



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Martynas Kažukauskas

**KELIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ SUKELIAMOS TARŠOS MIESTE
SKAIČIAVIMO IR VERTINIMO METODIKOS TOBULINIMAS
IMPROVEMENT OF CALCULATING AND EVALUATION METHODOLOGY
OF POLLUTION CAUSED BY ROAD VEHICLE**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621E20003

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2016

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Transporto inžinerijos fakultetas
Automobilių transporto katedra

ISBN _____ ISSN _____
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Transporto inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas

Pavadinimas **Kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste skaičiavimo ir vertinimo metodikos tobulinimas**

Autorius **Martynas Kazukauskas**

Vadovas **Jonas Matijošius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Šio baigiamojo magistro darbo tikslas yra patobulinti kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste skaičiavimo ir vertinimo metodiką. Šiam tikslui pasiekti buvo apžvelgti mokslininkų darbai su miesto tarša susijusiomis temomis. Darbe pristatomas eismo oro kokybės indeksas – rodiklis parodantis oro taršą gatvės teritorijoje. Taip pat aprašomos transporto priemonių skaičiaus kitimo Lietuvoje tendencijos. Pristatomi pagrindiniai metodai kelių transporto priemonių sukeltai taršai skaičiuoti. Apžvelgiamos teorinės priemonės ekonominiams sukeltos taršos vertinimui. Metodikai patobulinti atliekamas taršos tyrimas dviejose Vilniaus miesto sankryžose. Tam tyrimui atlikti suformuojama tyrimų metodika. Visų pirma parengiamas taršos skaičiavimo modelis, vėliau aprašomos modelio taikymo sąlygos. Pristatoma šiuo metu taikoma metodika, kuri ir tampa pirminiu tyrimo objektu. Metodikos tobulinimas vykdomas atliekant uždavinio sąlygų optimizaciją. T. y. sukuriamas optimistinis eismo srauto sudėties modelis Vilniaus mieste. Minėtose sankryžose vykdomas taršos skaičiavimas iki optimizacijos ir po jos. Tiriamas koreliacinis ryšys tarp eismo srauto intensyvumo ir taršos miesto gatvėse. Atlikus pirminio ir antrinio taršos skaičiavimo analizę, pasiūlomos priemonės metodikai patobulinti. Baigiamajame magistro darbe taip pat pabrėžiami transporto politikos iššūkiai Lietuvoje ir pasaulyje. Atlikus tyrimą ir rezultatų analizę pateikiamos išvados ir pasiūlymai. Darbo apimtis – 81 p. teksto be priedų, 39 iliustracijos, 21 lentelė, 22 literatūros šaltiniai ir 6 priedai.

Prasminiai žodžiai: koreliacija, tarša, intensyvumas, indeksas, režimas, emisija.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Transport Engineering
Department of Automobile Transport

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Transport Engineering** study programme Master Graduation Thesis

Title **Improvement of calculating and evaluation methodology of pollution caused by road vehicle**

Author **Martynas Kažukauskas**

Academic supervisor **Jonas Matijošius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The master thesis is to improve road transport pollution in the calculation and assessment methodology. To achieve this objective was to review the work of scientists with the city's pollution-related topics. The work is presented based air quality index - an indicator showing the air pollution in the territory of the street. It also describes the trend of change in the number of vehicles Lithuania . Presentation of the main methods of road transport pollution generated by counting. It reviews the theoretical tools for economic evaluation of pollution. To improve methodology the monitoring of atmospheric research in two Vilnius city intersections. This investigation is formed research methodology. In particular drawn emission calculation model, then the model describes the conditions for the application. The presentation is currently applied methods, which will become the primary investigation. Methodological improvements carried out in terms of optimization task. It creates optimistic traffic flow composition model in Vilnius. In these intersections of emissions calculation to optimization and beyond. Studied correlation between the intensity of the flow of traffic and pollution in the city streets. The primary and secondary emission calculation analysis, propose measures to improve the method. The master thesis also highlights the challenges facing transport policy in Lithuania and the world. The investigation and analysis of the results with conclusions and recommendations. Work size - 81 p. text without appendixes, 39 pictures, 21 table, 22 references and 6 accessories.

Keywords: correlation, pollution, intensity, index, mode, emission.

Turinys

Paveikslų sąrašas	9
Lentelių sąrašas	11
Simbolių ir santrumpų aiškinamasis žodynas	12
Įvadas	14
1. Literatūros apžvalga	16
1.1 Eismo oro kokybės indeksas	16
1.2 Kelių transporto priemonių išmetamų teršalų kiekio priklausomybė nuo variklio darbo režimo	18
1.3 Transporto priemonių skaičius Lietuvoje.....	21
1.4 Modelių skirtų aplinkos taršai tirti apžvalga	24
1.5 Kietųjų dalelių filtras, kaip priemonė taršai miestuose sumažinti.....	26
1.6 Kelių transporto priemonių sukeliamos taršos skaičiavimo metodai	28
1.6.1 Vienos pakopos metodas	28
1.6.2 Dviejų pakopų metodas.....	28
1.6.3 Trijų pakopų metodas.....	29
1.7 Transporto sukeliamos taršos ekonominis vertinimas.....	30
1.8 Pirmojo skyriaus išvados.....	31
2. Tyrimų metodika	32
2.1 Tyrimų metodikos formulavimas	32
2.2 Taršos skaičiavimo modelio rengimas	32
2.3 Modelio taikymo sąlygų aprašymas	32
2.4 Kelių transporto priemonių sukeliamos taršos skaičiavimo metodika	35
2.5 Uždavinio sąlygų optimizavimas	39
2.6 Antrojo skyriaus išvados	42
3. Tyrimų rezultatai	42
3.1 Skaičiavimams naudojamų realių duomenų statistinis apdorojimas	42
3.1.1 Eismo intensyvumo nustatymas K255 sankryžoje	42
3.1.2 Eismo intensyvumo nustatymas K213 sankryžoje	46
3.2 Kelių transporto priemonių sukeliamos taršos mieste metodikos tobulinimas atsižvelgiant į Vilniaus miesto statistinius duomenis	49
3.3 K255 sankryžos taršos rezultatų statistinis apdorojimas	51
3.4 Antrinis skaičiavimas (optimistinio eismo srauto sudėties modelio sudarymas)	55
3.5 Kintamųjų priklausomybės skaičiavimas.....	57

3.6 Patobulintos metodikos vertinimas ekonominiu ir pritaikomumo požiūriu	59
3.6.1 Mobilių taršos šaltinių išmetimų ekonominis vertinimas	59
3.6.2 Hibridinės transporto priemonės ekonominis vertinimas	60
3.6.3 Techninės problemos patobulintos metodikos efektyvumui užtikrinti.....	63
3.6.4 Hibridinio automobilio ir jam identiško įprastinio automobilio teorinis palyginimas	65
3.6.5 Hibridinių transporto priemonių degalų ekonomijos privalumai	66
3.6.6 Hibridinio automobilio ir dyzeliniais degalais varomo automobilio degalų suvartojimo palyginimas realiomis sąlygomis.....	69
3.6.7 Hibridinio automobilio degalų suvartojimo efektyvumo didinimas.....	70
3.6.8 Energijos hibridiniame automobilyje valdymas pasitelkiant eismo stebėjimo sistemas	71
3.6.9 Transporto politikos reikšmė hibridinių automobilių populiarinimui	72
3.6.10 Automobilių gamintojų taikoma aplinkosauginė politika	74
3.6.11 Lengvatos ir draudimai kaip transporto politikos išraiška	75
3.6.12 Patobulintos kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo ir vertinimo metodikos SSGG analizė	76
3.7 Trečiojo skyriaus išvados.....	77
4. Išvados ir pasiūlymai.....	78
Literatūra	79
Priedai:	81

Paveikslų sąrašas

1.1	pav. Koefficiento Y_{wc} reikšmės (Bagiński, Z. 2015).....	17
1.2	pav. Deginių kiekio priklausomybė nuo degimo kameros ploto ir tūrio santykio (Mickūnaitis, 1984).	18
1.3	pav. Oro pertekliaus koeficiento λ kitimo priklausomybė nuo variklio apkrovos, kai $n = \text{const}$	19
1.4	pav. Naudotų transporto priemonių registravimai 2011–2014 m. duomenys (Sudaryta autoriaus).	22
1.5	pav. Naujų transporto priemonių registravimai 2011–2014 m. duomenys (Sudaryta autoriaus).	22
1.6	pav. Lietuvos automobilių parko struktūra (Sudaryta autoriaus).	23
1.7	pav. Transporto priemonių pasiskirstymas Lietuvos regionuose (Sudaryta autoriaus).	23
2.1	pav. Proceso srauto diagrama (Sudaryta autoriaus).	33
2.2	pav. Ukmergės–Geležinio Vilko gatvių sankryža.....	34
2.3	pav. Kareivių–Kalvarių gatvių sankryža	34
2.4	pav. Šviesoforo signalų darbo režimas (Ларедев, Р. Ю. 2011).....	38
2.5	pav. Hibridinių automobilių skaičius registruotas, Lietuvoje atitinkamu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	40
2.6	pav. Tradicinių automobilių skaičius registruotas, Lietuvoje atitinkamu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	40
2.7	pav. Hibridinių automobilių dalis visame Lietuvos transporto priemonių parke (Sudaryta autoriaus)	41
2.8	pav. Hibridinių automobilių registracijų prognozė (Sudaryta autoriaus).....	41
3.1	pav. Srautų K255 sankryžoje palyginimas (Sudaryta autoriaus).	43
3.2	pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K255 sankryžoje vasarą (Sudaryta autoriaus).	44
3.3	pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K255 sankryžoje rudenį (Sudaryta autoriaus).	45
3.4	pav. Srautų K213 sankryžoje palyginimas (Sudaryta autoriaus).	46
3.5	pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K213 sankryžoje vasarą (Sudaryta autoriaus).	47
3.6	pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K213 sankryžoje rudenį (Sudaryta autoriaus).	48
4.1	pav. K255 sankryžos tarša mažiausiai intensyviu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	49
4.2	pav. K255 sankryžos tarša intensyviausiu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	50
4.3	pav. K255 sankryžos taršos palyginimas (Sudaryta autoriaus).	50
4.4	pav. Koreliacijos regresinės priklausomybės (Sudaryta autoriaus).	53
4.5	pav. K213 sankryžos tarša mažiausiai intensyviu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	54
4.6	pav. K213 sankryžos tarša intensyviausiu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).	54
4.7	pav. K213 sankryžos taršos palyginimas (Sudaryta autoriaus).	55
4.8	pav. K255 sankryžos tarša intensyviausiu periodu, kada hibridinių automobilių dalis yra 20 % viso srauto sudėties (Sudaryta autoriaus).	56
4.9	pav. K213 sankryžos tarša intensyviausiu periodu, kada hibridinių automobilių dalis yra 20 % viso srauto sudėties (Sudaryta autoriaus).	56
4.10	pav. Koreliacijos regresinės priklausomybės (Sudaryta autoriaus).	58
4.11	pav. Patobulintos metodikos ekonominio vertinimo aspektai (sudaryta autoriaus).	59

4.12 pav.	Automobilių kaštų palyginimas, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).	62
4.13 pav.	Automobilių kaštų palyginimas, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).	63
5.1 pav.	Degalų suvartojimas važiuojant įprastiniu automobiliu skirtingomis eismo sąlygomis ir vairavimo režimais (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).	68
5.2 pav.	Degalų suvartojimas važiuojant hibridiniu automobiliu skirtingomis eismo sąlygomis ir vairavimo režimais (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).	68
5.3 pav.	Degalų suvartojimo palyginimas tarp hibridinio automobilio ir įprastinio automobilio esant vienodoms tyrimo ir aplinkos sąlygoms (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).	68
5.4 pav.	Hierarchinė kontrolės schema (Sudaryta autoriaus).	71
5.5 pav.	Automobilio gyvavimo ciklas („Toyota“ informacinis leidinys 2011).	74

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Oro kokybės kategorija priklausomai nuo TAQI indekso (Bagiński, Z. 2015).....	16
1.2 lentelė. Teršalų pavojingumo laipsniai (Bagiński, Z. 2015).	17
1.3 lentelė. Deginių sudėtis įvairiais variklio darbo režimais (Mickūnaitis, 1984).	20
1.4 lentelė. Įregistruotų transporto priemonių skaičius Lietuvoje 2015 metų (VĮ „Regitra“ duomenys).	21
2.1 lentelė. Skirtingų klasių automobilių išmetamų kenksmingų medžiagų <i>miknp</i> reikšmės (g/km) (Ларедев, P. Ю. 2011).	38
2.2 lentelė. Koeficiento <i>riv</i> , įvertinančio išmetamų kenksmingų medžiagų kitimą priklausomai nuo judėjimo greičio, reikšmės (Ларедев, P. Ю. 2011).	38
2.3 lentelė. Automobilių srauto, esančio sankryžos zonoje, konkrečių išmetamų kenksmingų medžiagų <i>mikel</i> kiekiai (g/min), (Ларедев, P. Ю. 2011).	39
3.1 lentelė. T.P. srauto padidėjimas rudenį (Sudaryta autoriaus).	42
3.2 lentelė. T.P. srauto padidėjimas rudenį (Sudaryta autoriaus).	46
4.1 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė (Jankevičienė, G. 2014).	51
4.2 lentelė. Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys (Sudaryta autoriaus).	52
4.3 lentelė. Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys (sudėtis 20 % hibridinės T.P.) (Sudaryta autoriaus).	57
4.4 lentelė. Hibridinio automobilio ir jam analogiško VDV turinčio automobilio įsigijimo bei išlaikymo kaštai (sudaryta autoriaus).	61
4.5 lentelė. VDV naudojimo kaštai, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).	62
4.6 lentelė. Hibridinio automobilio naudojimo kaštai, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).	62
4.7 lentelė. VDV naudojimo kaštai, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).	63
4.8 lentelė. Hibridinio automobilio naudojimo kaštai, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).	63
5.1 lentelė. Šiuo metu naudojami krovimo metodai hibridinėms transporto priemonėms įkrauti (Hu, X.; <i>et al.</i> 2016).	65
5.2 lentelė. Gamintojo deklaruojamų rodiklių lyginamoji analizė tarp įprastinio „Toyota Auris“ ir „Toyota Auris Hybrid“ (Sudaryta autoriaus).	67
5.3 lentelė. Tikimybinis transporto politikos strategijos pasirinkimas (Irani, A.; Chalak, A. 2015).	73
5.4 lentelė. Patobulintos metodikos SSGG analizė (sudaryta autoriaus).	76

Simbolių ir santrumpų aiškinamasis žodynas

Simboliai:

TAQI (angl. *Traffic air quality index*) – Eismo oro kokybės indeksas;

F_c – gatvės aplinkos indeksas;

λ – oro pertekliaus koeficientas;

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas;

EVV – tarša nuo vidutinio greičio kelio ruože;

K213 – Kalvarijų–Kareivių gatvių sankryža. Pagal eismo valdiklį, esantį sankryžoje.

K255 – Geležinio vilko–Ukmergės gatvių sankryža. Pagal eismo valdiklį, esantį sankryžoje.

CO – anglies monoksidas;

NO_x – azoto oksidai, perskaičiuojami į NO₂;

CH – angliavandeniliai;

KD – kietosios dalelės;

SO_x – sieros oksidai, perskaičiuojami į SO₂;

M kategorija – variklio varoma transporto priemonė, turinti ne mažiau kaip keturis ratus ir skirta keleiviams vežti;

M₁ klasė – lengvieji automobiliai, turintys ne daugiau kaip 8 sėdimas vietas keleiviams ir 1 sėdimą vietą vairuotojui;

M₂ klasė – mikroautobusai, turintys daugiau kaip 8 sėdimas vietas keleiviams ir 1 sėdimą vietą vairuotojui, kurių bendroji leistina maksimali masė ne didesnė kaip 5 t.;

M₃ klasė – autobusai, turintys daugiau kaip 8 sėdimas vietas keleiviams ir 1 sėdimą vietą vairuotojui, kurių bendroji leistina maksimali masė didesnė kaip 5 t.;

N kategorija – transporto priemonės, turinčios ne mažiau kaip keturis ratus ir skirtos kroviniams vežti;

N₁ klasė – transporto priemonė kroviniams vežti, kurios bendroji leidžiama maksimali masė ne didesnė kaip 3,5 t.;

N₂ klasė – transporto priemonė kroviniams vežti, kurios bendroji leidžiama maksimali masė didesnė kaip 3,5 t, tačiau ne didesnė kaip 12 t;

N₃ klasė – transporto priemonė kroviniams vežti, kurios bendroji leidžiama maksimali masė didesnė kaip 12 t;

Hibridiniai automobiliai – automobiliai naudojančys vidaus degimo variklį ir integruotą pakartotinai įkraunamą energijos saugojimo sistemą.

Santrumpos:

EPA (angl. *European Environment Agency*) – Europos aplinkos agentūra;

T.P. – transporto priemonė;

LASAT (angl. *Lagrangian Simulation of Aerosol – Transport*) – Lagranžo modeliavimas transporto, paremta eismo srautu;

MISKAM – 3 dimensijų nehidrostatinis srauto modelis;

CALPUFF – išplėstinė nepastovaus oro kokybės modeliavimo ir metrologinė sistema;

TSOP (angl. *Toyota Super Olefin*) – ekologiška plastmasė iš augalinės kilmės medžiagų.

CRT (angl. *Continuously Regeneration Trap*) – nenutrūkstamai regeneruojama gaudyklė.

Išvadas

Tiriamoji problema. Miesto transporto sukeliama tarša ir jos poveikis žmogaus organizmui yra viena iš didžiausių problemų ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Aplinkos tarša mieste yra didžiulė problema, nes tiesiogiai kenkia žmonių sveikatai. Dėl aplinkos taršos miestų gyventojai turi keisti savo gyvenimo įpročius. Taip pat dėl didėjančios aplinkos taršos miestuose nukenčia ir mūsų finansinė padėtis. Siekdami sumažinti aplinkos taršą, mokame taršos mokesčius, taip pat mokame už techninių, organizacinių, bei informacinių aplinkos taršos mieste mažinimo priemonių diegimą. Taigi efektyvus aplinkos taršos miestuose vertinimas yra būtinybė. Tik didindami transporto priemonių, naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius, paklausą ateityje galime siekti ambicingų Baltosios knygos tikslų įgyvendinimo.

Temos aktualumas. Daugiausia transporto priemonės gatves teršia kenksmingais vidaus degimo variklių deginiais bei triukšmu. Siekiant sumažinti šias taršas, reikalingos efektyvios kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo ir vertinimo metodikos. Konkrečiam miestui pritaikyta taršos skaičiavimo metodika leidžia parinkti optimalias priemones transporto politikos formavimui. Sumažinti taršą miestuose galime taikydami mokesčių ar lengvatų politiką, didindami atsinaujinančių išteklių paklausą bei diegdami eismo saugumo užtikrinimo priemones.

Praktinė reikšmė. Optimizavus šiuo metu taikomų metodikų operatorius tikimasi pritaikyti tyrimo rezultatus Vilniaus miesto regionų taršai skaičiuoti bei vertinti. Patobulintos metodikos leistų sumažinti taršą mieste, o tikslesnis taršos vertinimas pagelbėtų formuojant priemones, kuriomis bus siekiama sumažinti taršą miestuose. Viena iš Europos Sąjungos, taip pat ir Lietuvos transporto politikos kryptių yra judumo didinimas, neapribojant mobilumo bei aplinkos neteršiančių transporto priemonių tobulinimas ir populiarinimas. 2011 metų Baltojoje knygoje siūloma:

- Iki 2030 metų dvigubai sumažinti įprastiniais degalais varomų automobilių naudojimą miestuose.
- Iki 2050 metų miestuose įprastiniais degalais varomų automobilių turėtų nelikti.

Be tiesioginės naudos Vilniaus miestui, patobulintos metodikos, gali būti adaptuotos kitiems Lietuvos miestams ir tapti transporto politikos formavimo pavyzdžiu.

Darbo objektas. Kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste skaičiavimo metodika.

Tikslas. Patobulinti kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste skaičiavimo ir vertinimo metodikas.

Tiksliui pasiekti keliami šie **uždaviniai**:

- išanalizuoti šiuo metu taikomas kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste skaičiavimo ir vertinimo metodikas;
- atlikti tyrimų metodikos formulavimą;
- atlikti skaičiavimams naudojamų duomenų statistinį apdorojimą;
- atsižvelgus į Vilniaus miesto statistinius duomenis, atlikti taršos skaičiavimo metodikos tobulinimą;
- įvertinti patobulintą metodiką ekonominiu ir pritaikomumo požiūriu;
- suformuluoti išvadas bei pasiūlymus.

1. Literatūros apžvalga

1.1 Eismo oro kokybės indeksas

Transporto priemonių išmetamos dujos yra atsakingos už didžiąją dalį miesto oro taršos koncentracijos. Eismo oro kokybės indeksas siūlomas kaip naudingas įrankis vertinant oro kokybę šalia gatvių. Science of the Total Environment (2015) pateikiamas eismo oro kokybės indekso nustatymo būdas ir apibrėžiami kenksmingumo laipsniai.

$$TAQI = E_{tR} \cdot Y_{wc}; \quad (1.1)$$

čia: E_{tR} – linijinio eismo srauto suminiai deginių išmetimai ($\text{mgkm}^{-1}\text{s}^{-1}$);

Y_{wc} – koeficientas, priklausantis nuo gatvės aplinkos indekso.

Pateikiama 1.1 lentelė, kurioje nurodomos eismo oro kokybės indekso reikšmių vertės bei kategorijos žyminčios aplinkos taršą.

1.1 lentelė. Oro kokybės kategorija priklausomai nuo TAQI indekso (Bagiński, Z. 2015).

TAQI ($\text{mgkm}^{-1}\text{s}^{-1}$)	Oro kokybės kategorija
0–1000	1 – labai geras
1001–5000	2 – geras
5001–12000	3 – vidutinis
12001–20000	4 – kenkia sveikatai
> 20 000	5 – pavojingas

Išmetimai iš i-ojo šaltinio apibūdinami kaip suminiai išmetalai iš atitinkamų kategorijų automobilių (priklausomai nuo naudojamų degalų rūšies, variklio darbinio tūrio, pagaminimo metų ir t. t.). Dažniausiai šie išmetimai skaičiuojami programine įranga SATURN, o skaičiavimo ir matavimo metodika yra reglamentuota Europos aplinkos agentūros (Bagiński, Z. 2015). Išmetimai panaudojant programinę įrangą gali būti perskaičiuoti į tolimesniems skaičiavimams patogesnę operatorių E_{ti} .

$$E_{tR} = \sum(k_i \cdot E_{ti}); \quad (1.2)$$

čia: E_{ti} – deginių matavimo priemonėmis išmatuoti deginių išmetalai ($\text{mgkm}^{-1}\text{s}^{-1}$);

k_i – išmetamo teršalo kenksmingumo laipsnis lyginant su SO_2 (žr. 1.2 lentelę)

1.2 lentelė. Teršalų pavojingumo laipsniai (Bagiński, Z. 2015).

Teršalas	SO ₂	NO _x	CO	PM _{2,5}	C ₆ H ₆	NMVOC	CO ₂
k_i	1	5,6	0,13	9,1	44	4,4	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Gatvės aplinkos indeksas F_c yra santykis tarp šalia gatvės esančių pastatų aukščio metrais ir gatvės pločio. Priklausomai nuo indekso F_c reikšmės skiriami statmenai judančio oro tipai:

- atviro srauto tipas $F_c > 0,8$, kuris charakterizuoja oro srauto mainų gatvėje sumažėjimą;
- apriboto oro srauto tipas $F_c = 0,2 - 0,8$, čia oro srautas cirkuliuoja tik gatvės teritorijoje;
- uždaro oro srauto tipo $F_c < 0,2$, čia oro srautas visiškai uždarytas gatvės teritorijoje ir į aplinkinių zonų įtaką galima neatsižvelgti.

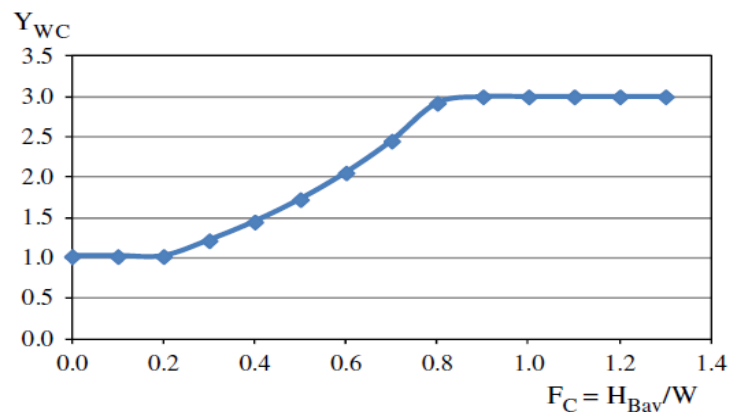
F_c – vertė turi lemiamą reikšmę oro difuzijos sąlygoms, taršai iš eismo šaltinių bei gretimų stacionarių taršos šaltinių (Bagiński, Z. 2006).

Remiantis Chang ir Meroney (2003) atliktais tyrimais buvo nustatytos Y_{wc} reikšmės visų tipų oro srautams gatvėse skaičiuoti (žr. 1.1 pav.):

- $F_c > 0,8$, $Y_{wc} = 3,0$ – atviras srautas;
- $0,20 < F_c < 0,8$ – apribotas srautas;

$$Y_{wc} = 0,72 \exp(1,75 F_c);$$

- $F_c < 0,2$, $Y_{wc} = 1,0$ – šiuo atveju eismo oro kokybės koeficientas nepriklauso nuo F_c reikšmės.

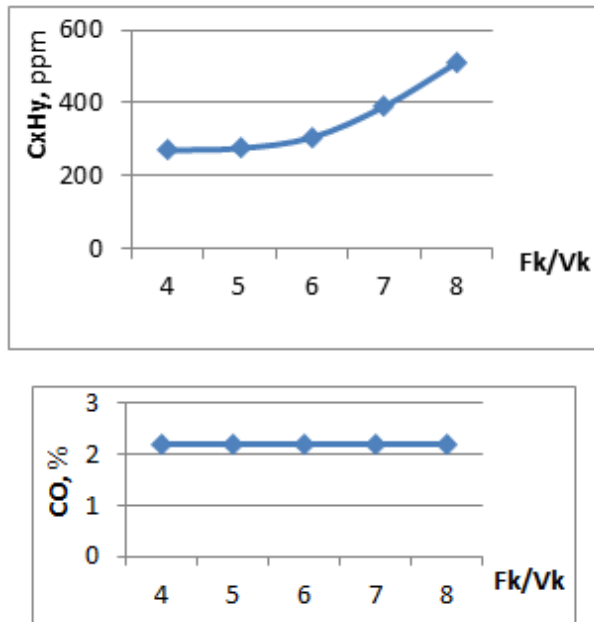


1.1 pav. Koeficiento Y_{wc} reikšmės (Bagiński, Z. 2015).

