	-2,909	**	0,516	1,936
	X4	1,013	0,216	0,289	4,694	**	0,663	1,508
	X7	-11,525	6,921	-0,103	-1,665	0,101	0,660	1,515
	X8	-0,669	0,602	-0,084	-1,110	0,272	0,438	2,282
Y2	Konst.	23,508	12,178		1,930	0,059		
	X2	0,567	0,026	0,964	22,070	**	0,484	2,068
	X3	-0,009	0,005	-0,081	-1,931	0,058	0,521	1,919
	X4	0,352	0,102	0,125	3,461	**	0,708	1,411
	X7	-1,714	3,371	-0,019	-0,508	0,613	0,661	1,513
	X8	-0,557	0,293	-0,087	-1,897	0,063	0,438	2,281
Y3	Konst.	10,527	15,333		0,687	0,495		
	X3	-0,007	0,006	-0,036	-1,228	0,224	0,731	1,368
	X4	0,287	0,154	0,061	1,864	0,068	0,592	1,691
	X5	0,738	0,029	0,965	25,787	**	0,455	2,197
	X7	1,816	4,793	0,012	0,379	0,706	0,626	1,598
	X8	-0,449	0,353	-0,042	-1,274	0,208	0,581	1,722

** – $p < ,001$.

2B lentelė. Konstitucijos pr. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių vertinimo kriterijai (sudaryta autoriaus)

Table 2B. Konstitucijos Ave. multinomial linear regression analysis model evaluation criteria (compiled by the author)

Kintamieji		Nestandardizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	<i>t</i>	<i>p</i>	Multikolinearumo statistika	
		Beta	Std. nuokrypis	Beta			Reišk-mė	Beta
Y1	Konst.	-3,764	2,808		-1,340	0,188		
	X1	-0,325	0,124	-0,083	-2,627	*	0,781	1,280
	X2	0,309	0,035	0,392	8,776	**	0,395	2,532
	X3	0,003	0,003	0,033	0,975	0,335	0,670	1,493
	X4	0,118	0,117	0,036	1,008	0,319	0,634	1,578
	X5	0,366	0,024	0,648	15,510	**	0,451	2,219
	X7	-0,462	1,042	-0,015	-0,444	0,660	0,716	1,396
Y2	Konst.	6,346	7,231		0,878	0,385		
	X2	0,709	0,044	0,988	16,147	**	0,625	1,600
	X3	-0,005	0,005	-0,064	-0,976	0,334	0,536	1,864
	X9	-0,201	0,149	-0,079	-1,350	0,184	0,689	1,452
Y3	Konst.	-6,483	4,832		-1,342	0,187		
	X1	-0,558	0,209	-0,107	-2,665	*	0,811	1,234
	X2	-0,055	0,058	-0,052	-0,951	0,347	0,433	2,311
	X3	0,007	0,005	0,068	1,553	0,128	0,690	1,449
	X5	0,740	0,041	0,983	18,217	**	0,451	2,215
	X7	-1,297	1,751	-0,031	-0,741	0,463	0,752	1,330

**– $p < ,001$, *– $p < ,01$

3B lentelė. S. Stanevičiaus g. daugianarės tiesinės regresinės analizės modelių vertinimo kriterijai (sudaryta autoriaus)

Table 3B. S. Stanevičiaus St. multinomial linear regression analysis model evaluation criteria (compiled by the author)

Kintamieji		Nestandartizuoti koeficientai		Standartizuoti koeficientai	t	p	Multikolinearumo statistika	
		Beta	Std. nuokrypis	Beta			Reikšmė	VIF
Y1	Konst.	-1,874	0,816		-2,296	0,026		
	X2	0,298	0,043	0,189	6,930	**	0,833	1,201
	X5	0,383	0,012	0,882	31,154	**	0,773	1,293
	X7	1,231	0,544	0,064	2,262	0,028	0,764	1,309
	X9	0,103	0,034	0,086	2,996	*	0,747	1,340
Y2	Konst.	-0,609	1,827		-0,333	0,740		
	X1	0,088	0,089	0,048	0,989	0,327	0,815	1,226
	X2	0,691	0,037	0,926	18,775	**	0,805	1,242
	X3	0,001	0,002	0,010	0,177	0,861	0,628	1,593
	X5	0,007	0,011	0,035	0,648	0,520	0,660	1,516
	X7	0,403	0,459	0,045	0,877	0,385	0,759	1,317
	X9	0,004	0,032	0,007	0,132	0,895	0,620	1,614
Y3	Konst.	-12,389	5,814		-2,131	0,038		
	X1	0,153	0,192	0,022	0,798	0,428	0,828	1,208
	X3	-0,003	0,005	-0,018	-0,535	0,595	0,588	1,702
	X5	0,749	0,024	0,967	31,751	**	0,706	1,416
	X6	0,021	0,010	0,059	1,978	0,053	0,743	1,345
	X7	2,515	1,032	0,074	2,437	0,018	0,713	1,403
	X9	0,219	0,071	0,103	3,098	*	0,594	1,682