Kaip matome iš 1.1 pav. gatvės aplinkos indeksui pasiekus reikšmę 0,8 koeficiento Y_{wc} reikšmės tampa *const*.

1.2 Kelių transporto priemonių išmetamų teršalų kiekio priklausomybė nuo variklio darbo režimo

Į aplinką patenkančių teršalų kiekis priklauso nuo degalų rūšies, degalų sudėties, taip pat nuo vidaus degimo variklio eksploatacijos sąlygų bei konstrukcijos. Kalbant apie variklio konstrukcijos įtaką deginių išmetimams galima paminėti, kad didelę įtaką turi degimo kameros forma, jos paviršiaus ir tūrio santykis, taip pat stūmoklio eigos ir cilindro skersmens santykis, vožtuvų atsidarymo fazės. Daug didesnę įtaką deginių nuodingumui turi uždegimo ir maitinimo sistemos bei jų reguliavimo galimybės (Mickūnaitis, 1984). Angliavandenilių kiekis išmetamuose deginiuose yra proporcingas degimo kameros paviršiaus ploto ir tūrio santykiui F_k/V_k (žr. 1.2 pav.).



1.2 pav. Deginių kiekio priklausomybė nuo degimo kameros ploto ir tūrio santykio (Mickūnaitis, 1984).

Oro pertekliaus koeficiento įtaka nuodingų deginių išmetimui

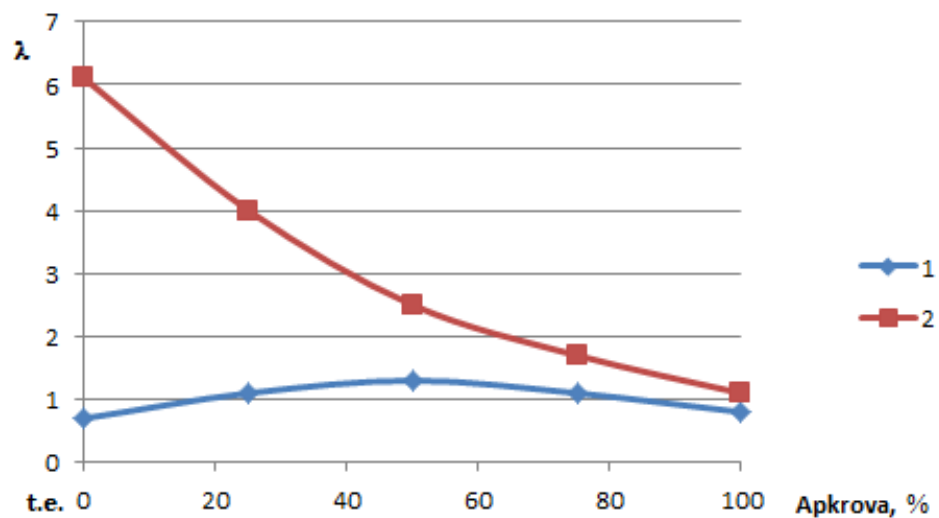
Oro pertekliaus koeficientas λ yra dydis, reiškiantis santykį tarp tikrojo oro kiekio, patekusio į variklio cilindrą – L , ir teoriškai reikalingo oro kiekio, reikalingo 1 kg degalų sudeginti – L_0 .

$$\lambda = \frac{L}{L_0} \quad (1.3)$$

Benzinu varomame variklyje anglies monoksido – CO gerokai padaugėja, tada oro pertekliaus koeficientas λ yra mažesnis už 0,7 ir sumažėja, kai $\lambda = 1,0$ ir daugiau. C_xH_y koncentracija, oro pertekliaus koeficientui didėjant nuo 0,7 iki 1,1 iš pradžių mažėja, vėliau staigiai didėja. Mažiausia koncentracija yra tada, kada $\lambda = 1,05 - 1,1$. Toliau liesėjant mišiniui, angliavandenilių deginiuose daugėja. Tai įvyksta dėl sulėtėjusio ir netolygaus degimo – dalis nesudegusių angliavandenilių išmetama į atmosferą. Azoto oksidų išmetimai didžiausi yra tuomet, kada benzininis ar dyzelinis variklis dirba optimaliausiu režimu, tačiau CO išmetimai minimalūs (Mickūnaitis, 1984).

Degiojo mišinio sudėčiai įtakos turi variklio apkrova ir greičio režimas. Oro pertekliaus koeficiento λ kitimo priklausomybė nuo variklio apkrovos pateikta 1.3 pav. Benzininio variklio stabiliam darbui tuščiąja eiga (t.e.) reikia pariebinto mišinio (1.3 pav. 1- oji kreivė). Šiuo atveju dėl deguonies trūkumo benzinas visiškai nesudega ir deginiuose padaugėja CO ir C_xH_y (Mickūnaitis, 1984).

Priklausomai nuo apkrovos dyzolinių variklių koeficientas λ smarkiai keičiasi nuo benzininių (1.3 pav. 2- oji kreivė). Dyzeliniai varikliai visada dirba su oro pertekliumi, todėl deginiuose CO sudaro nedidelę procentinę dalį.



1.3 pav. Oro pertekliaus koeficiento λ kitimo priklausomybė nuo variklio apkrovos, kai $n = \text{const}$.

1 – benzininio variklio; 2 – dyzelinio variklio (Mickūnaitis, 1984).

Maksimaliai apkrauti varikliai išskiria ne tik daug azoto oksidų, bet ir kietųjų dalelių. Dyzelinių variklių deginiuose jų yra apie 5 kartus daugiau negu benzininių. Kietosios dalelės susidaro dėl

netolygaus degalų pasiskirstymo tose degimo kameros zonose, kur mišinys pariebintas ($\lambda < 0,5$). Norint sumažinti deginių nuodingumą reikia sumažinti variklio apkrovą, kuri turėtų būti vidutinė, ir dirbti variklis turi vidutiniu eksploataciniu greičiu. Automobilių varikliai dirba dažniausiai nenusistovėjusiais režimais. Deginių sudėtis gerokai priklauso nuo variklio režimo (žr. 1.3 lentelę). Statistiniais duomenimis variklio darbo režimai miesto sąlygomis skirstomi taip:

- tuščioji eiga ir vidutiniai sūkiai – 35 %;
- vidutiniai pastovūs sūkiai su apkrova – 29 %;
- įsibėgėjimas – 22 %;
- lėtėjimas – 14 %.

1.3 lentelė. Deginių sudėtis įvairiais variklio darbo režimais (Mickūnaitis, 1984).

Komponentas	Variklio darbo režimas							
	tuščioji eiga ir vidutiniai sūkiai		vidutiniai pastovūs sūkiai su apkrova		įsibėgėjimas		lėtėjimas	
	B**	D***	B	D	B	D	B	D
Anglies oksidas CO %	7,0	0	2,5	0,1	1,8	0	2,0	0
Angliavandeniliai C_xH_y %	0,5	0,04	0,2	0,02	0,1	0,01	1,0	0,03
Azoto oksidai NO_x ppm*	30	60	1050	850	650	250	20	30
Aldehidai ppm	30	10	20	20	10	10	300	30

* 1 ppm = 10^{-6} %

** B – benzininis variklis

*** D – dyzelinis variklis

Automobilio mazgų šiluminis režimas priklauso nuo jų techninės būklės ir eksploatacinių rodiklių. Lyginamosios degalų sąnaudos mažiausios, kai variklio temperatūra yra 85 – 90 °C. Tarp lyginamųjų degalų sąnaudų ir deginių nuodingumo yra tiesioginė priklausomybė. Perkaitintas variklis dėl mažesnio oro pertekliaus koeficiento sunaudoja daugiau degalų, išmetamuose deginiuose padaugėja CO ir NO, bet sumažėja angliavandenilių (Mickūnaitis, 1984).

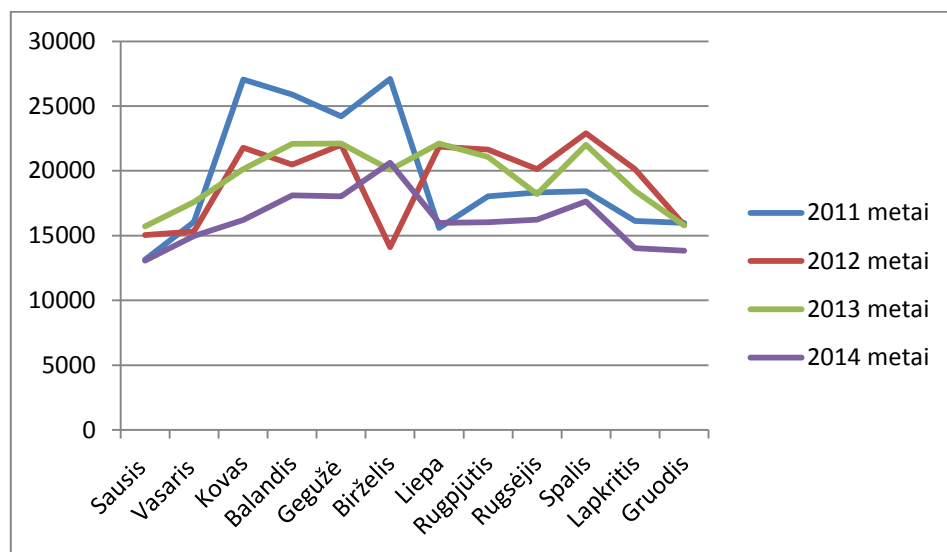
1.3 Transporto priemonių skaičius Lietuvoje

Aplinkos taršą lemia ne tik automobilių konstrukcija, bet ir jų kiekis, kitaip intensyvumas Lietuvos gatvėse. Paskutiniu metu, įsigaliojus visiems pakeitimams dėl transporto priemonių registracijos Lietuvoje, įmanoma stebėti realią situaciją šalies gatvėse. Iki pat 2014 metų vasaros Lietuvos statistikos departamentas ir VĮ „Regitra“ teigė, jog Lietuvoje registruota daugiau nei 2 mln. transporto priemonių, tačiau ženkliai jų dalis buvo neeksploatuojamos ar netgi sunaikintos. Šiuo metu atnaujinus transporto priemonių registrą pateikiami tokie VĮ „Regitra“ duomenys (žr. 1.4 lentelę). Pateikti duomenys rodo, kad įregistruotų transporto priemonių yra kiek mažiau nei 1,5 mln. ir galima daryti prielaidą, kad beveik visos jos yra eksploatuojamos.

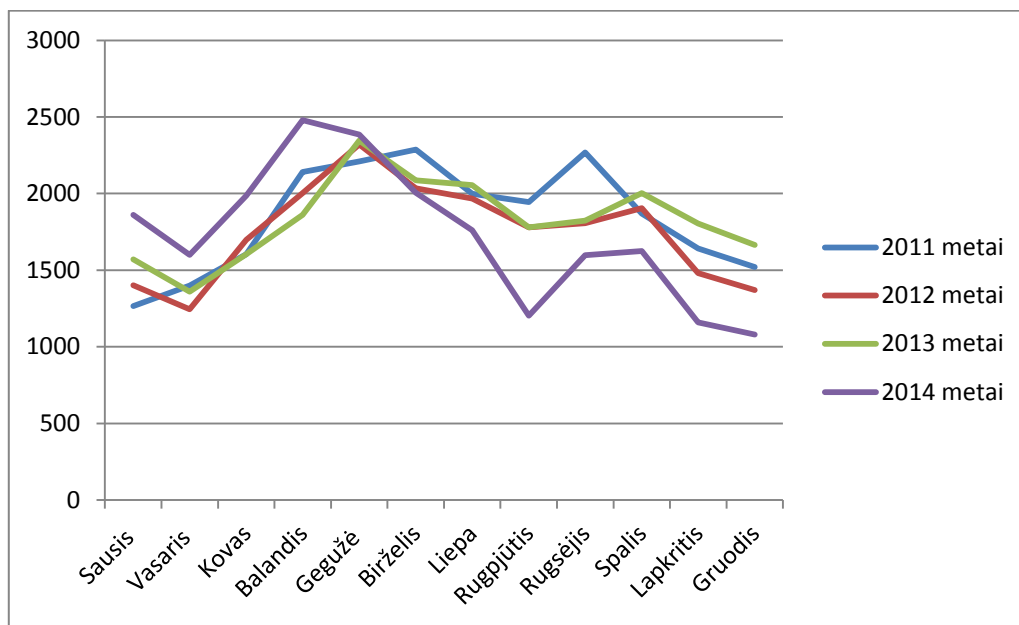
1.4 lentelė. Įregistruotų transporto priemonių skaičius Lietuvoje 2015 metų (VĮ „Regitra“ duomenys).

	Mopedai		Motociklai		Triračiai	Keturačiai			Lengvieji automobiliai	Autobusai		Krovininiai automobiliai			Priekabos				Iš viso
Klasė	L1 L1e	L2 L2e	L3 L3e	L4 L4e	L5 L5e	L6e	L7e	G	M1	M2	M3	N1	N2	N3	O1	O2	O3	O4	
Iš viso	9788	11	21504	1110	139	63	587	0	1189507	3215	4201	49353	13796	39986	80227	10664	525	31492	1456168

Nors įregistruotų transporto priemonių skaičius ir yra sumažėjęs, tačiau galima daryti prielaidą, jog automobilių keliuose tikrai nesumažės. Beto iš VĮ „Regitra“ pateikiamų duomenų galima pastebėti, kad naudotų transporto priemonių įregistruojama iki 10 kartų daugiau negu naujų. (žr. 1.4 pav. ir 1.5 pav.). Taip susiduriama su dar viena aplinkosaugos problema – automobilių parko senėjimu.

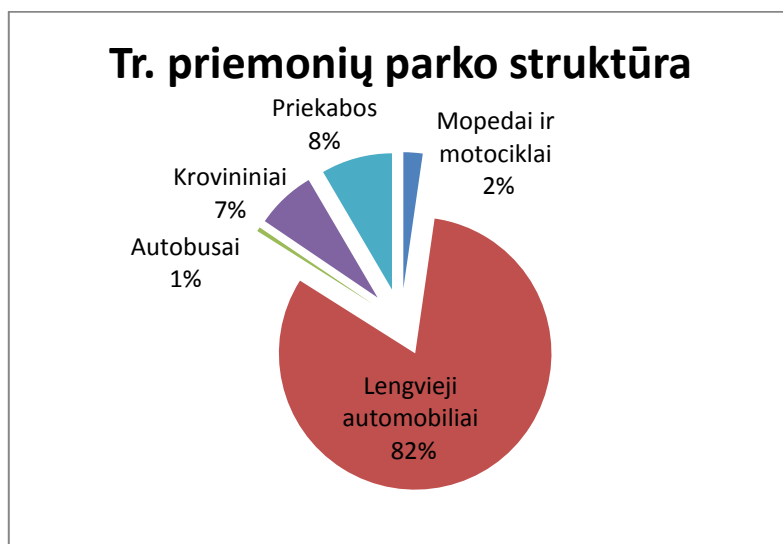


1.4 pav. Naudotų transporto priemonių registravimai 2011–2014 m. duomenys (Sudaryta autoriaus).



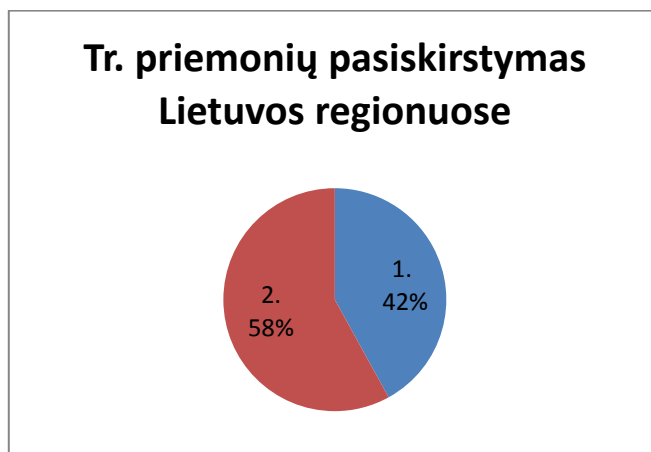
1.5 pav. Naujų transporto priemonių registravimai 2011–2014 m. duomenys (Sudaryta autoriaus).

Lietuvos automobilių parko struktūra pateikiama 1.6 pav. Pateikti duomenys atskleidžia, kad didžiąją parko dalį, t. y. 82 % sudaro lengvieji automobiliai. Šios transporto priemonės aplinką teršia mažiau nei krovininiai automobiliai ar autobusai, tačiau jų skaičius yra iki 10 kartų didesnis ir miestuose lengvieji automobiliai yra pagrindinis aplinkos teršėjas.



1.6 pav. Lietuvos automobilių parko struktūra (Sudaryta autoriaus).

Transporto priemonių pasiskirstymas šalies regionuose yra dar vienas statistinis rodiklis, kurį panaudojant galima stebėti miestų apkrovą transportu. Pateiktame paveiksle (žr. 1.7 pav.) 1 – reiškia transporto priemonių skaičių 5 didžiuosiuose Lietuvos miestuose. Miestuose registruotos transporto priemonės sudaro 42 % visų registruotų transporto priemonių, kai tuo tarpu likusiose Lietuvos teritorijose (paveiksle 2) registruota 58 % visų transporto priemonių.



1.7 pav. Transporto priemonių pasiskirstymas Lietuvos regionuose (Sudaryta autoriaus).

1 – transporto priemonių registruotų 5 didžiuosiuose miestuose; 2 – tr. priemonės registruotos likusiuose regionuose

Remiantis pateikiamais duomenimis apskaičiuojama, jog didžiųjų miestų eismo intensyvumas yra 777 aut./km², o likusiose teritorijose 13 aut./km². Tai parodo, kad didžiuosiuose miestuose eismo intensyvumas lyginant teritorijų plotą yra iki 60 kartų didesnis. Toks eismo intensyvumo vertinimas

tėra statistinio pobūdžio, nes skaičiavimams atlikti panaudoti tik transporto priemonių registracijos duomenys. Dėl šios priežasties praktiniais matavimais nustatyti eismo intensyvumo rodmenys gali būti skirtingi. Tačiau, net ir šis teorinis modelis pagrindžia teoriją, kad tarša miestuose yra daug didesnė nei likusiose šalies teritorijose.

1.4 Modelių skirtų aplinkos taršai tirti apžvalga

Keletas naudojamų modelių, skirtų aplinkos taršai tirti gali būti pritaikomi teršiančius automobilius priskiriant individualiems teršėjams. Mikroskopinės taršos modeliai, tokie kaip LASAT ir MISKAM) gali būti pritaikomi panaudojant tiesioginius duomenis. Šie modeliai gana tiksliai atvaizduoja aplinkos taršą, tačiau netinka dideliui duomenų srautui. Abu paminėti modeliai tinka nedidelėms miesto teritorijoms tirti, kuomet transporto išmetimai yra statiški (Hulsmann, F.; *et al.* 2014). 2010 metais mokslininkų tandemas Hatzopoulou ir Miller pritaikė miesto regionų taršos modelį CALPUFF daugiatakslei simuliaciniam aplinkai. CALPUFF modelis yra panaudojamas, kaip įvesties duomenų šaltinis MATSIM modeliui.

Kuomet modeliuojama gatvės teritorijos tarša dažniausiai pasitelkiami pusiau parametriniai vietinės taršos simuliacijos modeliai. Pavyzdžiui CPBM (Canyon plume box model) ir OSPM (Operational street pollution model). Šiais modeliais tiriant aplinkos taršą sugaištama mažiau laiko, beto beveik nėra neapibrėžtumų, kurie trukdo gauti tikslius rezultatus. Įvesties duomenų tikslumas ir prieinamumas yra tiesiogiai proporcingas tyrimo tikslams, bei siekiamiems rezultatams, taip pat nulemia modelio pasirinkimą.

Vokiečių mokslininkas Hulsmann 2014, dirbantis aplinkos apsaugos srityje, siūlo inovatyvų sprendimą automobilių taršos modeliavime ir pateikia optimizuotą modelį. Šį sprendimą sudaro daugiatakslės simuliacinės aplinkos MATSIM ir makroskopinių metodų, skirtų aplinkos taršai gatvėje tirti, apjungimas. Tai leidžia išplėsti tiriamos gatvės teritorijos ribas, taip pat stipriai padidinti transporto srautą. Toks integruotas modelis leidžia daug paprasčiau sekti aplinkos taršą mieste, taip pat formuoti aplinkos apsaugos politiką, prognozuoti išlaidas, bei investicijas į transporto infrastruktūrą.

Kaip teigia Prancūzų mokslininkai P. Delhomme ir kiti 2010, tokie veiksniai kaip saugus eismas keliuose, vairuotojams beveik nedaro jokios įtakos reguliuojant jų važiavimo greitį. Daugiausia vairuotojus baugina eismo įvykių tikimybė bei baudos už greičio viršijimą. Mokslininkai teigia, kad siekiant padidinti anksčiau minėtų priemonių efektyvumą galima pasitelkti naują idėją. Manoma, kad atsakingus vairuotojus neviršyti greičio apribojimų turėtų motyvuoti ir toks argumentas kaip aplinkos apsauga. Moksliniame straipsnyje apžvelgta keletas vairavimo veiksnių nulemiančių aplinkos taršą. Visų pirma, tai ryšys tarp žmonių mastymo apie aplinkosaugos problemas ir automobilių naudojimo.

Pavyzdžiui miestuose viena iš trijų kelionių yra trumpesnė, nei 3 km. Tokios kelionės metu perteklinis degalų suvartojimas skaidomas taip: + 80 % pirmame kilometre; + 50 % antrame kilometre ir taip toliau.

Suvartojant papildomai degalų didėja CO₂, NO_x išmetimai. Tiksliau didesnis greitis didina teršalų išmetimus į aplinką. Padidinus vairuotojų atsakingumą ir privertus juos sumažinti greitį įmanoma sumažinti aplinkos taršą bei sunaudojamų degalų kiekį. Aplinkos taršos problemų aktualumas gali tapti priežastimi sumažinti greitį keliuose. Šis tarsi atvirkštinis metodas pasiūlytas Prancūzijoje dar 2010 metais, po minėtų mokslininkų atliktos studijos. Nors idėja ir siektina, tačiau mažai tikėtina, kad Lietuvoje aplinkos taršos problemos gali priversti vairuotojus sumažinti greitį keliuose (Delhomme *et al.* 2010).

Kelių transporto priemonių emisijos labai stipriai priklauso nuo variklio darbo sąlygų. Skirtingos vairavimo situacijos lemia skirtingas variklio darbo sąlygas ir dėl to atsirandančius emisijų srautus. Atsižvelgiant į tai išskiriamos: miesto, užmiesčio, greitkelio vairavimo sąlygos vertinant greičio pasikeitimus. Skirtingų vairavimo sąlygų išskyrimas yra suderinamas su EMEP/CORINAIR metodologija. Kiekvienai vairavimo sąlygai priskiriami skirtingi veiklos duomenys ir skirtingi emisijos faktoriai. Taip pat šaltojo starto emisijos skaičiuojamos miesto vairavimo sąlygomis, nes pagal prielaidą didžioji dauguma transporto priemonių pradeda kelionę miestuose. Taigi bendroji emisija yra:

$$E_{sum} = E_{miesto} + E_{užmiest} + E_{greit}; \quad (1.4)$$

čia: E_{miesto} – miesto sąlygomis judančių transporto priemonių tarša;

$E_{užmiest}$ – užmiesčio sąlygomis judančių transporto priemonių tarša;

E_{greit} – greitkeliais judančių transporto priemonių tarša.

Kelių transporto priemonių sukeliamai taršai apskaičiuoti yra sukurta keletas metodikų. Kurios remiasi panašiais principais, tačiau dėl skirtingų įvesties duomenų įmanomi kiti taršos rezultatai. Viena iš metodikų eismo taršai mieste tirti yra vidutiniu metiniu eismo intensyvumu paremta metodika.

Pagrindiniai metodikos etapai:

1. vidutinio transporto eismo intensyvumo atskiruose kelių ruožuose nustatymas (aut./para);
2. transporto srautų vidutinio greičio atskiruose kelių ruožuose nustatymas;
3. transporto taršos emisijų veiksnių vidutinių verčių nustatymas (g/km);

4. emisijų ir jų lygio atskiruose kelių ruožuose apskaičiavimas.

Taigi supaprastintas taršos skaičiavimo modelis pritaikius minėtus etapus yra:

$$\left(\frac{RI \cdot VMPEI \cdot EVV}{100}\right) \cdot 365 ; \quad (1.5)$$

čia: RI – kelio ruožo ilgis;

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas;

EVV – tarša nuo vidutinio greičio kelio atkarpoje.

Šiuo metu jau pradėti taikyti nauji metodai sumažinti aplinkos taršai iš kelių transporto priemonių. Minėti taikomi metodai yra:

- naujų tipų variklių, tokių kaip benzininių variklių tiesioginis įpurškimas (gasoline direct injection GDI), kontroliuojamas automatinis uždegimas (controlled auto – ignition CAI), vienalyčio degiojo mišinio uždegimas suspaudimu (HCCI);
- naujų degalų rūšių taikymas CNG, vandenilis, degalai su priedais;
- alternatyvių jėgainių taikymas, tokių kaip hibridai, įkraunami hibridai, kuro elementus naudojančios transporto priemonės, elektrinės transporto priemonės.

1.5 Kietųjų dalelių filtras, kaip priemonė taršai miestuose sumažinti

Dyzelinio variklio išmetamosiose dujose viena pagrindinių kenksmingų medžiagų yra dyzelino kietosios dalelės (taip jas įvardijame pagal kilmę) arba suodžių dalelės (taip jas įvardijame pagal sudėtį) (Gerigk, 2006). To neįmanoma išvengti – dalelių susidarymą nulemia pačių degalų savybės ir degimo procesas. Kietosios dalelės formuojasi dyzeliniame variklyje iš elementariosios anglies ir organinių komponentų, kurie daugiausiai susideda iš nesudegusios alyvos, dyzelino ir dalinai oksidavusių junginių degant alyvai ir degalams (Gerigk, 2006). Siekiant sumažinti aplinkos taršą kietosiomis dalelėmis Europos Sąjungoje yra taikomi Euro standartai. Paskutiniuosiuose Euro 5 ir Euro 6 standartuose nurodomos kietųjų dalelių leistinosios koncentracijos ribos yra 5 mg kietųjų dalelių/km. Vienintelė galimybė efektyviai pasiekti standartuose nustatytas kietųjų dalelių koncentracijos ribas dyzeliniams automobiliams tapo filtravimo sistemos, pavadintos kietųjų dalelių filtrais (Gerigk, 2006)

Sieniniame („Wall-Flow“) dyzelino kietųjų dalelių filtre išmetamosios dujos nukreipiamos tekėti pro porėtą sienelę, kuri filtruoja kietąsias medžiagas (uždara sistema). Dauguma šių filtrų (apie 80 %) yra keraminiai, pagaminti iš kordierito, silicio karbido ar aliuminio titanato. Filtrai gaminami ir

iš metalo keramikos – tvirto chromo-nikelio-plieno lydinio arba keramikos ar metalo pluošto. Tačiau automobilio eksploatacijos metu šio tipo filtruose prisikaupia kietųjų dalelių ir jie užsikemša. Specialūs davikliai fiksuoja filtre susikaupusių suodžių kiekį ir pasiekus tam tikrą parametą, variklio valdymo kompiuteris aktyvuoja komandą "Išvalyti filtrą". Išsivalo ši sistema automatiškai – vykstant savaiminei regeneracijai, kurios esmė yra susikaupusių kietųjų dalelių išdeginimas 500–550 ° C (Gerigk, 2006).

Išilginio tekėjimo filtre („*Flow-Trough*“) išmetamosios dujos teka išilgai vidinio filtro paviršiaus (atvira sistema). Konstrukciniai filtro elementai nukreipia išmetamąsias dujas į gretimus kanalus pvz., per flizą ir taip suodžių dalelės išgaudomos. Taip pat dėl adhezijos suodžių dalelės prikimba prie flizo ir tokiu būdu yra išfiltruojamos. Išilginio tekėjimo filtrai („*Flow-Trough*“) dažniausiai veikia CRT principu. Kadangi šie filtrai padengti katalizuojančiais veikiančių tauriųjų metalų dalelėmis, esančiomis ant specialaus grunto sluoksnio, jie dažnai vadinami kietųjų dalelių katalizatoriais. Ne visos išmetamosios dujos praeina pro šio tipo filtrų porėtą sienelę, tad jų filtravimo efektyvumas yra gerokai žemesnis. Kai išmetamosiose dujose itin daug suodžių dalelių, jos pašalinamos per normalius išilginius kanalus, taigi, neužkemša filtruojančiosios medžiagos porų, tuo eliminuodamos variklio gedimo riziką (Gerigk, 2006).

Didėjantis urbanizacijos lygis dažniausiai yra lydimas ir automobilizacijos lygio didėjimo (Cervero ir Muramaki, 2010). Siekiant sumažinti neigiamą didėjančią eismo intensyvumą miestuose buvo įgyvendintos naujos technologijos (CaO ir Emadi, 2012), bei miestų plėtros bei žemės panaudojimo politika (Dulat *et al.* 2011). Tačiau vien miesto planavimo politikos neužteks siekiant sumažinti taršą miestuose. Miesto plėtra nėra išeitis siekiant sumažinti nuodingos taršos koncentraciją mieste. Tad, kaip alternatyva šioms problemoms spręsti buvo suformuota keliavimo įpročių keitimą skatinanti politika.

Buvo pasiūlyta į keliavimo įpročius įtraukti daugiau fizinio aktyvumo. Atlikus gyventojų fizinio aktyvumo tyrimus paaiškėjo, kad efektyvi miesto plėtros politika skatina fizinį aktyvumą. Nustatyta, kad 5–10 % kelionių asmeniniu automobiliu pakeitus, kelionėmis dviračiu būtų padidintas dviratininkų srautas nuo 200 iki 450 dviratininkų tūkstančiui miesto gyventojų. Tokie rodmenys pasiekti tik keliuose Europos miestuose. Puikus pavyzdys galėtų būti Kopenhaga, kur efektyvi miesto plėtros politika, bei įpročių formavimo politika leidžia pusei miesto gyventojų savo kasdienėms kelionėms panaudoti dviratį (Tiwary *et al.* 2015).

1.6 Kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo metodai

1.6.1 Vienos pakopos metodas

Metodo taikymo sąlygos. Metodas taikomas tada, kada transporto priemonės degalų suvartojimas ir specifiniai deginių emisijos faktoriai yra žinomi. Turint tik šiuos duomenis, efektyviausia taikyti vienos pakopos metodą.

Pirmos pakopos metodo algoritmas

$$E_i = \sum_j \left(\sum_m (FC_{j,m} \cdot EF_{i,j,m}) \right); \quad (1.6)$$

čia: E_i – teršalo i emisija [g];

$FC_{j,m}$ – degalų suvartojimas pagal automobilio kategoriją j bei jos naudojamus degalus m [kg];

$EF_{i,j,m}$ – specifinis deginių emisijos faktorius priklausomai nuo transporto priemonės kategorijos j ir suvartojamų degalų m [g/km].

Transporto priemonių kategorijos:

- keleiviniai automobiliai;
- mažieji automobiliai;
- sunkusis kelių transportas;
- motociklai ir mopedai.

Vienos pakopos specifiniai deginių emisijos faktoriai apskaičiuoti COPERT 4 programiniu paketu, kuris remiasi trijų pakopų modelio skaičiavimo metodika (Hulsmann, *et al.*2014).

1.6.2 Dviejų pakopų metodas

Dviejų pakopų metodo taikymo sąlygos. Šis metodas taikomas tada, kada turime degalų suvartojimo duomenis bei kelių transporto priemonių taršos standartais nustatytos taršos vertes.

Dviejų pakopų metodo algoritmas

$$E_i = \sum_k (N_{j,k} \cdot M_{j,k} \cdot EF_{i,j,k}); \quad (1.7)$$

čia: $M_{j,k}$ – vidutinis metinis atstumas priklausomai nuo transporto priemonės kategorijos, bei taikomų taršos apribojimų technologijų;

$EF_{i,j,k}$ – technologinis specifinis taršos faktorius;

$N_{j,k}$ – technologiją ir kategoriją atitinkančių transporto priemonių skaičius (Hulsmann, *et al.*2014).

1.6.3 Trijų pakopų metodas

Trijų pakopų metodas naudojamas, kada skaičiavimams turimi tokie techniniai duomenys (išmetimo faktoriai) ir aktyvieji duomenys (automobilių įveiktas atstumas). Šiuo metodu tiriamos įvairios kelių transporto priemonių sukeltos taršos. Šis metodas yra daug tikslesnis ir išsamesnis už anksčiau minėtus metodus. Vienas iš trijų pakopų metodo panaudojimo pavyzdžių yra laikinoji suminė tarša:

$$E_{sum} = E_{Karšt} + E_{šalt}; \quad (1.8)$$

čia: $E_{Karšt}$ – išmetimai esant stabiliam variklio darbui (šiltas variklis);

$E_{šalt}$ – išmetimai esant šaltam varikliui, vos užvedus automobilį.

Šios rūšies tarša stipriai priklauso nuo variklio operacijų sąlygų. Skirtingos vairavimo technologijos nulemia skirtingas variklio operacijas, bei taršos emisijas. Skirstant taršos emisijas pagal variklio darbo sąlygas pateikiama jau minėta triviali tarša:

$$E_{sum} = E_{miesto} + E_{užmiest} + E_{greit}$$

Trijų pakopų metodo pagrindiniai principai.

Pagrindiniai įvesties duomenys:

- degalų suvartojimas;
- transporto priemonių skaičius pagal kategoriją;
- įveikiamas atstumas pagal kategorijas;
- klimato sąlygos.

Skaičiuojant emisijas šiuo metodu vienintelės važiavimo sąlygos yra greitis pagal kategoriją, ar kelio ruožą. Emisijų faktoriai gali būti pagal kategoriją, pagal važiavimo sąlygas ir taip toliau (Hulsmann, *et al.*2014).

1.7 Transporto sukeltos taršos ekonominis vertinimas

Transporto sukeltos taršos išorinis poveikis nėra reguliuojamas rinkos sąlygomis, taip pat nėra rinkos, kuri vertintų transporto sukeltos taršos kaštus. Yra keletas galimybių minėtam kelių transporto priemonių sukeltos taršos vertinimui:

- žalos išlaidų įvertinimas;
- vengimo išlaidų įvertinimas;
- kontingentų metodai (noras mokėti, priimti, pareikšti ir atskleisti pirmenybę);
- vieningos kainos;
- rinkos sąlygomis sukurti žalos modeliavimo metodai.

Metodai gali sukelti reikšmingus skirtumus tarp vertinimų tikslumų. Vien nuo požiūrio į vertinimo metodus patys metodai gali nulemti labai skirtingą rezultatą. Taip vadinami „Sterno“ įverčiai įvertina žalos sąnaudas, kurios dažniausiai atsiranda konkurencinėmis verslo sąlygomis. Šių įverčių pagalba transformuojamos apskaičiuotos taršos vertės į žalos vertinimui tinkamesnę piniginę sistemą. Teoriškai prilyginta, kad vienos tonos CO₂ teršalų žalos vertė yra maždaug 80 eurų. Kiek vėliau įvertinus aplinkos taršos mastą ši kaina išaugo iki 140 eurų tonai CO₂ teršalo (DeCicco ir Ross 1996). Politiniai sprendimai siekiant sumažinti aplinkos taršą:

- savanoriški sutikimai ir technologinė pagalba;
- draudimai;
- mokesčiai ir baudos;
- taršos emisijų leidimai.

Savanoriški sutikimai ir technologinė pagalba

Europos transporto politikos vienas iš tikslų yra siekti pagerinti ekonomiškumą transporto priemonėse. 1988 metais Europos automobilių asociacija išsikėlė tikslus sumažinti degalų suvartojimą iki 140 g/km iki 2008 metų. Tačiau realybėje aukštesnės klasės automobiliams, kurių svoris ir variklio galia yra didesni, tepavyko pasiekti 154 g/km ribą. Tai rodo, kad savanoriškai automobilių gamintojai rimtai į klimato kaitos problemas nepažvelgs. Ši priemonė taip ir netapo populiari, nes automobiliai su nedideliu degalų suvartojimu nėra ekonomiškai naudingi patiems automobilių gamintojams (DeCicco ir Ross 1996).

Šiuo metu plačiau tobulinamos taip vadinamos E – mobilumo idėjos. Investavimas į elektromobilių baterijų tobulinimą, kuro elementus ir taip toliau. Kinijoje ši politika dosniai remiama

vietos valdžios. Europos šalys taip pat skiria laiko, bei lėšų elektroninio mobilumo idėjų propagandai (DeCicco ir Ross 1996).

Tačiau ir šios idėjos populiarumu mokslininkai linkę abejoti. Pagrindinė priežastis, bent kolkas technologijų kaina, tačiau tikimasi, kad ateityje ši priemonė vis labiau populiarės.

Draudimai

Ekonomistai teigia, kad įvairūs teisės aktai, nustatantys tam tikrus draudimus riboja gyventojų asmeninę laisvę. Tačiau ilgainiui didėjant aplinkos taršai, skatinamosioms priemonėms nedarant jokio teigiamo poveikio, nelieta nieko kito kaip taikyti draudimus. Taigi kalbant apie taršą Europos Komisija nustatė gana griežtas CO₂ teršalo vertes naujiems pagamintiems automobiliams (DeCicco ir Ross 1996).

Pagal 2009/33 EC direktyvą Europos komisija iki 2015 metų nustatė CO₂ teršalo emisiją 120 g/km, o nuo 2015 iki 2020 metų sumažinti šį dydį iki 95 g/km. Baudos už reikalavimų nevykdymą šiuo metu yra 95 eurai už viršytą išmetamo teršalo gramą lengviesiems automobiliams. Ateityje sunkiojo transporto baudos gali siekti 3500–15000 eurų už automobilį (DeCicco ir Ross 1996).

Kritinė problema taikant draudimų politiką yra dinamiškas standartų pritaikymas, t.y. kada standartais nustatytų verčių gamintojai tiesiog negali pasiekti. Šiuo metu JAV taikomi apribojimai CO₂ teršalui yra 141 g/km lengviesiems automobiliams ir 219 g/km sunkvežimiams (DeCicco ir Ross 1996).

1.8 Pirmojo skyriaus išvados

1. Oro kokybė miesto sąlygose labai priklauso ne tik nuo suminio išmetamųjų medžiagų kiekio bet ir nuo gatvės aplinkos koeficiento. Jis pasiekus gatvės aplinkos rodiklio reikšmę 0,8 tampa *const*. Tai parodo, kad siekiant gerinti oro kokybę mieste būtina atsižvelgti ir į inžinerinius kelių sprendimus.
2. Išmetamų medžiagų kiekis iš transporto priemonių srauto labai priklauso nuo transporto priemonės rūšies bei jos darbo režimų. „Pavojingiausia“ šiuo požiūriu yra dyzelinu varoma transporto priemonė, kuriuos darbo režimas yra įsibėgėjimas. Tam tikslui geriausia taršos mažinimo priemonė jose yra kietųjų dalelių filtras.
3. Rementis statistika daugiausiai transporto priemonių yra susikonscentravę penkiose didžiausiuose Lietuvos miestuose, tarp kurių vyrauja lengvieji automobiliai. Todėl tobulinama metodika turi perspektyvas tapti pagindžiamąja priemone taršos mieste perspektyvoms vertinti.

4. Vertinant taršos skaičiavimo metodų pritaikomumą, tai be abejonės tiksliausias yra trijų pakopų metodas, bet jis reikalauja labai daug specifinių duomenų, pakankamai tikslus yra ir vienos pakopos metodas, kuris gali būti pritaikytas lokaliniam taršos situacijos vertinimui.
5. Efektyviausias taršos mažinimo ekonominiu požiūriu būdas yra aplinkosauginiai mokesčiai, bet būtinas kompleksinių priemonių, susidedančių iš tų pačių mokesčių, mobilumo skatinimo priemonių ir švietimo programų, taikymas.

2. Tyrimų metodika

2.1 Tyrimų metodikos formulavimas

Siekiant patobulinti kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo ir vertinimo metodiką sudaromas tyrimo metodas. Kuriamas tyrimo metodas turi būti įgyvendinamas, tikslus, konkretus ir leidžiantis pasiekti užsibrėžtus tikslus. Suformuotą tyrimo metodą sudaro šie pagrindiniai žingsniai:

- * taršos skaičiavimo modelio rengimas;
- * modelio taikymo sąlygų aprašymas;
- * taršos skaičiavimo modelio pritaikymas statistinių duomenų apdorojimui;
- * uždavinio sąlygų optimizavimas;
- * taršos numatytose sankryžose skaičiavimas;
- * rezultatų analizė.

2.2 Taršos skaičiavimo modelio rengimas

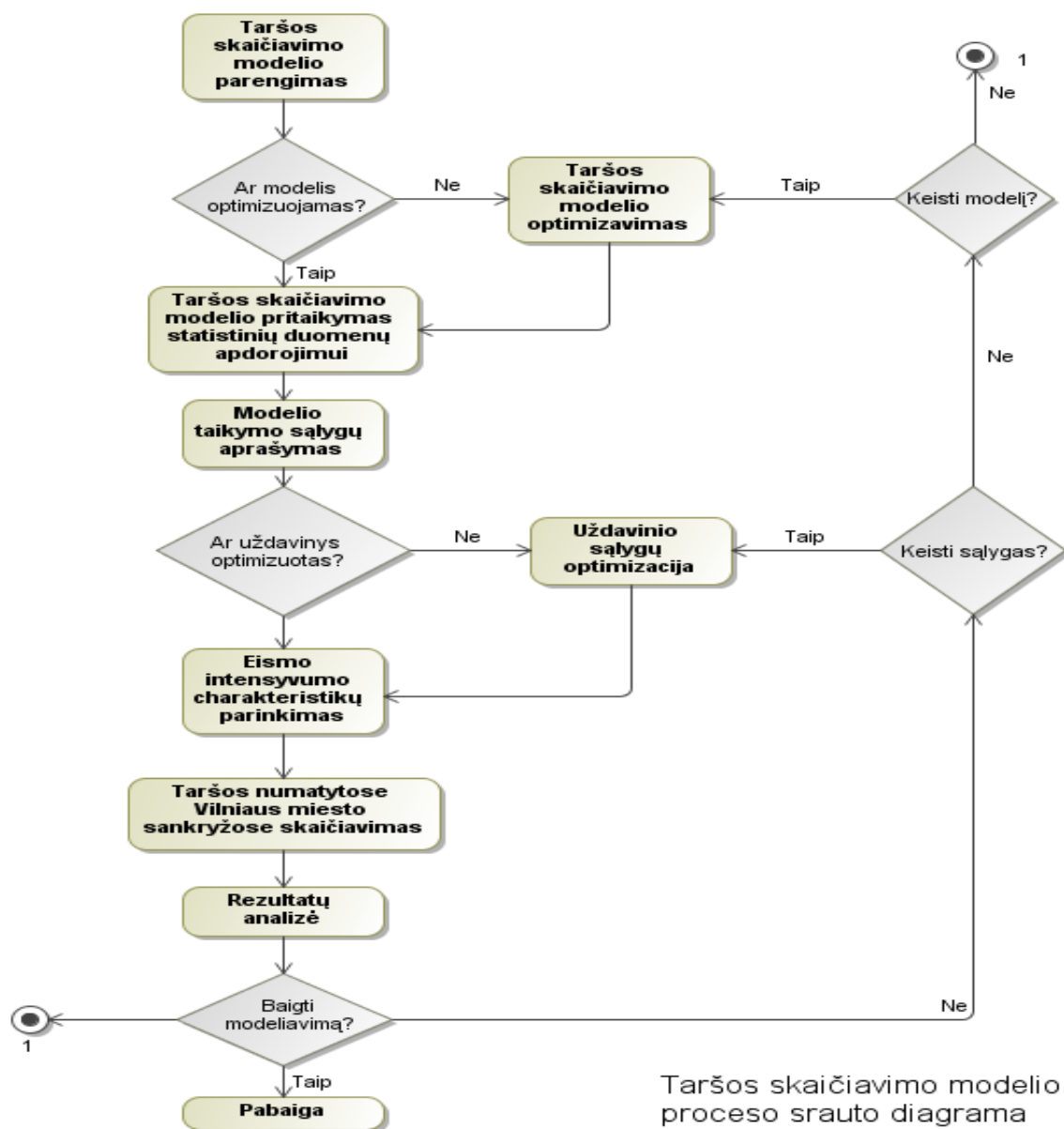
Taršos skaičiavimo modelis suformuojamas kaip proceso srauto diagrama (žr. 2.1 pav.). Ši diagrama turi 2 optimizavimo žingsnius.

2.3 Modelio taikymo sąlygų aprašymas

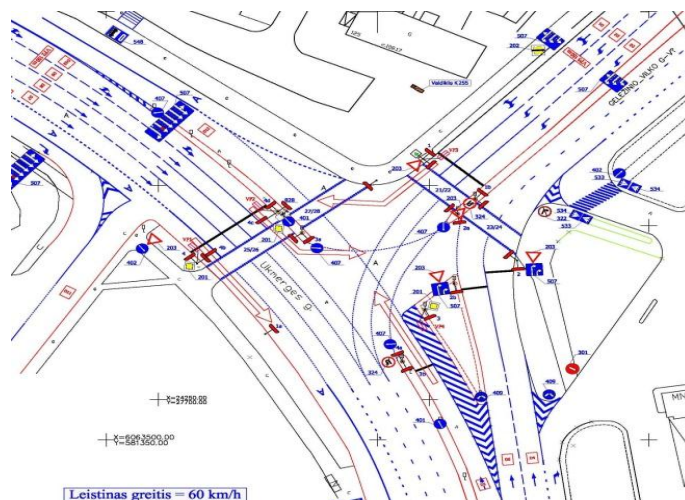
Tiriant miesto taršą Vilniuje pasirenkamos vienos iš didžiausių sankryžų mieste, t. y. Kalvarijų–Kareivių gatvių sankryža bei Ukmergės–Geležinio Vilko gatvių sankryža. Šių sankryžų eismo intensyvumas yra pats didžiausias Vilniaus mieste, tad didelė tikimybė, kad oro tarša šiose vietose taip pat didžiausia. Taršai skaičiuoti būtini eismo intensyvumo rodikliai minėtose teritorijose. Šiuos duomenis sugeneruoja sankryžose sumontuoti eismo valdikliai K213 ir K255. Šie valdikliai eismo intensyvumo duomenis perduoda Vilniaus miesto eismo valdymo centro operatoriams. Būtent

šie susisteminti duomenys ir bus naudojami tolesniems tyrimo etapams. Sankryžų schemas pateikiamos 2.2. pav. Ukmergės–Geležinio Vilko sankryža, 2.3. pav. Kalvarijų–Kareivių gatvių sankryža.

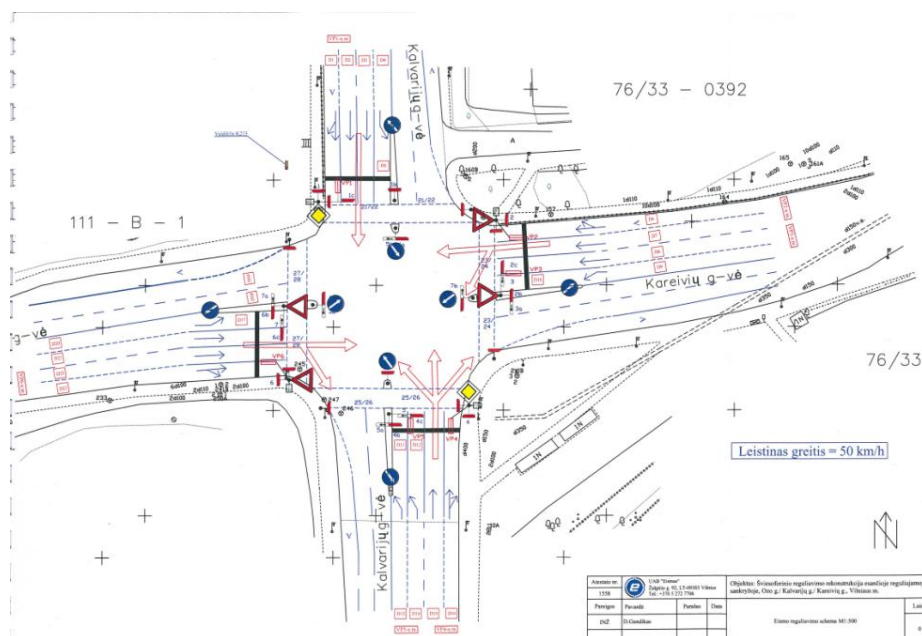
Tyrimo metodas



2.1 pav. Proceso srauto diagrama (Sudaryta autoriaus).



2.2 pav. Ukmergės–Geležinio Vilko gatvių sankryža



2.3 pav. Kareivių–Kalvarijų gatvių sankryža

Taršos skaičiavimas bei patobulintos metodikos vertinimas bus atliekamas 2 aspektais. Visų pirma atlikus metodikos pakeitimą, t. y. įvedus naują transporto priemonių kategoriją, bus tiriama taršos minėtose gatvėse priklausomybė nuo eismo srauto intensyvumo tose sankryžoje. Šiam tyrimo aspektui įgyvendinti bus panaudojami tik realūs eismo intensyvumo bei transporto priemonių srauto sudėties duomenys. Naudojant tik realius duomenis ir siekiant įvertinti eismo intensyvumo įtaką taršai, tarša minėtose sankryžose skaičiuojama 2 laikotarpiais, tada intensyvumas didžiausias ir tada, kada jis mažiausias.

Antruoju aspektu tyrimas atliekamas teoriškai pakeičiant eismo srauto skaičiuojamosiose sankryžose sudėtį. T. y. padidinant hibridinių automobilių dalį iki 20 % viso sankryžas apkraunančio transporto priemonių srauto. Šis tyrimo aspektas dar gali būti vadinamas optimistiniu transporto priemonių srauto sudėties modeliu. Pritaikius optimistinę prognozavimą, galima atlikti skaičiavimą, kaip tarša minėtose sankryžose priklauso nuo hibridinių transporto priemonių skaičiaus bendroje srauto sudėtyje. Taip pat gauti rezultatai leistų atlikti patobulintos metodikos ekonominį ir pritaikomumo vertinimą.

2.4 Kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo metodika

Automobilių, judančių srautu gatvėmis, į atmosferą išmetamų teršalų nustatymo metodika leidžia apskaičiuoti maksimalias vienkartinės autotransporto emisijas ir gali būti taikoma visoms automobilio rūšims, eksploatuojamoms miestuose. Ši metodika leidžia apskaičiuoti į atmosferą patenkančių kenksmingų medžiagų kiekius. Pagrindinės kenksmingos medžiagos yra šios:

- * CO (anglies monoksidas).
- * NO_x (azoto oksidai) perskaičiuojami į NO₂.
- * CH (angliavandeniliai).
- * KD (kietosios dalelės).
- * SO_x (sieros oksidai) perskaičiuojami į SO₂.

Transporto priemonių, kurių M_{Li} į atmosferą išmetamos *i*-tosios kenksmingos medžiagos kiekis nustatomas konkrečioje gatvėje, kurioje automobilių srautų struktūra ir intensyvumas nuo 20–25 % (Ларева, 2011).

Automobilių srauto intensyvumai gatvėse yra skirstomi į zonas, kurios nagrinėjamos atskirai. Jeigu gatvė turi sankryžas, papildomai apskaičiuojamas išmetamų kenksmingų medžiagų kiekis M_{pi} kiekvienai zonai. Būtina įvertinti, kad didžiausias kenksmingų medžiagų kiekis iš automobilių išsiskiria juos stabdant arba jam sustojus prie sankryžos degant draudžiamam šviesoforo signalui, taip pat pradėjus judėti, užsidegus leidžiamam šviesoforo signalui. Todėl atsiranda būtinybė gatvėje prie šviesoforo išskirti zonas, kuriose susidaro automobilių spūstys, nes tada automobilis dirba tol, kol užsidega leistinas judėti šviesoforo signalas. Tokiu būdu gatvėje su reguliuojama sankryža suminis $\sum M_i$ *i*-tasis komponentas nustatomas dviem etapais. Judančių automobilių srauto išmetamos iki sankryžos ir sankryžos zonoje. Gatvėms yra taikomos šios taisyklės:

1. Miestams, kurių gyventojų yra iki 500 000 arba kurių gatvių intensyvumas yra 200–300 aut/h.
2. Miestams, kurių gyventojų yra daugiau 500 000 ir kurių gatvių intensyvumas yra 400–500 aut/h. (Лареев, 2011).