** - $p < ,001$, * - $p < ,01$

C priedas. Dviračių eismo srautų prognozavimas pagal suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikas

Disertacijoje atlikus skirtingų dviračių prognozavimo metodikų tikslumo vertinimą rekomenduojama suvestinės elgsenos studijų metodiką taikyti tada, kai prognozuojami dviračių eismo srautai turi būti labai tikslūs ir yra pakankamai pradinių duomenų modeliui sudaryti. Eskizinio planavimo metodiką rekomenduojama taikyti tuomet, kai prognozuojami dviračių eismo srautai gali turėti vidutinę paklaidą ir nėra pakankami duomenų prognozėms sudaryti pagal suvestinės elgsenos metodiką. Įvertinus prognozuojamus dviračių eismo srautus pagal pasirinktą metodiką, priklausomai nuo planuojamo įrengti dviračių infrastruktūros sprendinio, prognozuojami dviračių eismo srautai gali būti tikslinami naudojant tyrime nustatytus koregavimo koeficientus.

Šiame priede pateiktos rekomendacijos dėl dviračių eismo srautų prognozavimo metodikos pasirinkimo ir gautų rezultatų tikslinimo.

Dviračių eismo srautų prognozavimas vykdomas keliais etapais:

1. Metodikos pasirinkimas

Dviračių eismo srautų prognozavimo metodika turi būti pasirenkama pagal jos charakteristikas ir siekiamus rezultatus. 1C lentelėje pateikti suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimų metodikų charakteristikos. 2C lentelėje nurodyti pradiniai duomenys, reikalingi dviračių eismo srautams prognozuoti taikant suvestinės elgsenos metodiką.

1C lentelė. Suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimų metodikų charakteristikos (sudaryta autorės).

Table 1C. Summary characteristics of aggregate behaviour model and sketch plan method (compiled by the author).

Savybė	Suvestinės elgsenos metodikas	Eskizinio planavimo metodika
1	2	3
Tikslumas pagal MAPE, %	0,07–4,25	26,85–397,11
Tikslumas pagal MAE, dv./h	0,90–12,71	7,00–78,00
Duomenų poreikis	Mikromobilumo priemonių eismo srautai* Motorinių transporto priemonių eismo srautai* Duomenys iš „Strava“ platformos apie dviračių eismo srautus* Duomenis apie kritulius*	Miesto modalinio pasidalijimo duomenys Motorinių transporto priemonių eismo srautai

1C lentelės pabaiga

1	2	3
	Duomenys apie oro temperatūrą *	
Techninis sudėtingumas	Statistinės analizės žinios	Bazinės matematikos žinios
Taikymo mastas	Miestui, rajonui, gatvei.	Gatvei
Tinkamas naudoti	Metodika pagrįsta statistine analize, todėl tinkama investiciniams projektams, teritorijų planavimui, techninių parametrų parinkimui.	Metodika tinkama dviračių infrastruktūros tipui ar techniniams parametrų parinkti

* – bendruoju atveju. Detalus kintamųjų poreikiai parenkami pagal miesto funkcines zonas.

2C lentelė. Pradiniai duomenys, reikalingi dviračių eismo srautams prognozuoti, taikant suvestinės elgsenos metodiką, pagal miesto funkcines zonas (sudaryta autorės)

Table 2C. Initial data are required for predicting bicycle traffic flows using the aggregated behaviour model, according to the functional zones of the city (compiled by the author)

Miesto funkcinė zona	Statistiškai reikšmingi kintamieji	Statistiškai nereikšmingi kintamieji
1	2	3
Miesto centrinė dalis	rytinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X2)	rytinio piko motorinių transporto priemonių eismo srautas (X3)
	rytinio piko „Strava“ dviračių eismo srautai (X1)	vakarinio piko „Strava“ dviračių eismo srautas (X4)
	vakarinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X5)	krituliai (X7) maksimali oro temperatūra (X9)
Miesto vidurinė dalis, kai dviračių susisiekimo infrastruktūra jungiasi į bendrą tinklą	rytinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X2)	rytinio piko „Strava“ dviračių eismo srautai (X1)
	rytinio piko motorinių transporto priemonių eismo srautas (X3)	krituliai (X7)

2C lentelės pabaiga

1	2	3
	vakarinio piko „Strava“ dviračių eismo srautas (X4)	minimali oro temperatūra (X8)
	vakarinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X5)	
Miesto vidurinė dalis, kai dviračių susisiekimo infrastruktūra nesijungia į bendrą tinklą	rytinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X2)	rytinio piko „Strava“ dviračių eismo srautai (X1)
	vakarinio piko bendras mikromobilumo priemonių eismo srautas (X5)	rytinio piko motorinių transporto priemonių eismo srautas (X3)
	krituliai (X7)	vakarinio piko motorinių transporto priemonių eismo srautas (X3)
	maksimali oro temperatūra (X9)	

2. Pradinių duomenų rinkimas

Pasirinktus dviračių eismo srautų prognozavimo metodiką turi būti surinkti pradiniai duomenys, naudojami prognozėms atlikti. Suvestinės elgsenos ir eskizinio planavimo metodikoms taikomi tie patys duomenų rinkimo reikalavimai (3C lentelė).