Atrinktose gatvėse tyrimais nustatomas eismo intensyvumas ir struktūra.

- 1) Automobilių srauto kenksmingų medžiagų nustatymas gatvėse iki sankryžos.

Gatvėmis (arba jų atkarpomis) judančio automobilio srautų išmetamų i -tosios taršos dalelių kiekis (g/s), R – kilometrų ruože apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M_{Li} = \frac{L}{3600} \cdot \sum_1^K m_{ik}^{np} \cdot V_K \cdot r_{iv}. \quad (2.1)$$

čia, L – gatvės ilgis, iš kurio atimamas automobilio eilės ilgis prieš draudžiamą šviesoforo signalą ir sankryžos atkarpą.

m_{ik}^{np} – k -tosios automobilių grupės i -tasis kenksmingas medžiagos išmetimas eksploatuojant automobilį mieste;

k – automobilių grupių skaičius;

V_K – k -tasis grupės judėjimo intensyvumas, automobilių skaičius per valandą;

r_{iv} – korekcijos koeficientas, įvertinantis automobilių srauto vidutinį judėjimo greitį pasirinktoje gatvėje (arba atkarpoje).

- 2) Automobilių srauto kenksmingų medžiagų kiekio nustatymas reguliuojamoje sankryžoje

Reguliuojamoje sankryžoje oro tarša pasižymi didžiausiu kenksmingų išmetimų kiekiu (stabdymas, laisva eiga, įsibėgėjimas). Kiekvienas išmetamas i -tasis kenksmingas medžiagų kiekis M_{pi} (g/min) reguliuojamoje sankryžoje, degant draudžiamam šviesoforo signalui, apskaičiuojamas:

$$M_{pi} = \frac{R}{40} \cdot \sum_{n=1}^{N_c} \cdot \sum_{k=1}^{N_{gr}} (m_{ik}^{el} \cdot Q_{max}^k) \quad (2.2)$$

čia: R – vidutinio draudžiamo signalo veikimo trukmė minutėmis;

N_c – draudžiamo signalo periode skaičius per 20 min;

N_{gr} – automobilių grupių skaičius;

m_{ik}^{el} – lyginamosios k -tosios grupės automobilių, stovinčių eilėje prieš draudžiamuosius šviesoforo signalus, išmetamosios i -tosios medžiagos kiekis (g/min);

Q_{max}^k – k -tosios grupės automobilių, stovinčių sankryžos zonoje n -tojo draudžiamąjo signalo pabaigoje, eilės ilgis;

N_{pi} – g/min apskaičiuojamas susumuojant prie sankryžos artėjančių transporto priemonių ilgius. Tai atliekama dviem etapais:

1. Nustatomas visų transporto priemonių ilgis.
2. Nustatomi kiekvienos transporto priemonės ilgiai. Draudžiamąjo signalo pabaigoje eilės ilgis artėjant prie sankryžos nustatomas kiekvienai kryptčiai pagal formules;

$$Q_{max} = \frac{V \cdot R}{3600 \cdot \left(1 - \frac{V}{S}\right)} \quad (2.3)$$

čia: R – vidutinio draudžiamąjo signalo trukmė degimas sekundėmis;

S – srauto dydis judėjimo juostoje transporto priemonių eilės išvažiavimo intensyvumas aut/h.;

N_c – draudžiamąjo šviesoforo signalo periodo skaičius per 20 min. apskaičiuojamas pagal formulę:

$$N_c = \frac{1200}{c} \quad (2.4)$$

c – šviesoforo ciklas, s.

Skaičiuojant kenksmingų medžiagų kiekius sankryžos zonoje daroma prielaida, kad pasirinktame 20 min. laiko intervale kiekvieno draudžiamąjo signalo pabaigoje transporto srauto sudėtis ir ilgis bus vienodas. Apskaičiavus judančio ir sankryžoje stovinčių automobilių kenksmingų medžiagų kiekius jie sumuojami:

$$M_i = M_{Li} + M_{pi} \quad (2.5)$$

Autotransporto emisijų į atmosferą apskaičiavimo pradiniais duomenimis naudojami automobilių srautų struktūros ir intensyvumo tyrimų rezultatai pagal pagrindines automobilių kategorijas ir klases.

Pastaba. Skaičiavimo metodikoje elektriniai automobiliai priskiriami prie hibridinių automobilių.

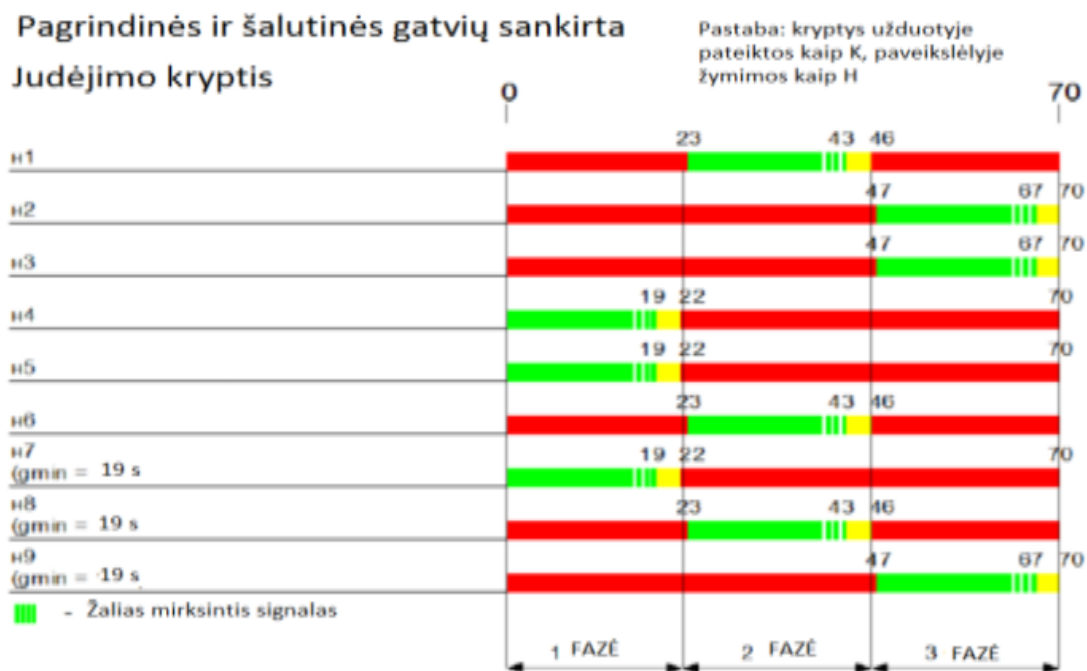
Pateikiamos lentelės ir schemos su duomenimis, skirtais taršos skaičiavimui

2.1 lentelė. Skirtingų klasių automobilių išmetamų kenksmingų medžiagų m_{ik}^{np} reikšmės (g/km) (Ларедев, Р. Ю. 2011).

Eil. Nr.	Automobilių klasė	Išmetamos medžiagos kiekis, g/km				
		CO	NO ₂	CH	KD	SO ₂
1	M ₁	2	0,7	0,4	0,02	0,03
2	M ₂	12	2	2,5	0,08	0,06
3	M ₃	7	6	5	0,3	0,07
4	N ₂	9	7	5,5	0,4	0,1
5	N ₃	12	8	6,5	0,5	0,12
6	Hibridiniai automobiliai	1,04	0,36	0,21	0,01	0,02

2.2 lentelė. Koeficiento r_{iv} , įvertinančio išmetamų kenksmingų medžiagų kitimą priklausomai nuo judėjimo greičio, reikšmės (Ларедев, Р. Ю. 2011).

v, km/val.	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
r_{iv}	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65



2.4 pav. Šviesoforo signalų darbo režimas (Ларедев, Р. Ю. 2011).

2.3 lentelė. Automobilių srauto, esančio sankryžos zonoje, konkrečių išmetamų kenksmingų medžiagų m_{ik}^{el} kiekiai (g/min), (Ларева, Р. Ю. 2011).

Eil.Nr.	Automobilių klasė	Išmetamos medžiagos kiekis, g/min				
		CO	NO ₂	CH	KD	SO ₂
1	M ₁	0,3	0,01	0,05	0,01	0,006
2	M ₂	2,0	0,04	0,25	0,04	0,012
3	M ₃	1,1	0,11	0,60	0,20	0,015
4	N ₂	1,5	0,12	0,60	0,23	0,020
5	N ₃	12	8,0	6,5	0,5	0,120
6	Hibridiniai automobiliai	0	0	0	0	0

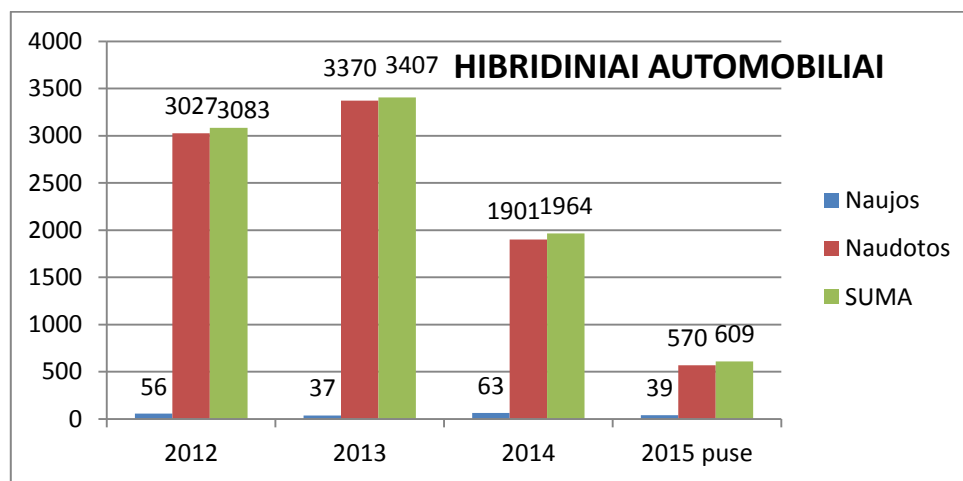
Ši metodika yra aprobuota ir dažnai taikoma tiriant miestų taršą, tačiau situacija pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, keičiasi. Miestų gatvėmis juda vis daugiau transporto priemonių, kurios mažiau teršia aplinką arba jos visai neteršia. Tokių transporto priemonių įvertinimas ir yra vienas iš metodikos tobulinimo žingsnių.

2.5 Uždavinio sąlygų optimizavimas

Optimizuojant uždavinio sąlygas, t. y. įvedant naują transporto priemonių kategoriją – hibridinius automobilius, bus atliekama šių transporto priemonių registracijų analizė mūsų šalyje. Taip pat atliekamas hibridinių transporto priemonių sudėties, bendrame eismo sraute realus prognozavimas bei optimistinės (siekiamo) srauto sudėties nustatymas.

Hibridinės transporto priemonės, tai tokios transporto priemonės, kurios turi keletą kombinuotų jėgainių, dėl kurių šių transporto priemonių deginių išmetimai yra ženkliai mažesni už tradicinius automobilius varomus vien tik vidaus degimo varikliais. Dėl duomenų apdorojimo supaprastinimo visiškai aplinkos neteršiantys automobiliai, tokie kaip vien elektros varikliais varomi automobiliai irgi priskiriami prie hibridinių transporto priemonių. Hibridiniai automobiliai šiam tyrimui svarbūs tuo, kad būtent šios kategorijos transporto priemonėmis ir siekiama papildyti kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo metodiką.

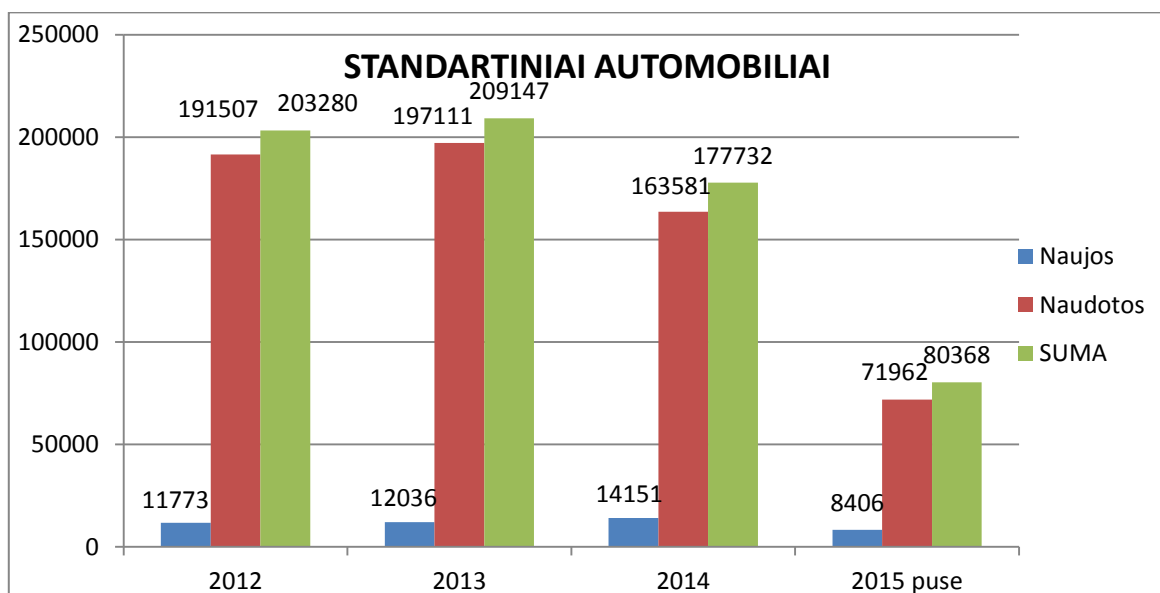
Hibridinių transporto priemonių skaičius Lietuvoje nustatomas pasitelkiant VĮ „Regitra“ duomenis. Taršos skaičiavimams bus naudojami tik 2014 metų duomenys, tačiau siekiant išryškinti hibridinių automobilių registracijos Lietuvoje tendencijas pateikiami 2012 m., 2013m., 2014 m., ir 2015 m. pirmos pusės duomenys. Apdoroti duomenys pateikiami 2.5 pav., 2.6 pav., 2.7 pav.



2.5 pav. Hibridinių automobilių skaičius registruotas, Lietuvoje atitinkamu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

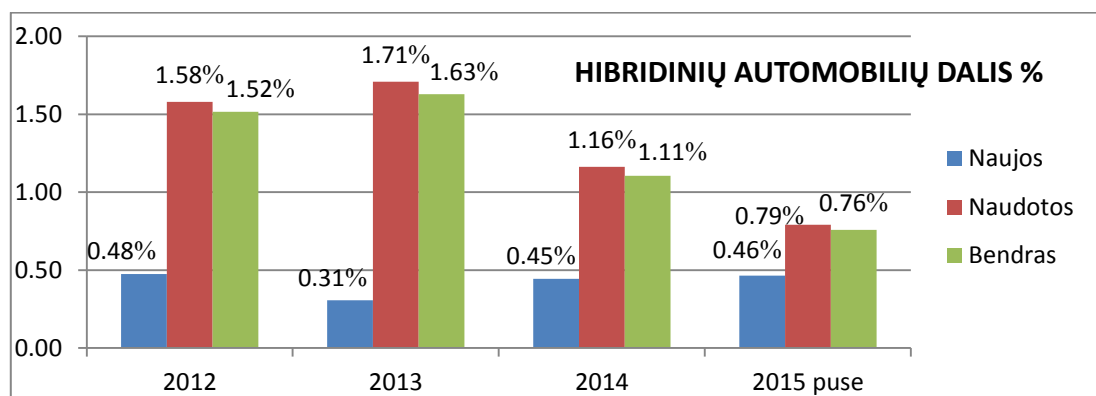
2.5 paveikslas rodo kiek Lietuvoje registruota Hibridinių transporto priemonių, kurios jau buvo naudotos užsienyje, taip pat naujas hibridines transporto priemones – pirmą kartą registruojamas Lietuvoje. Iš paveikslas matyti, kad naujų hibridinių transporto priemonių skaičius yra kelias dešimtis kartų mažesnis už naudotų hibridų skaičių.

Siekiant palyginti kokią dalį hibridinių automobilių parkas sudaro bendrame Lietuvos automobilių parke pateikiamas 2.6 paveikslas.



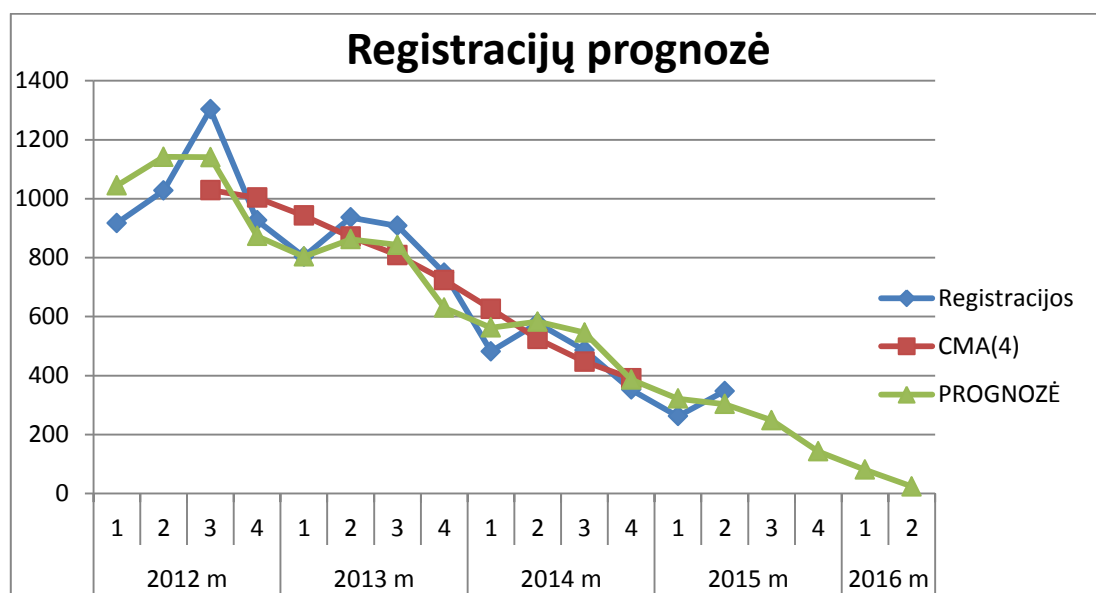
2.6 pav. Tradicinių automobilių skaičius registruotas, Lietuvoje atitinkamu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

Hibridinių automobilių užimama transporto priemonių parko dalis pateikiama 2.7 paveiksle.



2.7 pav. Hibridinių automobilių dalis visame Lietuvos transporto priemonių parke
(Sudaryta autoriaus)

Hibridinių automobilių nauda kovojant su tarša didžiuosiuose miestuose akivaizdi. Didžiausi hibridinių automobilių privalumai dirbant, taip vadinama tuščiąja eiga. Visų hibridinių automobilių išmetimai tuščiosios eigos metu yra nuliniai, nes stovint prie raudono šviesoforo signalo hibridinio automobilio variklis yra stabdomas, o esant žaliai signalui paleidžiamas akimirksniu. Tad atsižvelgiant į visus šiuos hibridinių transporto priemonių privalumus, bei pasitelkiant paskutiniųjų metų hibridinių automobilių registracijų duomenis, atliekamas šios kategorijos automobilių registracijų realus statistinis prognozavimas. Prognozės rezultatai pateikiami 2.8 pav.



2.8 pav. Hibridinių automobilių registracijų prognozė (Sudaryta autoriaus).

Kaip matyti iš realiais duomenimis paremtos hibridinių automobilių registracijų prognozės, šių rūšių T.P. paskutiniuoju metu registruojama vis mažiau. Ir 2016 antrajame ketvirtyje prognozuojama tik 24 hibridinių transporto priemonių registracija Lietuvoje. Šis skaičius akivaizdžiai per mažas ir nepadės vykdyti planuojamos transporto politikos. Šių rezultatų vertinimas bei pasiūlymai bus perkelti į metodikos vertinimo skyrių, o siekiant išryškinti hibridinių T.P. įtaką taršai didmiesčiuose, taršos skaičiavimo skyriuje bus pateiktas optimistinis hibridinių T.P. registracijų scenarijus.

2.6 Antrojo skyriaus išvados

1. Suformuluotas tyrimų algoritmas leidžia pilnai išspręsti iškeltus darbo uždavinius ir tikslą tiek taršos skaičiavimo modelio rengimo, modelio taikymo sąlygų aprašymo, taršos skaičiavimo modelio pritaikymo statistinių duomenų apdorojimui, uždavinio sąlygų optimizavimo, taršos numatytose sankryžose skaičiavimo bei rezultatų analizės metodais.

3. Tyrimų rezultatai

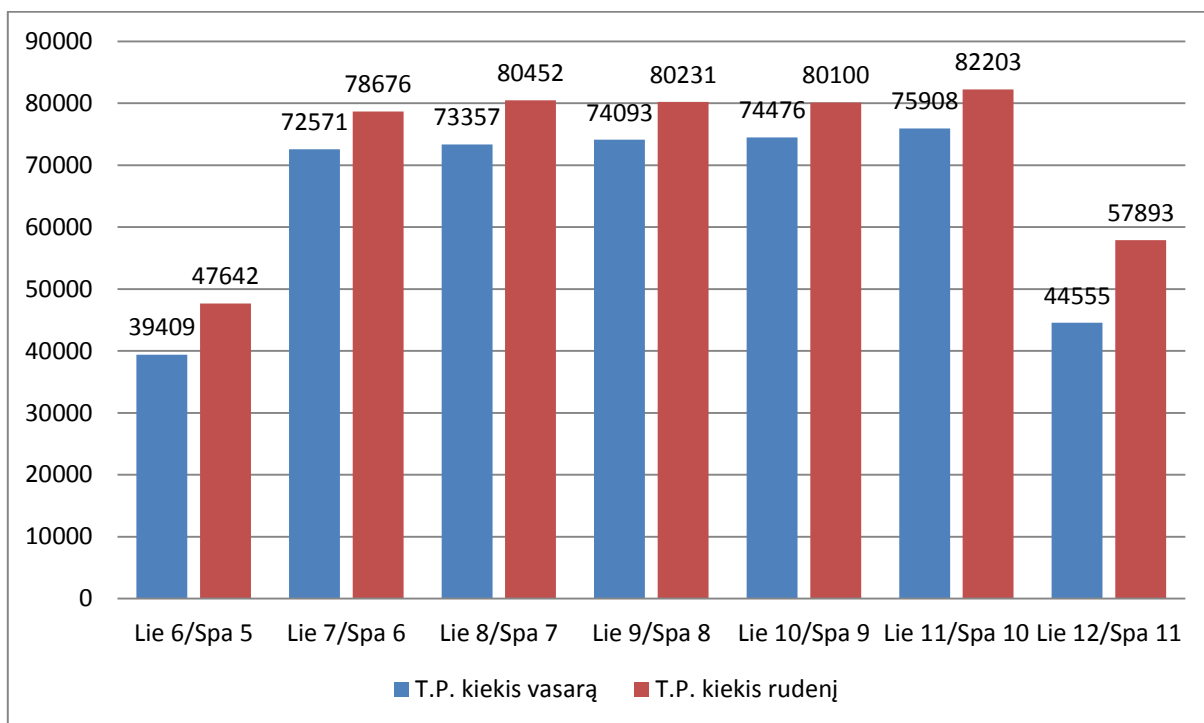
3.1 Skaičiavimams naudojamų realių duomenų statistinis apdorojimas

3.1.1 Eismo intensyvumo nustatymas K255 sankryžoje

Eismo mazgas K255 Geležinio vilko–Ukmergės gatvių sankryža (žr. 2.2 pav.). Šios sankryžos eismo intensyvumas tirtas vasarą (2014-07-06 – 2014-07-12) ir rudenį (2014-10-05 – 2014-10-11). Šios tyrimo atlikimo datos pasirinktos kuomet eismas sankryžoje mažiausiai intensyvus, t. y. vasarą ir intensyviausias – rudenį. Ši sankryža turi 12 judėjimo krypčių, kurios sužymėtos minėtame 2.2 paveiksle. Iš sankryžoje esančio K255 valdiklio gauti duomenys apdorojami „Maple 10“ programa, formuojami rezultatai.

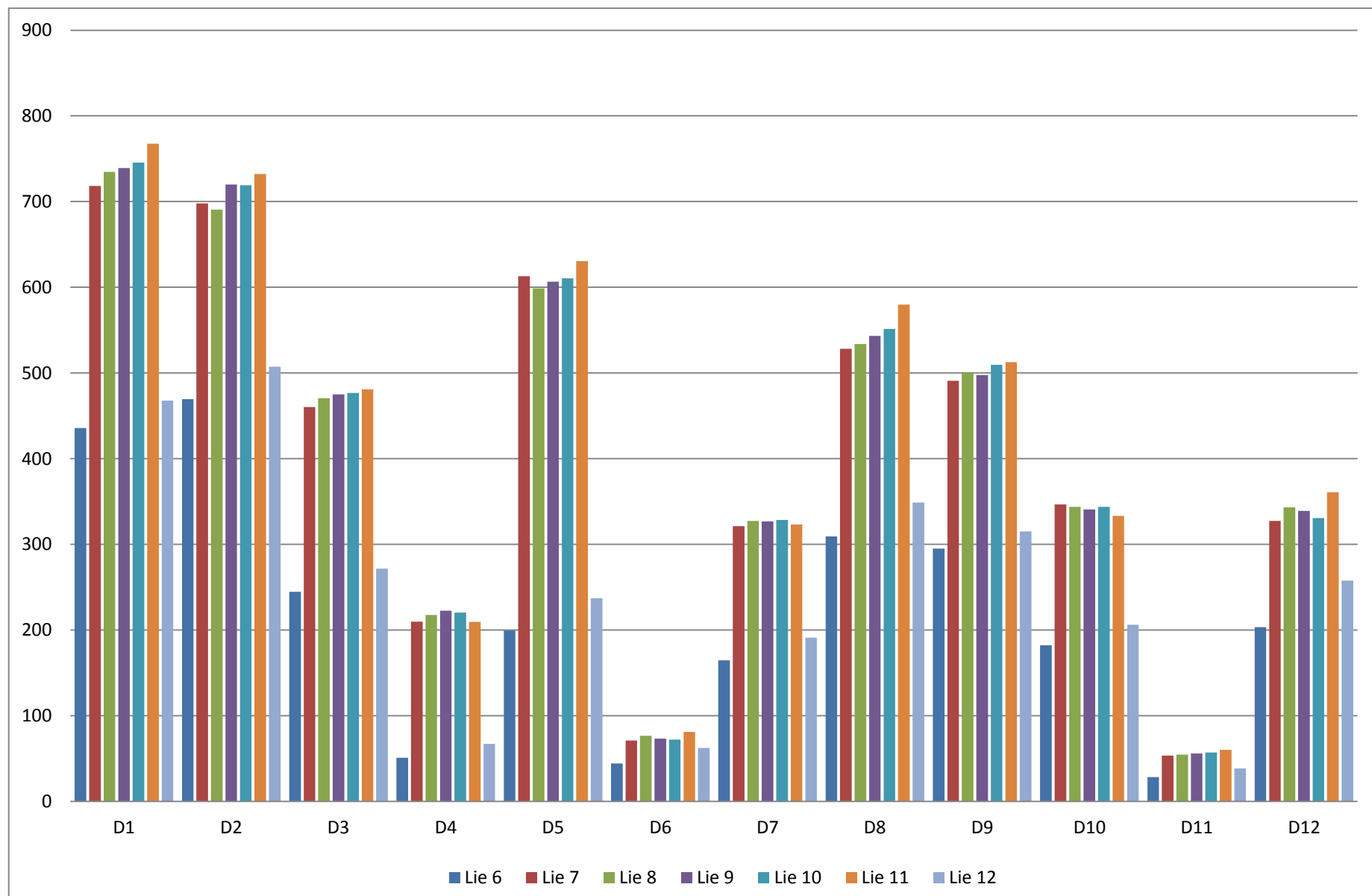
3.1 lentelė. T.P. srauto padidėjimas rudenį (Sudaryta autoriaus).

Lie6/Spa5	+20,89 %
Lie7/Spa6	+8,41 %
Lie8/Spa7	+9,67 %
Lie9/Spa8	+8,28 %
Lie10/Spa9	+7,55 %
Lie11/Spa10	+8,29 %
Lie12/Spa11	+29,94 %

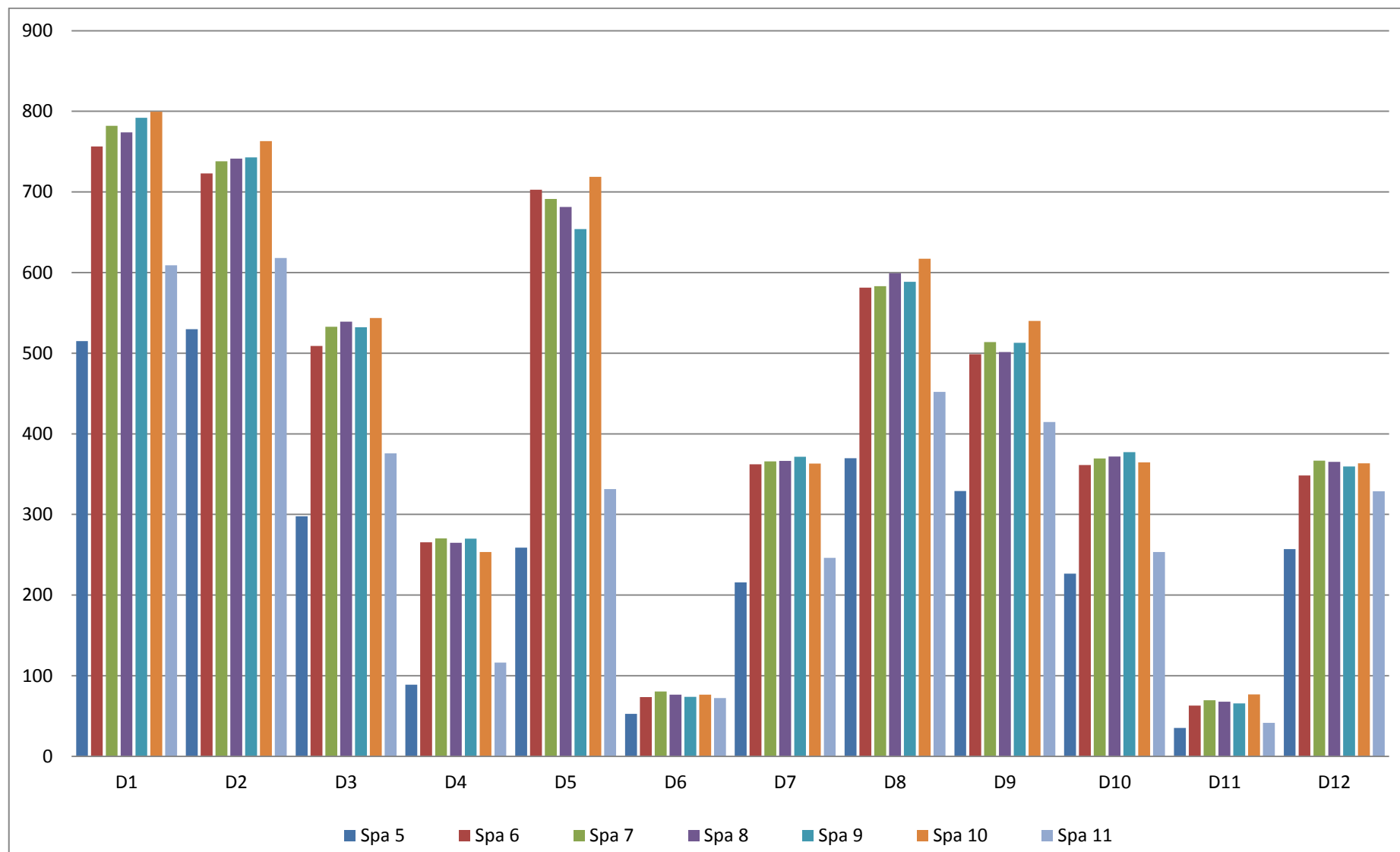


3.1 pav. Srautų K255 sankryžoje palyginimas (Sudaryta autoriaus).

Iš pateikiamų paveikslų ir lentelės matome, kad srautas sankryžoje rudenį didesnis nuo 8,41 % iki 29,94 % atitinkamomis savaitės dienomis. 3.2 ir 3.3 paveikslai parodo konkrečios krypties sankryžoje eismo intensyvumą.



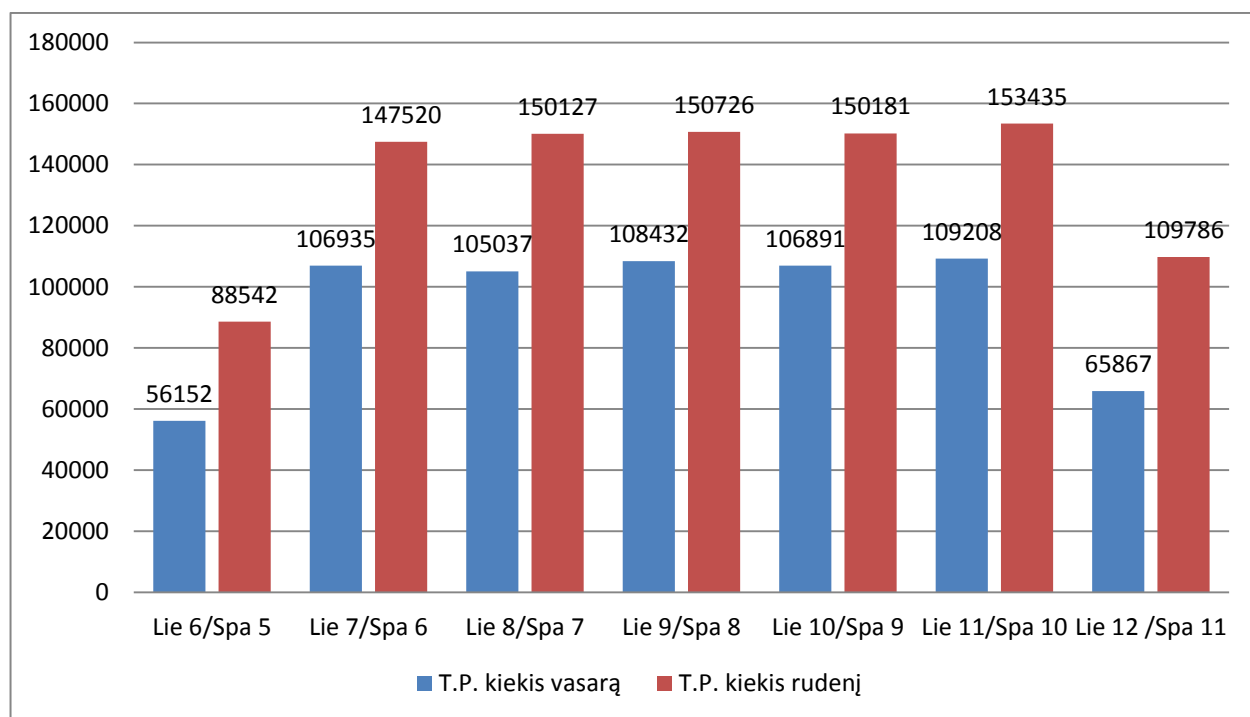
3.2 pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K255 sankryžoje vasarą (Sudaryta autoriaus).



3.3 pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K255 sankryžoje rudenį (Sudaryta autoriaus).

3.1.2 Eismo intensyvumo nustatymas K213 sankryžoje

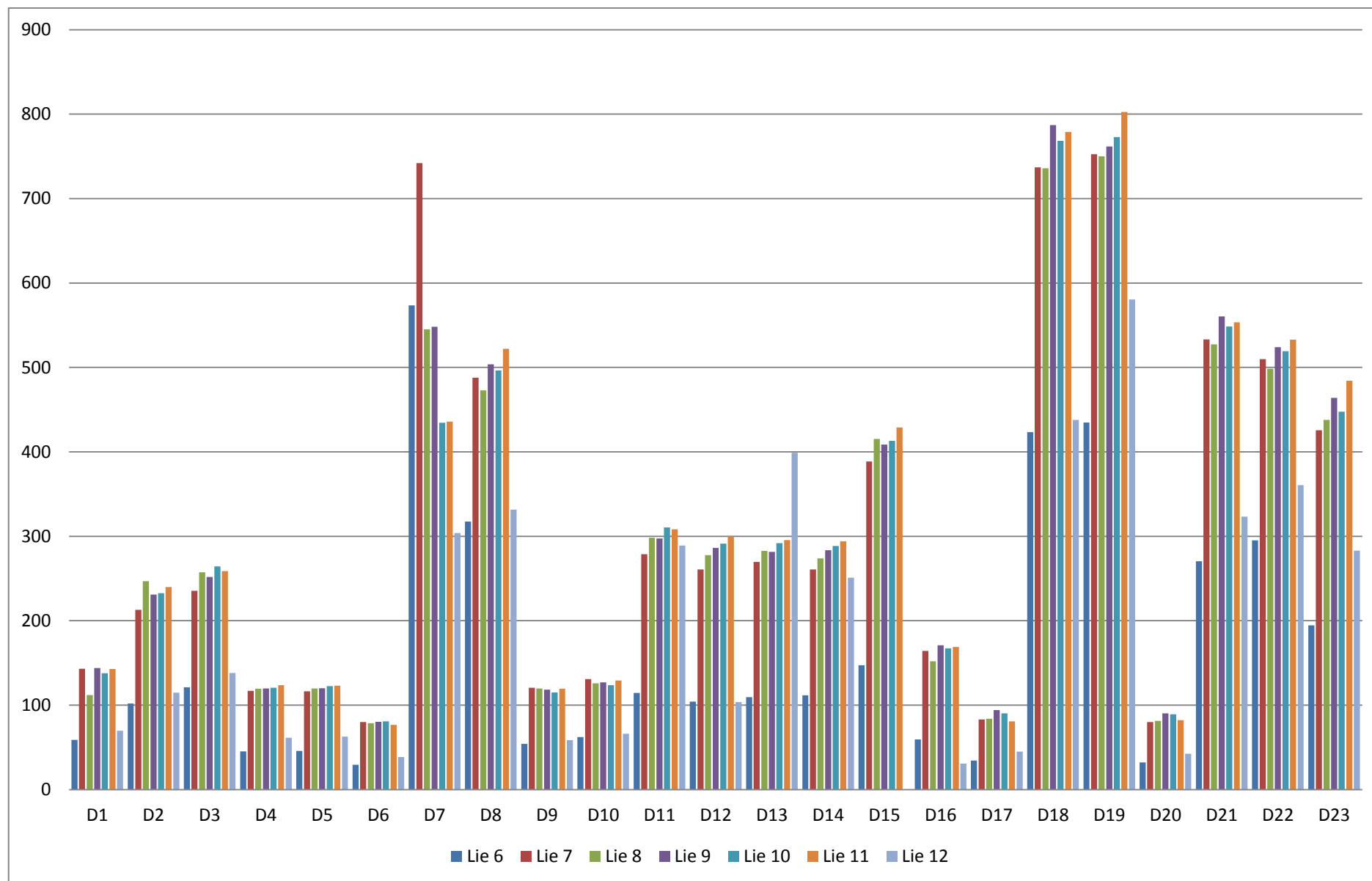
K213 sankryža Kalvarijų–Kareivių gatvių sankirta (žr. 2.3 pav.). Šios sankryžos eismo intensyvumas tirtas taip pat, kada eismas intensyviausias ir mažiausias atitinkamai (2014-10-05 – 2014-10-11) ir (2014-07-06 – 2014-07-12). Ši sankryža turi net 23 judėjimo kryptis, kurios sužymėtos 2.3 paveiksle. Iš sankryžoje esančio K213 valdiklio gauti duomenys apdorojami „Maple“ programa ir formuojami tokie sankryžos srauto rezultatai. Iš pateikiamų paveikslų ir lentelės matoma, kad srautas sankryžoje rudenį didesnis nuo 37,95 % iki 66,68 % atitinkamomis savaitės dienomis. 3.5 ir 3.6 paveikslai parodo konkrečios krypties sankryžoje eismo intensyvumą.



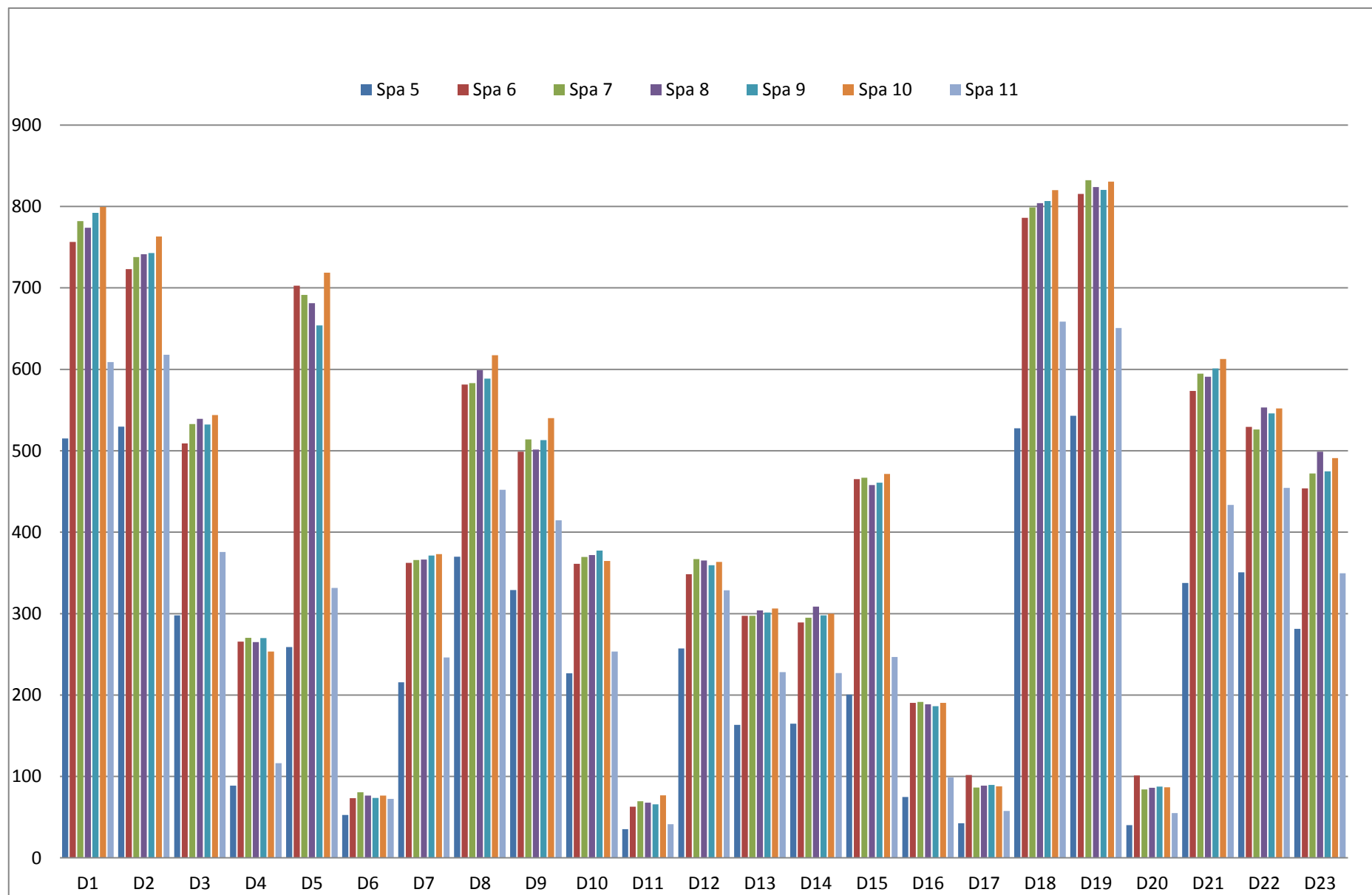
3.4 pav. Srautų K213 sankryžoje palyginimas (Sudaryta autoriaus).

3.2 lentelė. T.P. srauto padidėjimas rudenį (Sudaryta autoriaus).

Lie6/Spa5	+57,68 %
Lie7/Spa6	+37,95 %
Lie8/Spa7	+42,93 %
Lie9/Spa8	+39,00 %
Lie10/Spa9	+40,50 %
Lie11/Spa10	+40,50 %
Lie12/Spa11	+66,68 %



3.5 pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K213 sankryžoje vasarą (Sudaryta autoriaus).



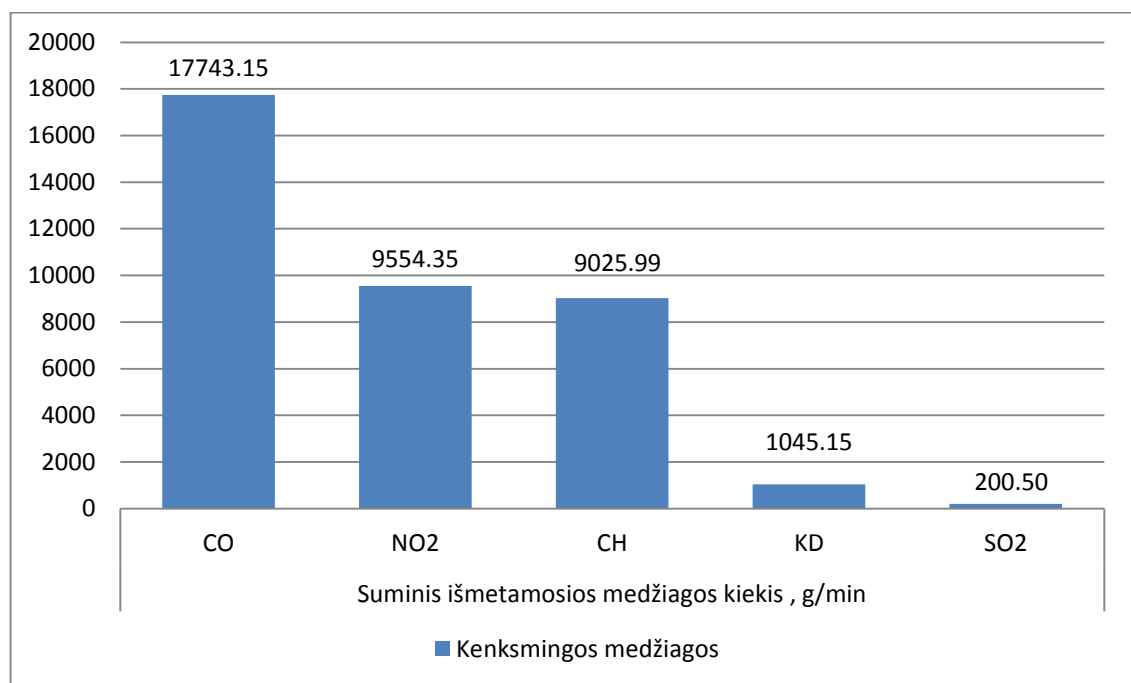
3.6 pav. T.P. srauto vidurkio reikšmės K213 sankryžoje rudenį (Sudaryta autoriaus).

3.2 Kelių transporto priemonių sukeltos taršos mieste metodikos tobulinimas atsižvelgiant į Vilniaus miesto statistinius duomenis

Šiame skyriuje yra skaičiuojama tarša minėtose sankryžose vasaros ir rudens pasirinktomis savaitėmis. Taršos skaičiavimas vykdomas kiekvienai, t. y. sankryžai K213 ir sankryžai K255 atskirai. Skaičiavimai vykdomi esant skirtingiems eismo intensyvumams sankryžoje (pirminis skaičiavimas) bei esant modifikuotai eismo srauto sudėčiai, kada hibridinių T.P. dalis bendrame sraute yra 20 % (antrinis skaičiavimas).

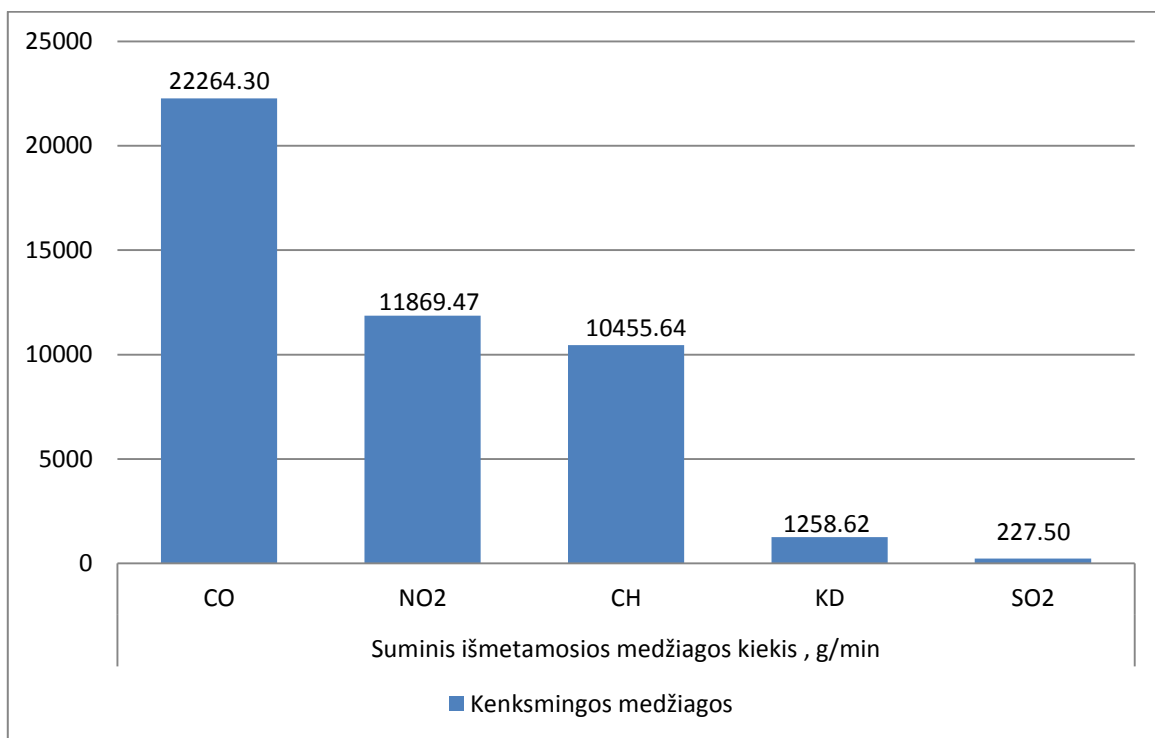
Tarša minėtose sankryžose skaičiuojama 2 etapais. Pirmasis etapas, tai privažiavimas iki sankryžos. Šio etapo metu, net ir hibridinei automobiliui teršia aplinką, tačiau hibridinių transporto priemonių išmetimai ženkliai mažesni. Antrojo etapo taršos skaičiavimas sankryžose (transporto priemonės stovi prie draudžiamo šviesoforo signalo). Tolesnis taršos skaičiavimas vyksta pildant atitinkamas lenteles kiekvienai judėjimo kryptiai sankryžoje. Skaičiavimo rezultatai pateikiami toliau.