3C lentelė. Duomenų rinkimo reikalavimai (sudaryta autorės)**Table 3C.** Data collection requirements (compiled by the author)

Laikotarpis	Apibūdinimas	
Mėnesiai	Miesto centrinė dalis	Gegužė – rugsėjis
	Miesto vidurinė dalis, kai dviračių susisiekimo infrastruktūra jungiasi į bendrą tinklą	Balandis – rugsėjis
	Miesto vidurinė dalis, kai dviračių susisiekimo infrastruktūra nesijungia į bendrą tinklą	Balandis – spalį
Savaitės dienos	Antradienis, trečiadienis, ketvirtadienis	
Valandos	Rytinis pikas, vakarinis pikas*	

* – tyrimo vietos piko valanda gali skirtis nuo įprastų piko valandų, todėl kiekvienu atveju turi būti nustatyta vertinant ilgesnius laiko periodus.

3. Pradinių duomenų tvarkymas

Surinkti duomenys turi būti sutvarkyti, kad būtų galima naudoti prognozavimo modeliuose. Duomenų tvarkymo aprašymas, atliekant dviračių eismo srautų prognozavimą pagal suvestinės elgsenos metodiką, pateiktas disertacijos 2.4.2 poskyryje. Prognozuojant dviračių eismo srautus pagal eskizinio planavimo metodiką, iš pradinių duomenų turi būti pašalintos išskirtys – eismo srautai šventinėmis dienomis.

4. Dviračių eismo srautų prognozavimas

Naudojantis sutvarkytais pradiniais duomenimis atliekamas dviračių eismo srautų prognozavimas pagal pasirinktą metodiką.

5. Prognozuojamo dviračių eismo srauto tikslinimas pagal projektuojamos infrastruktūros sprendinį

Nustatytas prognozinis dviračių eismo srautas gali būti patikslintas, naudojant koregavimo koeficientus, pagal projektuojamos infrastruktūros sprendinį. Patikslintas dviračių eismo srautas apskaičiuojamas pagal (1C) formulę:

$$Fl_p = Fl_b \cdot K_i, \quad (1C)$$

čia Fl_b – bazinis prognozuojamas dviračių eismo srautas, K_i – santykinis koeficientas pagal dviračių infrastruktūros sprendinį.

Koregavimo koeficientas parenkamas iš 4C lentelės.

4C lentelė. Dviračių infrastruktūros sprendinių santykiniai koeficientai

Table 4C. Relative coefficients of bicycle infrastructure solutions

Sutartinis žymėjimas	Infrastruktūros tipas	Santykiniai koeficientas
C1	Dviračių gatvė, vizualiai išsiskirianti iš įprastoms eismo sąlygoms skirtų gatvių	0,22
C2	Dviračių gatvė su rekomendacinėmis juostomis	0,14
B3	Dviračių juosta (2,0 m pločio) atskirta ištisine linija	0,46
B2	Dviračių juosta (3,5 m pločio) atskirta ištisine linija	0,78
B1	Dviračių juosta su fiziniiais atskyrimais	1,2
A3	Dviračių takas viename lygyje su pėsčiųjų taku	1
A2	Dviračių takas nuo pėsčiųjų tako atskirtas per bortelį	1,14
A1	Dviračių takas fiziškai (veja) atskirtas nuo pėsčiųjų tako	1,36

Miglė ZABIELAITĖ-SKIRMANTĖ

MIESTO DVIRAČIŲ EISMO SRAUTŲ MODELIAVIMAS
ATSIŽVELGIANT Į SUSISIEKIMO INFRASTRUKTŪROS
SAUGUMĄ

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Statybos inžinerija (T 002)

MODELLING URBAN BICYCLE TRAFFIC FLOWS
WITH CONSIDERATION OF TRANSPORT
INFRASTRUCTURE SAFETY

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Civil Engineering (T 002)

Anglų kalbos redaktorė Jūratė Griškėnaitė

Lietuvių kalbos redaktorė Dalia Markevičiūtė

2026 03 20. 13,5 sp. l. Tiražas 20 egz.
Leidinio el. versija <https://doi.org/10.20334/2026-007-M>
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
Spausdino UAB „Ciklonas“,
Žirmūnų g. 68, 09124 Vilnius