Tarša sankryžoje K255



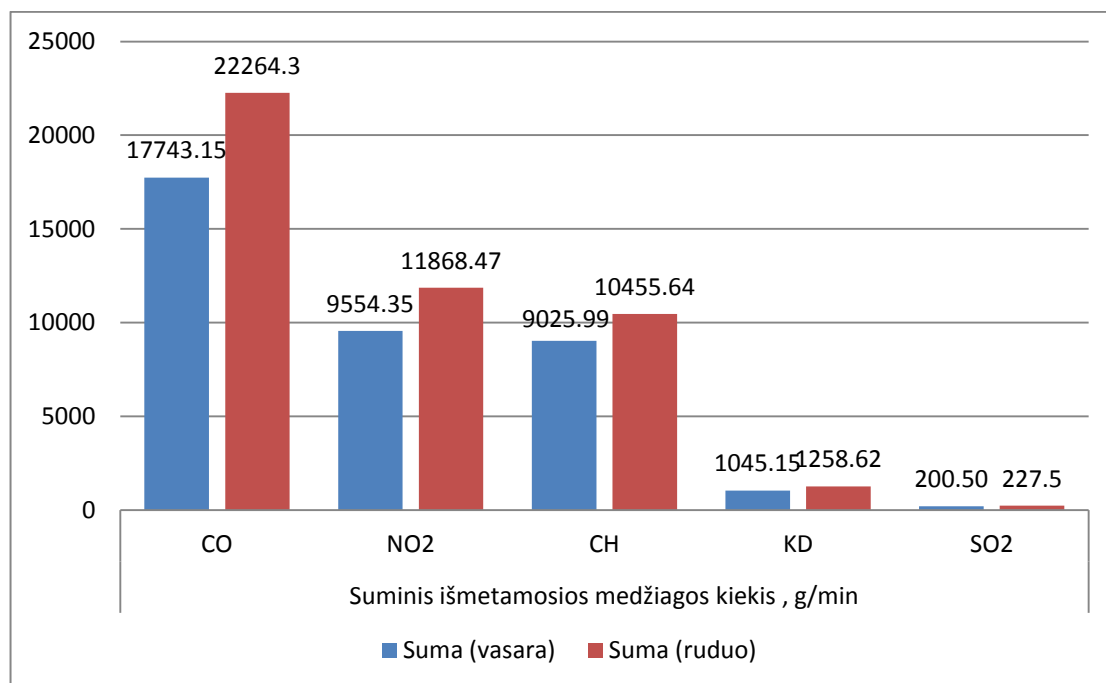
4.1 pav. K255 sankryžos tarša mažiausiu intensyviu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

Iš 4.1 pav. matyti, kad CO teršalų išmetimai yra didžiausi, o SO₂ mažiausi ir atitinkamai lygūs 17743,15 g/min ir 200,50 g/min. Norint ištirti taršos priklausomybę nuo eismo intensyvumo skaičiuojama tarša sankryžoje K255, kada eismas intensyviausias, rezultatai pateikiami 4.2 pav.



4.2 pav. K255 sankryžos tarša intensyviausiu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

Iš 4.2 pav. matyti, kad CO teršalų išmetalai yra didžiausi, o SO₂ mažiausi ir atitinkamai lygūs 22264,30 g/min ir 227,50 g/min. Taršos sankryžoje K255 palyginimas pateikiamas 4.3 pav.



4.3 pav. K255 sankryžos taršos palyginimas (Sudaryta autoriaus).

K255 sankryžos taršos rezultatų palyginimas

Bendras K255 sankryžos apkrovimas liepos 9 dieną buvo 74 093 transporto priemonės, o rudenį spalio 8 dieną – 80 231 transporto priemonė. Srauto prieaugis sudarė 8,28 %. Sankryžos tarša rudenį buvo 25,48 % didesnė CO teršalų, 24,22 % didesnė NO₂ teršalų, 15,84 % didesnė CH teršalų, 20,42 % kietųjų dalelių (KD) ir 13,47 % didesnė SO₂ teršalų.

3.3 K255 sankryžos taršos rezultatų statistinis apdorojimas

Tiesinė regresija ir koreliacija

Regresijos modelis – tai statistinis modelis, leidžiantis vieno kintamojo reikšmės prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmės. Regresinė analizė – tai statistiniai modeliai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti, ar jis tinkamas, ir taikyti prognozėms. Norint sudaryti regresijos modelį reikia:

- tikrinti ryšio stiprumą;
- įvertinti nežinomus regresijos modelio parametrus;
- įvertinti, ar pasirinktas modelis yra suderintas su duomenimis.

Tiesinio ryšio stiprumo matas yra koreliacijos koeficientas r_{xy} :

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x \cdot S_y}; \quad (3.1)$$

čia: $\overline{xy}$ – kintamųjų sandaugos vidurkis; S_x ir S_y – kintamųjų dispersijos.

Vidutiniai standartiniai nuokrypiai yra skaičiuojami:

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \overline{(x^2)} - (\bar{x})^2 \quad (3.2)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \overline{(y^2)} - (\bar{y})^2 \quad (3.3)$$

Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė pateikiama 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė (Jankevičienė, G. 2014).

Labai stipri	Stipri	Vidutinė	Silpna	Labai silpna	Nėra ryšio
-1	-1 iki -0,7	-0,7 iki -0,5	-0,5 iki -0,2	-0,2 iki 0	0
1	1 iki 0,7	0,7 iki 0,5	0,5 iki 0,2	0,2 iki 0	0

Sudaroma lentelė koreliacijos koeficiento skaičiavimams

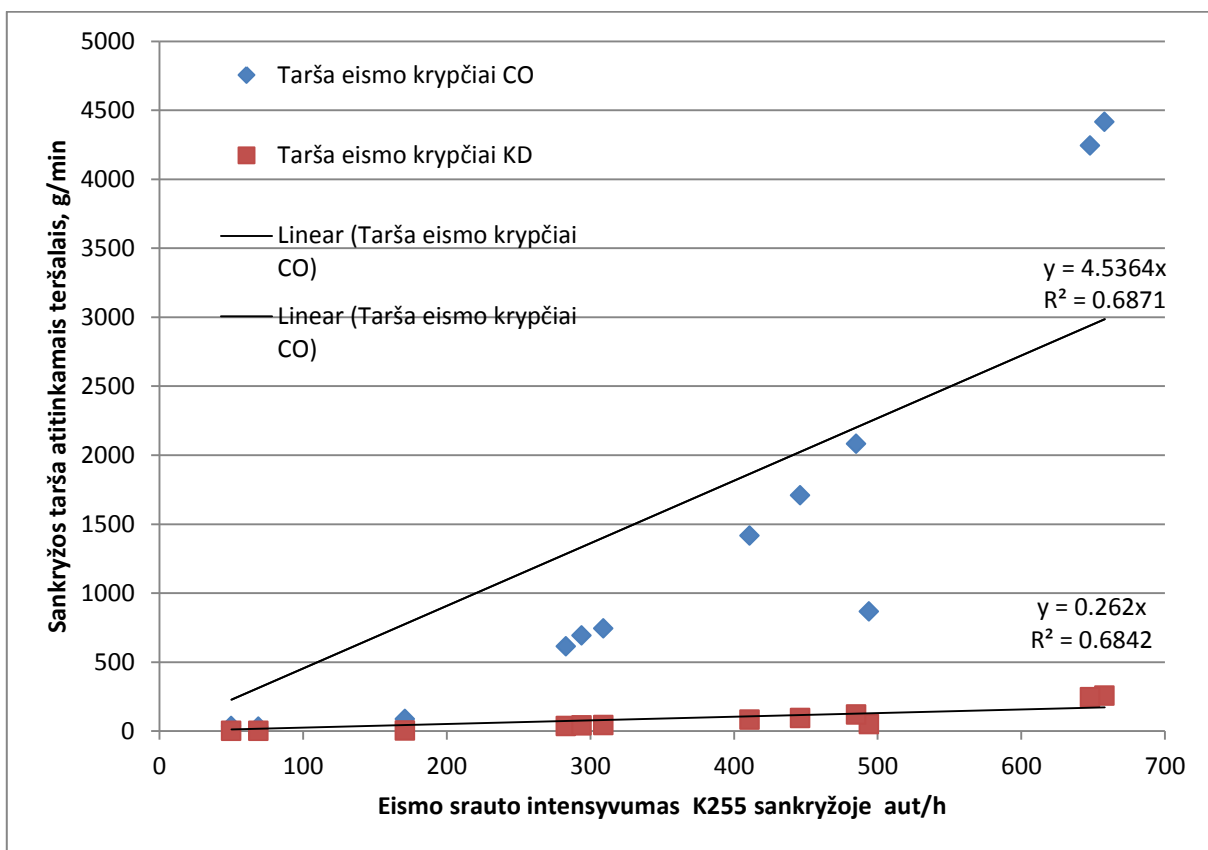
4.2 lentelė. Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys (Sudaryta autoriaus).

Eismo kryptis sankryžoje	Intensyvumas eismo krypčiai (x), aut/h	Tarša eismo krypčiai CO (y), g/min	Tarša eismo krypčiai KD (y), g/min
D1	658	4416	256,08
D2	648	4245	246,196
D3	411	1416	82,117
D4	171	88	5,131
D5	494	866	50,224
D6	69	32	1,857
D7	283	614	35,644
D8	485	2083	120,794
D9	446	1710	94,202
D10	294	693	40,213
D11	50	36	2,111
D12	309	745	43,236

Pagal sudarytą lentelę apskaičiuojami koreliacijos koeficientai $r_{xy}(\text{CO})$ ir $r_{xy}(\text{KD})$:

$$r_{xy}(\text{CO})=0,889;$$

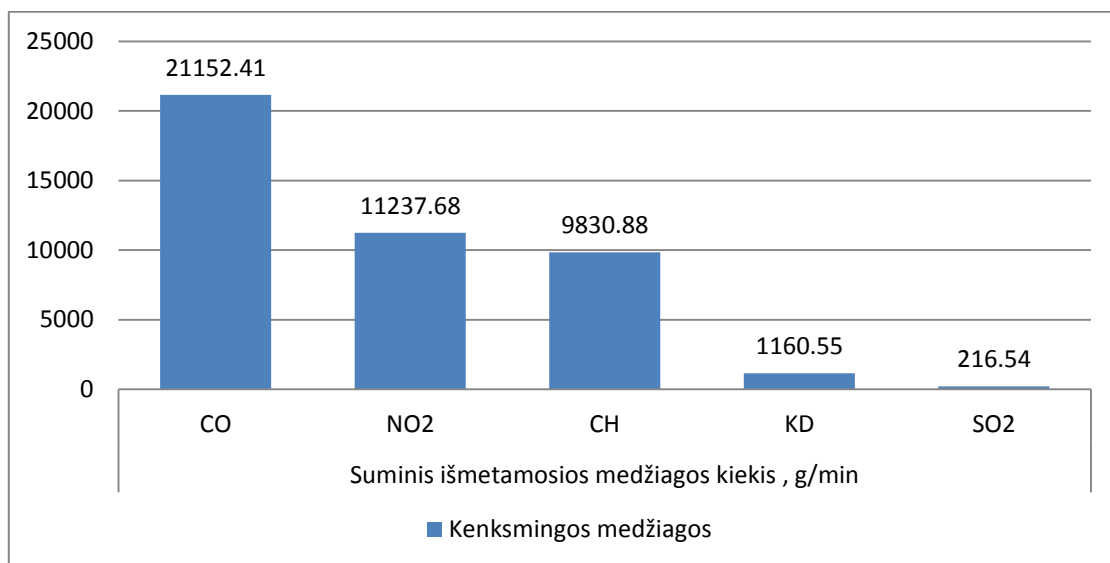
$r_{xy}(\text{KD})=0,888$ abiem atvejais ryšys tarp kintamųjų yra stiprus ir didėjant eismo intensyvumui sankryžoje atitinkamai didėja ir tarša sankryžoje. Skaičiavimai atlikti „Excell“ programa ir pateikiami prieduose. Pagal gautus duomenis išvedamos regresijos lygtys CO ir KD teršalų priklausomybei nuo eismo srauto intensyvumo. Gautos priklausomybės pateikiamos 4.4 pav. CO teršalų priklausomybė yra tiesinė ir lygi - $y_{CO} = 6,676x - 990,27$ o KD teršalų priklausomybės lygtis - $y_{KD} = 0,3862x - 57,469$.



4.4 pav. Koreliacijos regresinės priklausomybės (Sudaryta autoriaus).

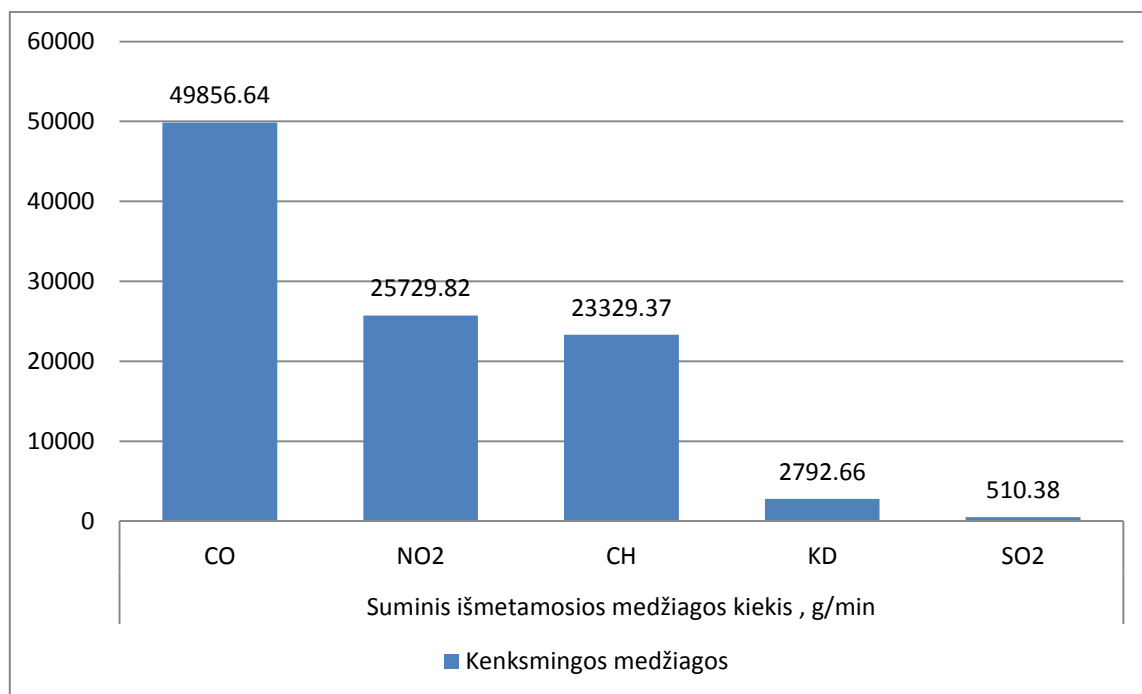
Tarša K213 sankryžoje

Tarša šioje sankryžoje skaičiuojama tuo pačiu principu kaip ir sankryžoje K255 tik šioje sankryžoje eismas vyksta 23 kryptimis. Tarša tiriama taip pat vasaros ir rudens dienomis. Ši sankryža yra pati intensyviausia visame Vilniuje vieno lygio sankirta. Kadangi skaičiavimai analogiškai pateikiami tik taršos rezultatai.



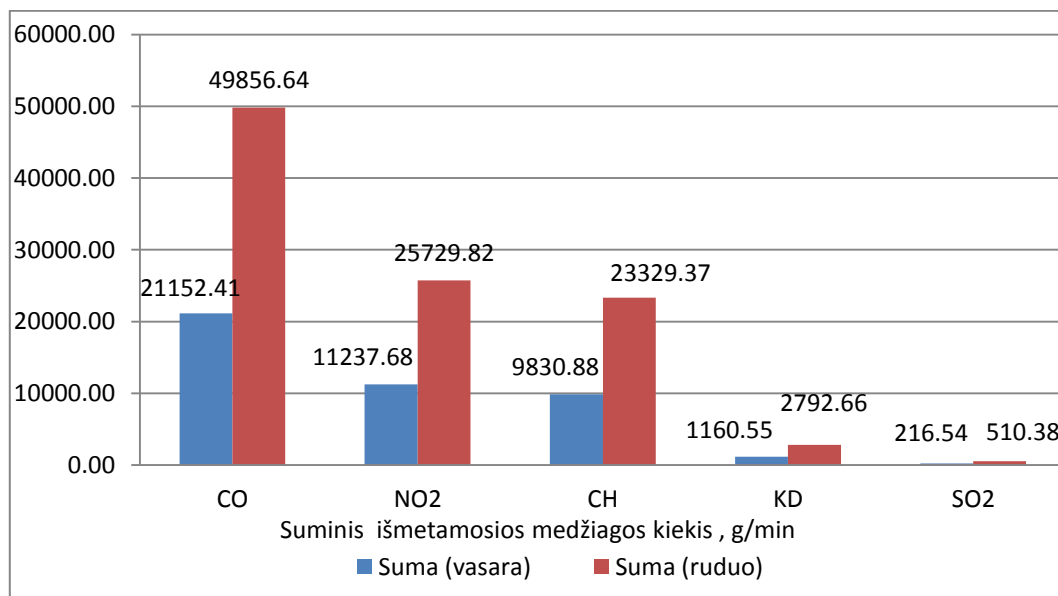
4.5 pav. K213 sankryžos tarša mažiausiu intensyviu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

Iš 4.5 pav. matyti, kad CO teršalo išmetimai yra didžiausi, o SO₂ mažiausi ir atitinkamai lygūs 21252,41 g/min ir 216,54 g/min. Norint ištirti taršos priklausomybę nuo eismo intensyvumo skaičiuojama tarša K213 sankryžoje, kada eismas intensyviausias, rezultatai pateikiami 4.6 pav.



4.6 pav. K213 sankryžos tarša intensyviausiu laikotarpiu (Sudaryta autoriaus).

Iš 4.6 pav. matyti, kad CO teršalų išmetalai yra didžiausi, o SO₂ mažiausi ir atitinkamai lygūs 49856,64 g/min ir 510,38 g/min. Taršos K255 sankryžoje lyginimas pateikiamas 4.7 pav.



4.7 pav. K213 sankryžos taršos palyginimas (Sudaryta autoriaus).

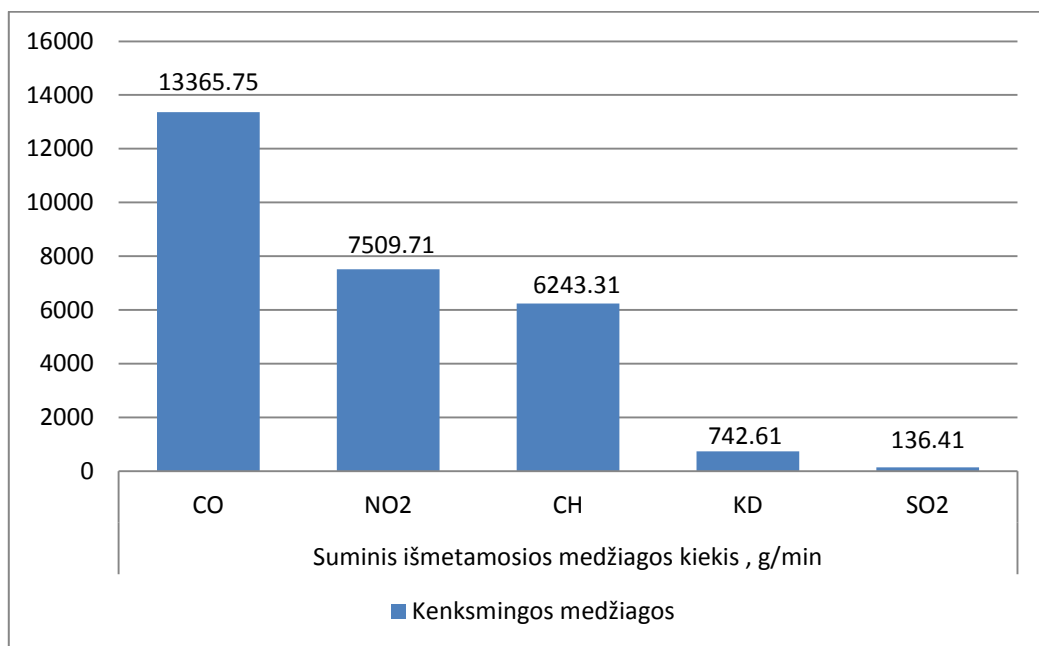
Sankryžos taršos rezultatų palyginimas

Bendras K213 sankryžos apkrovimas liepos 9 dieną buvo 106891 transporto priemonės, o rudenį spalio 8 dieną 150726 transporto priemonės. Srauto prieaugis sudarė 41 %. Sankryžos tarša rudenį buvo 135,70 % didesnė CO teršalų, 128,96 % didesnė NO₂ teršalų, 137,30 % didesnė CH teršalų, 140,63 % kietųjų dalelių (KD) ir 135,69 % didesnė SO₂ teršalų.

3.4 Antrinis skaičiavimas (optimistinio eismo srauto sudėties modelio sudarymas)

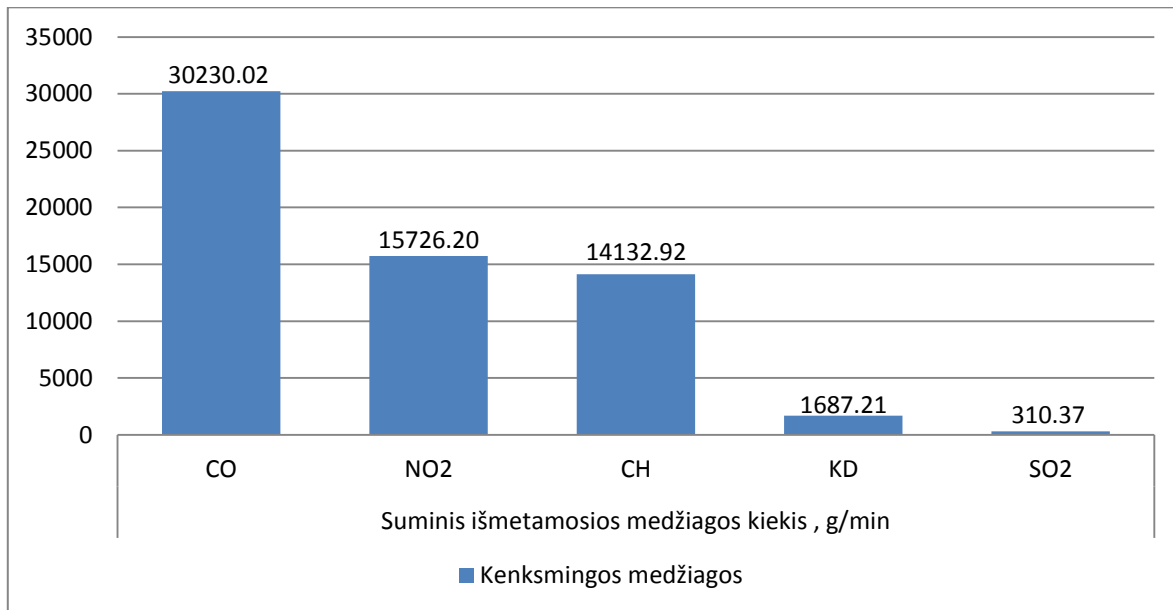
Antrinis skaičiavimas, eismo srauto sudėties keitimas (optimistinė hibridinių T.P. dalis bendrame eismo sraute yra 20 %). Tarša sankryžose bus skaičiuojama tik intensyviausiu laikotarpiu, t. y. rudenį. Atlikus skaičiavimus taip pat bus atliekamas statistinis kintamųjų priklausomybės skaičiavimas.

K255 sankryžos tarša rudenį, kada 20 % srauto sudaro hibridinės T.P. pateikiama 4.8 pav.



4.8 pav. K255 sankryžos tarša intensyviausiu periodu, kada hibridinių automobilių dalis yra 20 % viso srauto sudėties (Sudaryta autoriaus).

Tokie patys pakeitimai atliekami ir K213 sankryžoje ir gauti rezultatai pateikiami 4.9 pav.



4.9 pav. K213 sankryžos tarša intensyviausiu periodu, kada hibridinių automobilių dalis yra 20 % viso srauto sudėties (Sudaryta autoriaus).

K255 ir K213 sankryžų taršos rezultatų palyginimas

Bendras K255 sankryžos apkrovimas spalio 8 dieną – 80231 transporto priemonė. Srauto sudėtyje pakeitus hibridinių T.P. dalį (nuo 4 % iki 20 %) tarša K255 sankryžoje atitinkamai pasikeitė. Sankryžos tarša pakeitus srauto sudėtį buvo 39,97 % mažesnė CO teršalų, 38,42 % mažesnė NO₂ teršalų, 40,29 % mažesnė CH teršalų, 40,99 % kietųjų dalelių (KD) ir 40,04 % mažesnė SO₂ teršalų.

Bendras K213 sankryžos apkrovimas spalio 8 dieną – 150726 transporto priemonės. Srauto sudėtyje pakeitus hibridinių T.P. dalį (nuo 4 % iki 20 %) tarša K213 sankryžoje atitinkamai pasikeitė. Sankryžos tarša pakeitus srauto sudėtį buvo 39,36 % mažesnė CO teršalų, 38,88 % mažesnė NO₂ teršalų, 39,40 % mažesnė CH teršalų, 39,58 % kietųjų dalelių (KD) ir 39,19 % mažesnė SO₂ teršalų.

3.5 Kintamųjų priklausomybės skaičiavimas

Šiuo atveju taip pat vertinama tik viena sankryža, nes koreliacinis ryšys panašus skiriasi tik regresinės lygties kintamųjų reikšmės. Sudaroma 4.3 lentelė koreliacijos įvertinimui.

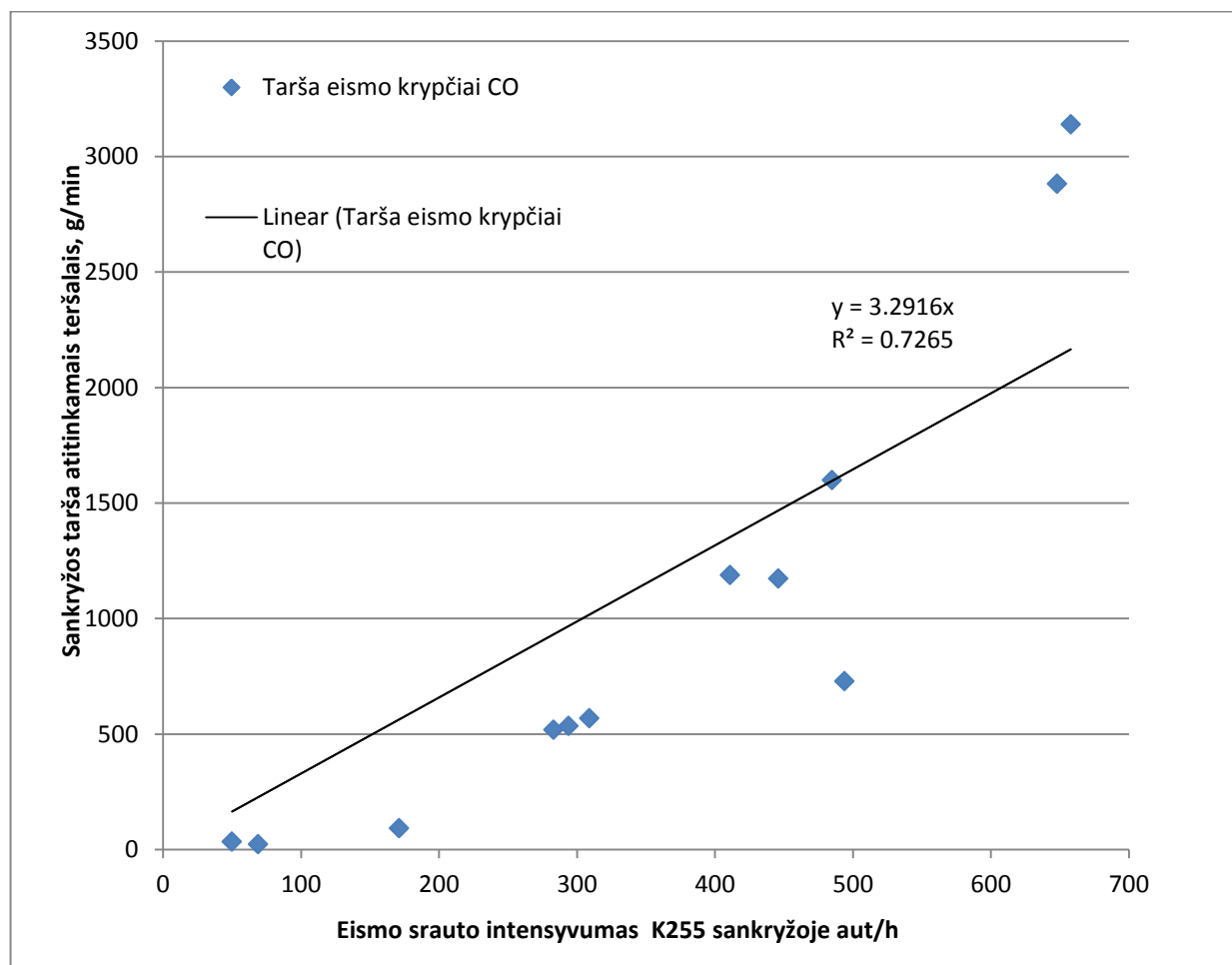
4.3 lentelė. Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys (sudėtis 20 % hibridinės T.P.) (Sudaryta autoriaus).

Eismo kryptis sankryžoje	Intensyvumas eismo kryptčiai (x), aut/h	Tarša eismo kryptčiai CO (y), g/min
D1	658	3138,529
D2	648	2881,299
D3	411	1188,378
D4	171	92,564
D5	494	728,477
D6	69	22,333
D7	283	518,880
D8	485	1599,562
D9	446	1172,466
D10	294	535,455
D11	50	33,360
D12	309	568,474

Sudaroma lentelė tolesniems skaičiavimams, kaip ir pirminio skaičiavimo atveju vertinami teršalai yra CO. Paprastumo dėlei vertinama K255 sankryžos koreliacinis ryšys, nes sankryža turi mažiau eismo krypčių. Sudaroma 4.3 lentelė koreliacijos įvertinimui.

Pagal sudarytą lentelę apskaičiuojamas koreliacijos koeficientas $r_{xy}(\text{CO})$:

$$r_{xy}(\text{CO})=0,905;$$

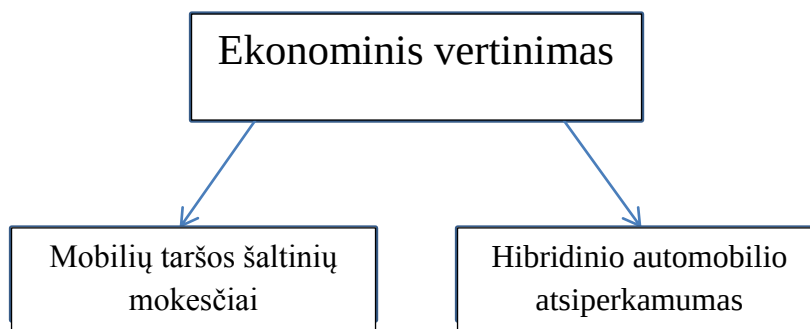


4.10 pav. Koreliacijos regresinė priklausomybė (Sudaryta autoriaus).

Ryšys tarp kintamųjų yra stiprus ir netgi sustiprėjo pakeitus srauto sudėtį. Pagal gautus duomenis išvedama regresijos lygtis CO teršalų priklausomybei nuo eismo srauto intensyvumo. Gauta priklausomybė pateikiama 4.10 pav. CO teršalų priklausomybė yra tiesinė ir lygi – $y_{CO} = 4,6942x - 649,13$

3.6 Patobulintos metodikos vertinimas ekonominiu ir pritaikomumo požiūriu

Šiame darbe taršos skaičiavimo metodika buvo tobulinta įvedant naują transporto priemonių kategoriją bei panaudojant realius duomenis konkrečioje zonoje (šiuo atveju 2 – jose Vilniaus miesto sankryžose).



4.11 pav. Patobulintos metodikos ekonominio vertinimo aspektai (sudaryta autoriaus).

Siekiant įvertinti kokį ekonominį efektą gali suteikti taršos skaičiavimo ir vertinimo metodikos patobulinimai, ekonominis vertinimas atliekamas dviem aspektais (žr. 4.11 pav.).

3.6.1 Mobilių taršos šaltinių išmetimų ekonominis vertinimas

Vertinant patobulintos metodikos ekonominę naudą atliekamas šiuo metu taikomos metodikos ir siūlomos patobulintos metodikos lyginimas. Lyginamajai analizei atlikti sudaromos tokios prielaidos:

1. Prielaida. Srauto sudėties mokestis už taršą pagal degalų rūšį pasiskirsto sekančiai:
 - benzinas – 7 Eur/t;
 - dyzelinas – 8 Eur/t;
 - suskystintos naftos dujos – 7 Eur/t;
 - suslėgtos gamtinės dujos – 6 Eur/t.
2. Prielaida. Mokesčio už aplinkos teršimą iš mobilių taršos šaltinių tarifai, atsižvelgiant į taršos šaltinio technines savybes, yra koreguojami (mažinami ar didinami) taikant Vyriausybės arba jos įgaliotų institucijų nustatytus koeficientus:
 - benzinas – 1,5;
 - dyzelinas – 6;
 - suskystintos naftos dujos – 1,5;
 - suslėgtos gamtinės dujos – 1,5.

3. Prielaida. Mokesčiai už taršą formuojami atsižvelgiant į konkrečius taršos kiekius apskaičiuojamus panaudojant patobulintą metodiką, kurie siūlomi taip:

- CO – 76 Eur/t;
- NO_x – 198 Eur/t;
- CH – 114 Eur/t;
- KD – 85 Eur/t;
- SO_x – 175 Eur/t.

Taip remiantis sudarytomis prielaidomis ir taikant siūlomą metodiką ekonominę naudą galime pasiekti tiksliai vertindami taršos mastą, t. y. mokėti reiktų ne už deklaruojamą sunaudotą degalų kiekį, tačiau už realią taršą, kurią sugeneruoja naudojamos transporto priemonės. Be to šiuo metu naudojama metodika dar yra ir labai nepatogi dėl naudojamų koeficientų. Taigi galima teigti, kad siūloma metodika turėtų pranašumą, nes mokesčius mobilių taršos šaltinių savininkai mokėtų, o įgalios institucijos surinktų pagal aktualius duomenis, t.y. tiesiogiai generuojamą taršą.

3.6.2 Hibridinės transporto priemonės ekonominis vertinimas

Pirkėjas pirkdamas automobilį dažniausiai atsižvelgia ne tik į jo kainą, tačiau ir į automobilio išlaikymo kaštus. Būtent brangus VDV automobilių išlaikymas (didelė degalų kaina, kiti eksploataciniai kaštai) yra vienas didžiausių jų trūkumų hibridinių automobilių atžvilgiu. Todėl prie tam tikros nuvažiuotos ridos bus pasiektas VDV ir hibridinio automobilio naudojimosi kaštų susilyginimas (hibrido atsiperkamumas). Toliau ir yra vertinamas hibridinės transporto priemonės atsiperkamumas skirtingomis sąlygomis.

VDV ir hibridinio automobilio naudojimo kaštai

Šioje dalyje lyginami VDV ir hibridinio automobilio naudojimosi kaštai penkerių metų laikotarpyje vidutiniam Lietuvos vairuotojui, t. y. nuvažiuojančiam 14,5 tūkst. km per metus. Lyginimui pasirinkti du identiški automobiliai „Toyota Auris“, iš kurių vienas yra hibridas.

Automobilio atsiperkamumo laikotarpio skaičiavimas:

$$HK + 0,65 \cdot x + \frac{x}{100} \cdot HDK = VK + 0,65 \cdot x + \frac{x}{100} \cdot VDK; \quad (3.4)$$

čia: *HK* – hibridinio automobilio įsigijimo kaina;

HDK – hibridinio automobilio degalų kaštai;

x – rida, kuriai esant hibrido įsigijimas nėra nuostolingas;

VK – automobilio su VDV įsigijimo kaina;

VDK – automobilio su VDV degalų kaštai.

$$18120 + 0,65 \cdot x + \frac{x}{100} \cdot 3,92 = 15830 + 0,65 \cdot x + \frac{x}{100} \cdot 8,61;$$

$x = 48\,827$ km. arba 3 metai ir 4 mėnesiai

4.4 lentelė. Hibridinio automobilio ir jam analogiško VDV turinčio automobilio įsigijimo bei išlaikymo kaštai (sudaryta autoriaus).

Prielaidos		VDV „Toyota Auris“	HEV „Toyota Auris Hybrid“	Šaltinis
1.	Įsigijimo kaina, Eur	15 830	18 120	„Toyota“ atstovas
2.	T.P. nuvertėjimas per 5 m., iki 75 000 km. ridos	63 %	63 %	LR „Kelių transporto priemonių vertės nustatymo tvarka“ (2000)
3.	T.P. nuvertėjimas per 5 m., iki 200 000 km. ridos	72 %	72 %	LR „Kelių transporto priemonių vertės nustatymo tvarka“ (2000)
4.	Eksplotacinis periodas	5 metai	5 metai	Autoriaus prielaida
5.	Degalų suvartojimas l/100 km.	7,9	3,6	Techninės specifikacijos
6.	Degalų kaina, Eur.	1,09	1,09	Statoil, 2016 gegužės 16.
7.	Degalų kaštai, Eur/100 km.	8,61	3,92	Autoriaus skaičiavimai
8.	Aptarnavimas (privalomas), Eur/100 km.	0,65	0,65	„Toyota“ atstovas

Pirmuoju atveju, 5 metų laikotarpiu nagrinėjamas vidutinis automobilio naudotojas vidutiniškai per metus nuvažiuojantis 14500 km (arba apie 40 km per dieną). Tokiam vartotojui, hibridinio automobilio atsiperkamumo laikotarpis yra 3 metai ir 4 mėnesiai arba 48 827 km ridos po hibridinio automobilio įsigijimo. Naudojimo kaštai sudaryti iš TP įsigijimo kaštų (įsigijimo kainos ir likutinės vertės po nuvertėjimo skirtumas), išlaidų degalams bei kitų eksploatacinių kaštų (privalomajam techniniam aptarnavimui, metinėms draudimo įmokoms).

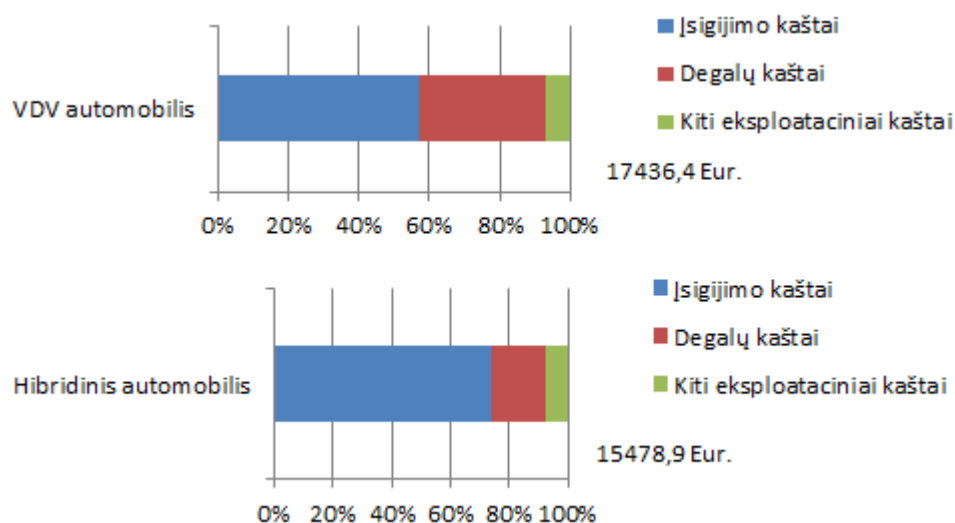
4.5 lentelė. VDV naudojimo kaštai, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).

Įsigijimo kaštai	Degalų kaštai	Kiti eksploataciniai kaštai	Suma
$15830 \cdot 0,63$	$72500/100 \cdot \text{VDK}$	$72500/100 \cdot 0,65 + 750$	17 436,4 Eur.
57,2 %	35,8 %	7 %	100 %

4.6 lentelė. Hibridinio automobilio naudojimo kaštai, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).

Įsigijimo kaštai	Degalų kaštai	Kiti eksploataciniai kaštai	Suma
$18120 \cdot 0,63$	$72500/100 \cdot \text{HDK}$	$72500/100 \cdot 0,65 + 750$	15 478,9 Eur.
73,7 %	18,4 %	7,9 %	100 %

Per 5 metus hibridinio automobilio naudotojo kaštai būtų 1957, 5 eur. mažesni nei naudojant VDV turintį automobilį. Automobilių kaštų palyginimas pateikiamas 4.12 pav.



4.12 pav. Automobilių kaštų palyginimas, kada metinė rida 14 500 km. (Sudaryta autoriaus).

Antruoju atveju, 5 metų laikotarpiu nagrinėjamas vidutinis automobilio naudotojas vidutiniškai per metus nuvažiuojantis 34000 km (arba apie 93 km per dieną). Tokiam vartotojui, hibridinio automobilio atsiperkamumo laikotarpis yra 1 metai ir 5 mėnesiai arba 48 827 km ridos po hibridinio automobilio įsigijimo.

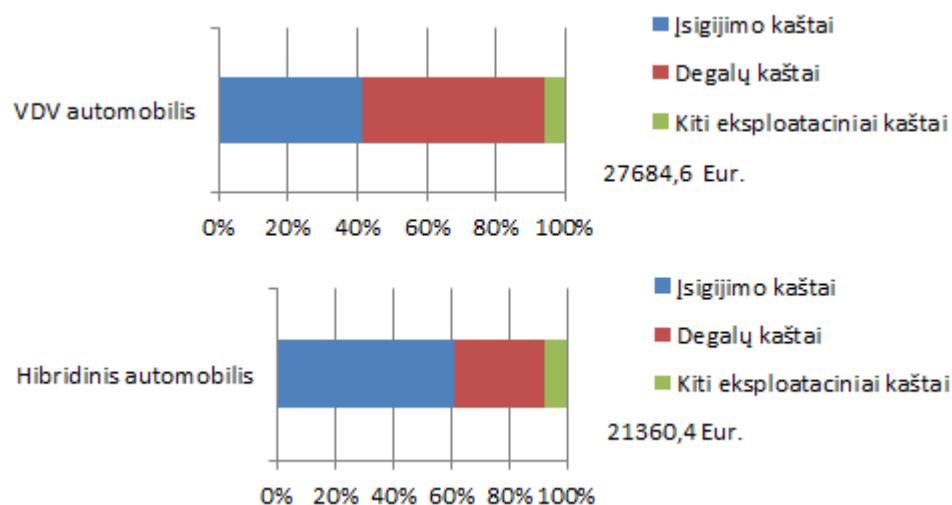
4.7 lentelė. VDV naudojimo kaštai, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).

Įsigijimo kaštai	Degalų kaštai	Kiti eksploataciniai kaštai	Suma
$15830 \cdot 0,72$	$170000/100 \cdot \text{VDK}$	$170000/100 \cdot 0,65 + 545$	27684,6 Eur.
41,2 %	52,9 %	5,9 %	100 %

4.8 lentelė. Hibridinio automobilio naudojimo kaštai, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).

Įsigijimo kaštai	Degalų kaštai	Kiti eksploataciniai kaštai	Suma
$18120 \cdot 0,63$	$170000/100 \cdot \text{HDK}$	$170000/100 \cdot 0,65 + 545$	21 360,4 Eur.
61,1 %	31,2 %	7,7 %	100 %

Per 5 metus hibridinio automobilio naudotojo kaštai būtų 6324,2 eur. mažesni nei naudojant VDV turintį automobilį. Automobilių kaštų palyginimas pateikiamas 1.2 pav.



4.13 pav. Automobilių kaštų palyginimas, kada metinė rida 34 000 km. (Sudaryta autoriaus).

3.6.3 Techninės problemos patobulintos metodikos efektyvumui užtikrinti

Visi hibridinių automobilių gamintojai susiduria su tam tikrais iššūkiais. Pagrindinės problemos, kurioms hibridinių automobilių gamintojai skiria daugiausia dėmesio yra:

- transporto priemonės įkrovimo reguliavimas (jei automobilis plug-in tipo);
- galios paskirstymas, kada automobilis eksploatuojamas;
- baterijų nusidėvėjimo trukmės mažinimas, kitaip jų ilgaamžiškumo didinimas.

Būtent šių problemų sprendimas ir yra didžiausias sunkumas hibridinių transporto priemonių gamintojams. Siekiant sukurti ekonomiškiausią hibridinio automobilio gamybos algoritmą būtina visas šias minėtas problemas spręsti integraliai.

Didžiausia įkraunamo hibridinio automobilio problema yra ta, kad baterijos generuojamos energijos dažnai nepakanka visam kelionės atstumui. Tad automobilį tenka krauti mieste. Automobiliui įkrauti galima panaudoti ilgąją krovimo fazę arba greitąjį įkrovimą. Šio tipo hibridinės transporto priemonės gali keisti automobilio krovimo galimybes atsižvelgiant net į elektros gavybos kainą, priklausomai nuo linijinio ar dinaminio krovimo fazės programavimo. Keičiant krovimo programavimo ciklo fazes galima gauti optimalų santykį tarp automobilio baterijos krovimo trukmės ir krovimo išlaidų.

Baterijos nusidėvėjimo trukmės sumažinimas

Baterijos nusidėvėjimas yra neišvengiamas procesas eksploatuojant hibridinį automobilį, tad jos kaina ir susidėvėjimo trukmė labai domina vartotojus. Siekiant nustatyti baterijos kokybės lygį eksploatuojant automobilį taikomi, taip vadinami pusiau empiriniai senėjimo modeliai. Šie modeliai nėra išsamiai ištirti, o jų pagrindinė idėja – yra baterijos kokybės, laikui bėgant, matavimas, panaudojant neapibrėžtą dinaminį programavimą. Reikia paminėti, kad baterijos susidėvėjimo trukmė taip pat tiesiogiai priklauso ir nuo jos įkrovimo sąlygų.

Šiuo metu standartizuoti keturi skirtingi įkrovimo metodai (angl. *mode*). Atitinkamiems krovimo standartams yra pritaikomi skirtingi kištukai, kurie yra keturių skirtingų tipų. Krovimo standartams, kuriuose naudojama didesnė įtampa ir perduodama didesnė galia, yra pritaikomi kištukai su papildoma apsauga. Taip pat įvairūs hibridų modeliai palaiko skirtingo tipo kištukus. Šiuo metu Lietuvoje dauguma įkrovimo stotelių naudoja 3 metodo 2 tipą. Pateikiama 5.1 lentelė naudojamiems krovimo metodams iliustruoti.

Galios paskirstymas hibridinio automobilio eksploatavimo metu

Hibridinė transporto priemonė naudoja vidaus degimo ir elektros variklį. Šių dviejų elementų ryšys ir duoda hibridinio automobilio naudą degalų ekonomijai ir taršos sumažinimui. Siekiant kuo geresnio efektyvumo tarp jėgainių, jų veikimą reguliuoja specialios kompiuterinės programos, dirbančios pagal realiomis sąlygomis formuojamus algoritmus.

5.1 lentelė. Šiuo metu naudojami krovimo metodai hibridinėms transporto priemonėms įkrauti (Hu, X.; *et al.* 2016).

1 metodas	2 metodas	3 metodas	4 metodas
Įprastas elektros lizdas tiekiantis 230V įtampą. Laikas, per kurį būtų įkrauta 24 kWh baterija yra 7 – 8 h. Šis metodas nereikalauja jokios papildomos infrastruktūros.	Įprastas 230 V įtampos elektros lizdas su papildoma apsauga nuo elektrošoko. Toks krovimo tipas reikalauja didesnių investicijų dėl papildomų apsaugos priemonių.	Greito krovimo metodas, dažnai su specialiu elektros kištuku bei papildoma apsauga. Šis metodas leidžia naudoti didesnės galios krovimą (11 kW arba 22 kW), taip sutrumpindamas krovimo laiką iki 1 – 2 h (skaičiuojant 24 kWh baterijai).	Tiesioginės srovės (DC) krovimo metodas, leidžiantis pasiekti 50 kW galią ir taip sutrumpinantis krovimo laiką iki mažiau nei 30 min (naudojant 24 kWh bateriją).

Iš esmės naudojamos kompiuterinės programos greitis bei įmanomų funkcijų gausa ir atspindi automobilio gamybos išlaidose (Hu, X. *et al.* 2016).

3.6.4 Hibridinio automobilio ir jam identiško įprastinio automobilio teorinis palyginimas

Nors šiuo metu Europoje, taip pat ir visame likusiame pasaulyje, kilo skandalų, susijusių su deklaruojamais transporto priemonių taršos rodikliais („Dyzelgeitas“, „Mitsubishi“ problemos), tačiau laboratoriniai tyrimai yra vienintelis būdas nustatyti naujos, dar neeksploatuotos transporto priemonės rodiklius.

Kiekvienas automobilis, nuriudėjęs nuo gamybos konvejerio ir paruoštas pardavimui, turi vadinamąjį transporto priemonės atitikties sertifikatą. Šis dokumentas yra laikomas transporto priemonės kilmės dokumentu. Iš jo galima nustatyti automobilio gamintoją, transporto priemonei identifikuoti būtinus žymenis bei kitus techninius automobilio rodiklius. Atitikties sertifikatas taip pat nurodo, kokiai rinkai skirta transporto priemonė ir ar ji atitinka administracines nuostatas jos registravimui tam tikroje šalyje. Taigi siekiant palyginti visiškai vienodus automobilius, iš kurių vienas yra hibridinis, atliekama jų atitikties sertifikatų COC analizė.

Analizei pasirinktos transporto priemonės yra „Toyota Auris“, viena jų – hibridinis automobilis (žr. 3 priedą – įprastinis „Toyota Auris“ ir 4 priedą – hibridinis „Toyota Auris“).

Gamintojo pateikiami rodikliai gali būti suskirstyti į tokias grupes: pagrindiniai matmenys, masės, jėgainė, kėbulas, aplinkosaugos rodikliai. Didžiausi skirtumai yra lyginant automobilių jėgaines,

hibridas naudoja kombinuotą energiją, o įprastinis „Auris“ benzininį vidaus degimo variklį. Dėl šių priežasčių skiriasi vidaus degimo variklių darbiniai tūriai, generuojama galia bei automobilių masės.

Automobilių matmenys ir kėbulo rodikliai yra identiški. Bene didžiausi aplinkosaugos rodiklių skirtumai. Hibridinis automobilis teoriškai turėtų suvartoti beveik perpus mažiau degalų už benzininį „Toyota Auris“. Taip pat išmetamas CO₂ kiekis bei NO_x teršalai turėtų būti mažesni iki 55 %. Taigi nors ir realiomis sąlygomis aplinkosaugos rodikliai gali būti didesni, tačiau skirtumas tarp hibridinio ir benzininio „Toyota Auris“ išliktų ženklus.

Gamintojo deklaruojamų duomenų pagrindu sudaroma lentelė, kurioje pozicijos skiltyje, numeris iš gamintojo COC (žr. 5.2 lentelę). Galima paminėti, kad įprastinio „Auris“ kaina prasideda nuo 15 830 eurų, o hibridinio – nuo 18 120 eurų.

3.6.5 Hibridinių transporto priemonių degalų ekonomijos privalumai

Dažniausiai siekiant palyginti įprastinį vidaus degimo variklį turinčio automobilio ir hibridinio automobilio degalų suvartojimą aprašoma konkreti situacija ar atliktas tyrimas šia tema. Vienas paskutiniųjų tyrimų degalų ekonomijos tema buvo atliktas 2015 metais Bankoke. Siriorn Pitanuwat ir Angkee Sripagorn aiškiai apibrėžė tyrimo sąlygas. Tyrimo vietovė buvo suskirstyta į tris zonas:

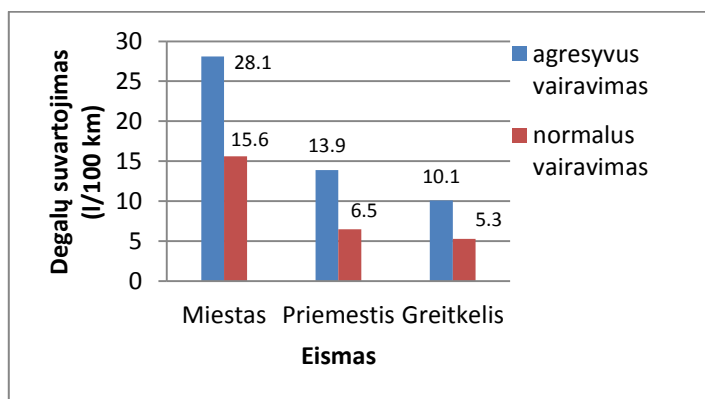
- * miesto teritorija;
- * priemiesčio zona;
- * greitkelis.

Taip pat siekiant įvertinti vairavimo kultūros bei įgūdžių svarbą, tyrimui pasirinkti du vairuotojai. Vienas jų vairuos agresyviau, kitas normaliuoju režimu. Eksperimentui parinkti beveik identiški automobiliai. Hibridinė transporto priemonė 2014 metais pagamintas „Toyota Prius“, o įprastas automobilis „Toyota Corolla Altis“. Šių abiejų automobilių variklių darbinis tūris yra 1789 cm³. Automobilių matmenys identiški, svorio skirtumui įvertinami į Corolla Altis įmontavus, svorio skirtumą kompensuojantį, krovinį. Tyrimo rezultatai pateikiami 5.1,5.2,5.3 paveiksluose.

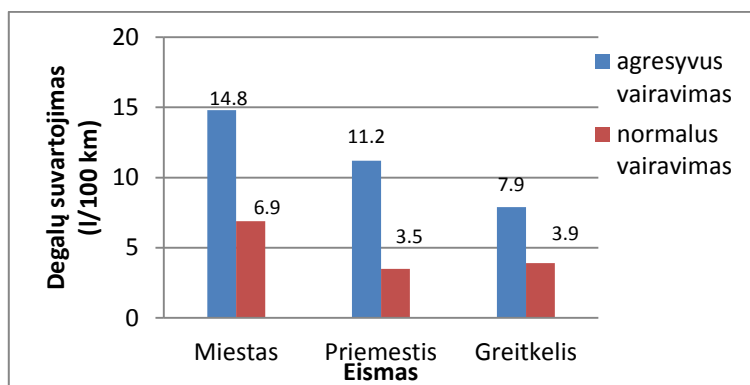
5.2 lentelė. Gamintojo deklaruojamų rodiklių lyginamoji analizė tarp įprastinio „Toyota Auris“ ir „Toyota Auris Hybrid“ (Sudaryta autoriaus).

Pozicija COC	Rodiklis	Įprastinis „Auris“	„Auris Hybrid“
0.2	Tipas	E15UT(a)	HE15U(a)
0.4	Transporto priemonės kategorija	M1	M1
5	Transporto priemonės ilgis, mm	4330	4330
13	Nuosava masė, kg	1265	1385
16	Didžiausia leidžiama masė, kg	1805	1815
25	Variklio darbinis tūris, cm ³	1598	1798
26	Degalų rūšis	Benzinas	Benzinas
27	Maksimali galia, kW	VDV 97 Elek. -	VDV 73 Elek. 60; 17,7*
29	Maksimalus greitis, km/h	200	180
38	Kėbulo tipas	AF- daugiatikslis	AF- daugiatikslis
40	Spalva	Pilka	Raudona
47	Išmetamos taršos lygis	Euro 6	Euro 6
48	Paskutinis dokumentas patvirtinantis atitikimą nustatytoms taršos normoms	EC 715/2007 EC 2015/45W	EC 715/2007 EC 2015/45W
1 tipo testas teršalams	CO, mg/km NO _x , mg/km	382 9,1	182,3 5,8
49	CO₂ išmetimai, g/km		
	Mieste	181	82
	Užmiestyje	113	81
	Mišrus	138	82
	Degalų suvartojimas, l/100 km		
	Mieste	7,9	3,5
	Užmiestyje	4,8	3,5
	Mišrus	5,9	3,6

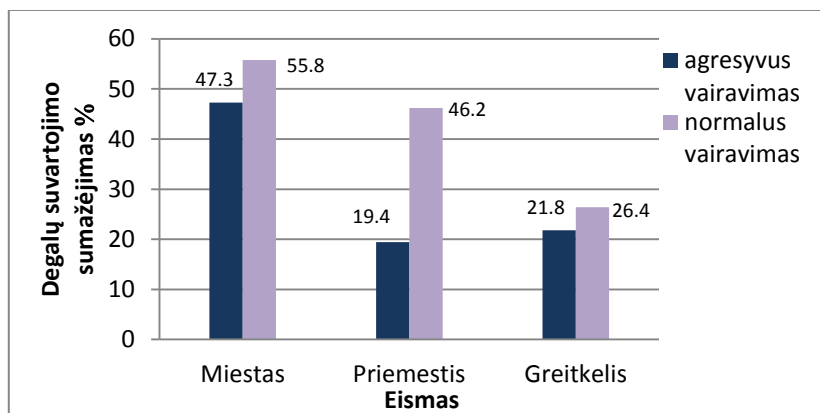
*Elektrinio variklio generuojama naudingoji galia



5.1 pav. Degalų suvartojimas važiuojant įprastiniu automobiliu skirtingomis eismo sąlygomis ir vairavimo režimais (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).



5.2 pav. Degalų suvartojimas važiuojant hibridiniu automobiliu skirtingomis eismo sąlygomis ir vairavimo režimais (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).



5.3 pav. Degalų suvartojimo palyginimas tarp hibridinio automobilio ir įprastinio automobilio esant vienodoms tyrimo ir aplinkos sąlygoms (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).

Minėtame pavyzdyje matyti, kad hibridinės transporto priemonės padeda sutaupyti degalų visomis eismo sąlygomis ir važiavimo stiliais. Didžiausias degalų suvartojimo sumažėjimas pasiektas važiuojant miesto sąlygomis normaliuoju režimu – beveik 56 %, mažiau priemestėje – 46 %, mažiausiai greitkelyje – 26 %. Šio tyrimo metu pastebėta tendencija, kad agresyvus vairavimas ženkliai padidina degalų sąnaudas įprastam automobiliui – beveik 200 %, tiek hibridiniui automobiliui – beveik 100 %, tad agresyvaus vairavimo reiktų vengti. Lyginant agresyvaus vairavimo metu abiejų tipų automobilius, hibridinių transporto priemonių pranašumas beveik nepasireiškia, nes agresyvus vairavimas yra nesuderinamas su degalų ekonomija, o hibridinių automobilių technologijos nėra pritaikytos šiam vairavimo stiliui (Pitanuwat, S. Sripakagorn, A. 2015).

3.6.6 Hibridinio automobilio ir dyzeliniais degalais varomo automobilio degalų suvartojimo palyginimas realiomis sąlygomis

Kaip ir bet kurios analizės atveju atliekant tam tikrą lyginimą pasitelkiamas tam tikras tyrimas ar eksperimentas. Ne išimtis ir ši situacija. Siekiant išsiaiškinti kaip skiriasi hibridinių automobilių degalų suvartojimas nuo dyzeliniais degalais varomų automobilių Kanadoje buvo atliktas tyrimas. S.A.H. Zahabi ir kiti mokslininkai nustatė kokiomis sąlygomis hibridinis automobilis turi pranašumą prieš dyzeliniais degalais varomą automobilį. Atlikus eksperimentą minėti mokslininkai pateikė tokias išvadas.

Eksperimente analizė atliekama pasitelkiant įvairius vairavimo sąlygų faktorius, tokius kaip: važiavimo greitis, eismo sąlygos (miestas, užmiestis), aplinkos temperatūra, aplinkos temperatūros pokytis, ekologiškas vairavimas. Nustatant faktorių reikšmę degalų sąnaudoms eksperimentas vykdomas realiomis sąlygomis, ilgalaikiais periodais.

Didžiausias hibridinių automobilių pranašumas pasireiškė važiuojant mieste ir nedideliais greičiais. Kitas svarbus faktorius, kaip paaiškėjo yra aplinkos temperatūra. Šio faktoriaus įtaka ženkliai didesnė hibridinėms transporto priemonėms. Eksperimento rezultatai parodė, kad hibridai turi didesnę pranašumą pavasarį, kuomet jų baterijos dirba optimaliausiu režimu (Zahabi, S.A. H.; et al. 2014). Hibridinėms transporto priemonėms ypač sudėtingas žiemos sezonas. Lyginant su pavasariu degalų suvartojimas žiemą hibridams išauga iki 27 %.

Kalbant apie ekologišką vairavimą didelio skirtumo transporto priemonių degalų sąnaudų nepastebėta. Tiek hibridai tiek dyzelinu varomi automobiliai vairuojant ekologiškai suvartoja mažiau degalų. Eismo sąlygos, bei automobilio tipas taip pat ženkliai keičia degalų suvartojimą. Mieste

hibridiniai sedanai sunaudoja iki 28 % mažiau degalų už dyzelinu varomus sedanus. Dar vienas didesnis minusas hibridiniams automobiliams, tai jų reakcija į aplinkos temperatūros pokytį. Temperatūrai pakitus 8 °C degalų suvartojimas pakinta iki 3 %, kada dyzeliniams automobiliams – tik iki 1 %. Taigi hibridiniai automobiliai yra ekonomiškesni net ir realiomis sąlygomis, tačiau jų ekonomiškumas kinta kartu su eismo sąlygų faktoriais (Zahabi, S.A. H.; et al. 2014).

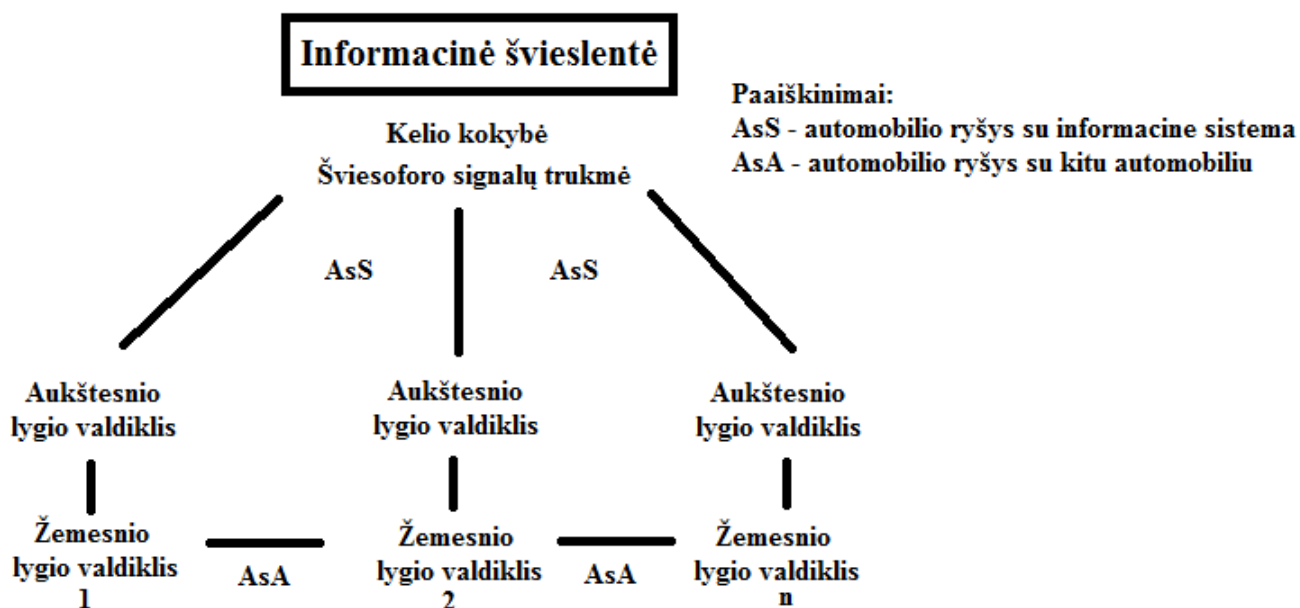
3.6.7 Hibridinio automobilio degalų suvartojimo efektyvumo didinimas

Egzistuoja strategija hibridiniams automobiliams dar labiau sumažinti suvartojamą degalų kiekį, o taip pat ir sumažinti taršą. Minėtoje strategijoje teigiama, kad norint pasiekti šiuos tikslus reikia:

- sumažinti tuščiosios eigos trukmę automobiliui stovint prie raudono šviesoforo signalo;
- pagerinti eismo valdymo sistemų ir hibridinio automobilio tiesioginį ryšį;
- esant galimybei, eismo srauto valdymo sistemas, reguliuoti eismo srautą išskaidant.

Ši strategija yra išskirtinė tuo, kad norimų tikslų pasiekti padeda hierarchinė kontrolė (HomChaudhuri, B.; et al. 2016). Esant šiai kontrolės rūšiai vykdoma aukštesnio, bei žemesnio lygių kontrolė. Taip hierarchinė kontrolė padeda sumažinti hibridinių automobilių degalų suvartojimą, o kartu gerina transporto sistemos mieste mobilumą, bei mažina CO₂ emisijas.

Kaip jau minėta ši strategija naudoja 2 lygių kontrolės valdiklius. Šiuo atveju kontrolė yra decentralizuota, tai yra reikalinga, kad kiekvienas automobilis autonomiškai galėtų vertinti eismo sąlygas naudojant tik vietinę informaciją. Aukštesnio lygio valdiklis generuoja hibridinio automobilio greitį, taip sumažindamas traukos energijos suvartojimą ir bandydamas sumažinti raudono šviesoforo signalo poveikį. Taip pat išsaugodamas eismo sistemos mobilumą ir efektyvų judėjimą (HomChaudhuri, B.; et al. 2016). Kiekvienas žemesnio lygio valdiklis naudoja aukštesnio valdiklio perduodamus signalus ir taip parenka optimaliausią strategiją hibridinio automobilio galios santykio panaudojimui. Bendra hierarchinė kontrolės schema pateikta 5.4. pav.



5.4 pav. Hierarchinė kontrolės schema (Sudaryta autoriaus).

Ši metodika gali būti naudojama visiškai autonominėms transporto priemonėms arba pusiau autonominėms ar kaip pagalbos vairuotojui sistema. Žinoma vairuotojas privalėtų laikytis aukštesnio kontrolės lygio valdiklio nurodymų. Iš esmės šios strategijos trūkumas yra akivaizdus – vairuotojas privalo laikytis sistemos nurodymų, tai dažnai yra nepatikima (HomChaudhuri, B.; et al. 2016).

3.6.8 Energijos hibridiniame automobilyje valdymas pasitelkiant eismo stebėjimo sistemas

Sumažinti taršą miestuose galima ir gerinant infrastruktūrą. Vienas iš siūlymų infrastruktūros tobulinimui būtų tiesioginio ryšio tarp vairuotojų informavimo sistemos ir automobilio programinės įrangos tobulinimas. Hibridinės transporto priemonės yra stipriai pranašesnės prieš įprastinius automobilius savo programinės įrangos valdymo galimybėmis. Taip efektyvus ryšys hibridinėms transporto priemonėms leistų dar labiau padidinti degalų ekonomiją ir sumažinti oro taršą miestuose.

Energijos valdymo strategija yra pagrindinė tyrimų tema hibridiniams automobiliams, nes tai tiesiogiai nulemia hibridinių automobilių degalų sąnaudas. Dažniausiai energijos valdymo strategijos būna sutapatinamos su optimalaus automobilio valdymo strategijomis ir šis požiūris tam tikrais atvejais yra tinkamas, tačiau dažniau šių strategijų tapatinti negalima (Zheng, C.; et al. 2015). To priežastys yra fiksuoti hibridinio automobilio važiavimo ciklai, taip pat kintančios eismo sąlygos bei vairuotojo elgsena. Dėl šių priežasčių šiuo metu efektyviausia energijos valdymo strategija yra būsimos kelionės

automobiliu prognozavimas. T. y. eismo sąlygų stebėseną, optimalaus maršruto pasirinkimas, teisingų vairavimo įgūdžių naudojimas. Kelionės prognozavimas dažniausiai atliekamas 2 pagrindinėmis priemonėmis:

- remiantis ankstesne vairavimo informacija;
- remiantis realiais telemetriniais duomenimis, panaudojant globalinę padėties nustatymo sistemą (GPS).

Kalbant apie sprendimus energijos valdymo strategijai pagerinti šiuo metu labiausiai tobulinama stop–start funkcija. Norima, kad ši funkcija automatiškai stabdytų variklį pasiekus kelionės tikslą, bei greičiau paleistų variklį po sustabdymo. Kitas sprendimas, tiesiogiai susijęs su minėta stop–start funkcija, yra stabdymo energijos panaudojimas baterijoms krauti. Siekiama, kad šių sistemų tarpusavio ryšys užtikrintų optimalų energijos valdymą hibridiniame automobilyje. Šių sistemų integracijai Kim TS, Manzie C, Watson H. (2015) siūlo panaudoti jau minėtus realius telemetrinius duomenis. Taip hibridinio automobilio energijos valdymo strategija gali būti efektyviausia taikant minėtas technines sistemas bei panaudojant programinę įrangą, kuri perduoda automobiliui realius telemetrinius duomenis (Zheng, C.; *et al.* 2015).

3.6.9 Transporto politikos reikšmė hibridinių automobilių populiarinimui

Oro būklė miestuose gali būti pagerinama ne tik taikant pažangesnes transporto priemones, pvz., hibridinę transporto priemonės, bet ir formuojant atitinkamą transporto politiką. Europoje transporto politiką formuoja Europos Sąjungos ir Europos Komisijos leidžiami reglamentai bei direktyvos. Pagrindinis dokumentas, kuriame pateikiami aktualiausi pasiūlymai transporto klausimais, yra transporto politikos 2011 metų Baltoji knyga.

2011 metų Baltosios knygos vizija

Pagrindinis planinis rodiklis yra išmetamųjų teršalų sumažinimas 60 %. Šiam tikslui pasiekti keliama prioritetai:

- naudoti mažiau energijos;
- naudoti švaresnę energiją;
- skatinti darnius judumo įpročius, ypač mieste.

Planinio rodiklio pasiekimui siūlomos tokios priemonės:

- naujų tvarių degalų rūšių ir varymo sistemų kūrimas ir naudojimas;

- daugiarūšio vežimo logistikos grandinių veiklos optimizavimas, įskaitant platesnį efektyviau išteklius naudojančio transporto rūšių naudojimą;
- transporto ir infrastruktūros naudojimo efektyvumo didinimas taikant informacines sistemas ir rinkos paskatas.

Didžiausias išsikeltas iššūkis iki 2030 metų dvigubai sumažinti įprastiniais degalais varomų automobilių naudojimą miestuose ir iki 2050 pasiekti, kad miestuose jų nebeliktų.

Norint pabrėžti kokio sudėtingumo yra oro kokybės miestuose problema galima paminėti, kad pasak Chaaban (2008) išlaidos taršos problemoms spręsti gali sudaryti iki 2 % BVP išsivysčiusioje šalyje ir iki 5 % besivystančioje. Šio reiškinio dydis viršija problemas dėl klimato kaitos ar ozono sluoksnio plonėjimo, nes žmonių sveikatos problemos šiuo metu tampa aktualesnės. Vienas iš transporto politikos taikymo pavyzdžių galėtų būti Libano transporto politikos scenarijų formavimas. Siekiant nustatyti priimtinausią transporto politiką, padėsiančią sumažinti taršą šalyje sudarytos 4 strategijos (Irani, A.; Chalak, A. 2015):

- 1 strategija – Ir įprastiniams ir hibridiniams automobiliams taikyti tuos pačius maito mokesčius bei akcizo degalams tarifus, supažindinti su hibridinių transporto priemonių priežiūros išlaidomis, tačiau išskirtinai neakcentuoti jų degalų ekonomijos;
- 2 strategija – 1 strategija papildyta išskirtiniu akcentavimu apie hibridinių automobilių degalų ekonomiją;
- 3 strategija – Hibridinių automobilių savininkai atleidžiami nuo maito mokesčių bei akcizo degalams 3 metus, stipriai akcentuojamas hibridų ekonomiškumas;
- 4 strategija – Hibridinių automobilio savininkams suteikiama 50 % dydžio lengvata anksčiau minėtiems mokesčiams, be to tokio paties dydžio nuolaida registracijos mokesčiams, taip pat pabrėžiamas hibridų ekonomiškumas.

Politikos formavimui buvo sudaryta anketinė apklausa, kurios rezultatai pateikti 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Tikimybinis transporto politikos strategijos pasirinkimas (Irani, A.; Chalak, A. 2015).

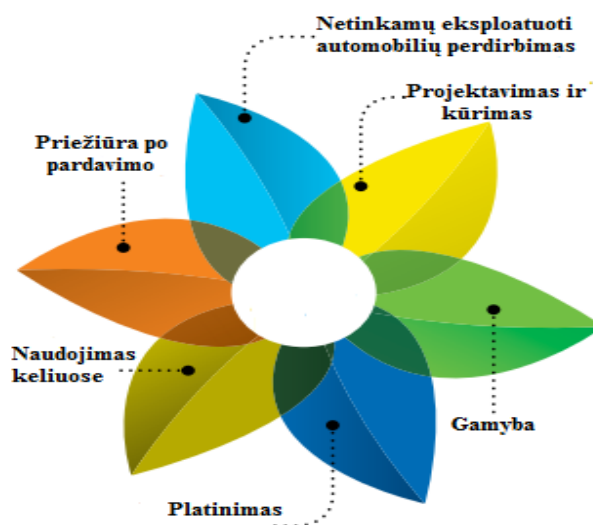
	1 strategija	2 strategija	3 strategija	4 strategija
Hibridinio automobilio įsigijimo tikimybė	(42,8 – 48,2)	(63,5 – 69,4)	(77,5 – 82,5)	(72,8 – 78,2)
	45,5	66,4	80	75,6
Degalų suvartojimo sumažėjimas, %	17,3	25,5	30,9	29,1
Degalų suvartojimo sumažėjimas, l/aut./m	291,3	422	520,2	484,9
CO₂ emisijos sumažėjimas, %	11,5	16,8	20,5	19,2
CO₂ emisijos sumažėjimas, t/aut./m	0,39	0,57	0,7	0,66

5.3 lentelės pabaiga

Išlaidos įsigyjant hibridinį automobilį, \$/aut./m	3270	4546	-5100	282
Degalų ekonomijos santaupos, \$/aut./m	320	464	572	533
Nenuostolingumas, m	10,2	9,8	-	0,5

3.6.10 Automobilių gamintojų taikoma aplinkosauginė politika

Puikiu pavyzdžiu, kaip reikia kurti švarias aplinkai transporto priemones, galėtų būti „Toyota“ automobilių gamintojas. Šio gamintojo ekologiškos transporto priemonės yra vienos iš pirmaujančių pasaulyje, o be nekenksmingų aplinkai automobilių bendrovė diegia ir pažangius sprendimus visuose automobilio gyvavimo ciklo etapuose (žr. 5.6 pav.).



5.5 pav. Automobilio gyvavimo ciklas („Toyota“ informacinis leidinys 2011).

Pagrindinės „Toyota“ bendrovės „žalios“ idėjos

Žalingų medžiagų vengimas

Švinas, gyvsidabris, kadmio ir šešiavalentis chromas yra sunkieji metalai, kurie, jei užkasami neapdoroti, sukelia ilgalaikės žalos aplinkai. Dabar „Toyota“ automobiliuose šių sunkiųjų metalų nėra. Pavyzdžiui, įmonė naudoja automobilių detales ir dangą nuo rūdžių be švino, o apšvietimo sistemose ir jungikliuose nėra jokio gyvsidabrio. „Toyota“ taip pat vengia žalingų medžiagų tirpaluose ir įvairių rūšių dažuose.

Pakartotinis detalių naudojimas ir perdirbimas

Automobilio naudojimo metu būtina keisti akumuliatorius, padangas ir alyvos filtrus, todėl „Toyota“ sukūrė atliekų surinkimo sistemą, kai panaudotos detalės surenkamos iš Europos atstovybių ir gabenamos perdirbti. Iki 95 % akumuliatorių yra perdirbama ir pakartotinai panaudojama. Taip pat remontuojamos tvirtesnės detalės. Perdirbtas detales dabar sudaro oro kondicionavimo kompresoriai, vairo kolonėlės, cilindų galvutės, starteriai, automatinės transmisijos, kintamosios srovės generatoriai, varikliai ir sankabos komplektai.

Automobilių surinkimo punktai

Baigus naudotis „Toyota“ ar „Lexus“ automobiliu, jį paprasčiausiai galima pristatyti į „Toyota“ nebenaudojamų automobilių punktą. Tokie surinkimo punktai įrengti 30 Europos šalių.

Kitokios medžiagos

Automobiliuose dažnai naudojama sunkiai perdirbama plastmasė. Todėl „Toyota“ sukūrė specialią perdirbamą plastmasę – „Toyota Super Olefin“ polimerą arba „TSOP“, kuris gali būti naudojamas automobilių buferių ir kitų dalių, kurias būtų įmanoma perdirbti ne vieną kartą, gamybai. Dauguma automobilių dabar gaminami naudojant patobulintą geriau perdirbamą „TSOP“. Nuo 2010 m. „Toyota“ vidinei apdailai ir paviršiams taip pat naudoja „bio-PET“ – naują ekologišką plastmasę, pagamintą iš augalinės kilmės medžiagos.

Beto Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija taip pat prisideda prie aplinkosaugos politikos formavimo. Viena iš ministerijos globojamų sričių yra panaudotų medžiagų utilizavimas. Ministerijos puslapyje skelbiamas įmonių kurios turi licenciją atlikti automobilių utilizavimo darbus sąrašas (<http://www.gia.lt/transporto-priemones/gyventojams/>).

3.6.11 Lengvatos ir draudimai kaip transporto politikos išraiška

Dar vienas transporto politikos pavyzdys galėtų būti įvairios lengvatos hibridinių transporto priemonių savininkams bei draudimai įprastiniams automobiliams. Lietuvoje hibridinių transporto priemonių savininkai turi lengvatinį automobilio statymą miesto centre. Taip pat galimybę važiuoti hibridiniu automobiliu, autobusams važiuoti skirtomis gatvių juostomis. Hibridai dar turi nedidelę lengvatą – didžiųjų prekybos centrų stovėjimo aikštelėse dažniausiai būna keletas vietų hibridinėms transporto priemonėms šalia įėjimo, patogiausioje vietoje.

Draudimais pasaulyje ribojamas labiausiai pažeidžiamų zonų eismas. Dažnai įprastiniams automobiliams tam tikrose zonose draudžiama patekti į teritoriją nustatytomis sąlygomis:

- nuolat, nes zonoje draudžiamas įprastinis transportas;
- lyginėmis savaitės dienomis ar atvirkščiai siekiant sumažinti taršą esant jos padidėjimui (tokia strategija taikoma Italijoje);
- draudžiama patekti automobiliams, kurių valstybiniai numeriai baigiasi lyginiu skaitmeniu ir atvirkščiai (kiek kitokia draudimo forma taršai sumažinti esant jos padidėjimui);
- didesni mokesčiai už patekimą į saugomus lankytinus objektus (toks draudimas galėtų būti taikomas patekimui į Kuršių Neriją);
- įvedant draudimus transporto priemonių amžiui jeigu jos skirtos keleiviams vežti.

3.6.12 Patobulintos kelių transporto priemonių sukeltos taršos skaičiavimo ir vertinimo metodikos SSGG analizė

5.4 lentelė. Patobulintos metodikos SSGG analizė (sudaryta autoriaus).

Stiprybės	Silpnybės
1. Adaptuota Vilniaus miesto sąlygomis taršos skaičiavimo metodika, leidžia užtikrinti rezultatų validumą bei atlikti prognozavimą kintant transporto srauto struktūrai. 2. Modelis atitinka optimalias kūrimo sąnaudas, jei vertinsime panašių programų kūrimo kaštus ir pritaikomumą konkrečiam regionui. 3. Ekologinių rodiklių vertinimas yra labai svarbus ES ilgalaikės perspektyvos tikslas jei kalba eina apie esamą transporto priemonių judumo užtikrinimą ir didinimą (ES Baltoji knyga). Ši metodika leidžia visiškai įvertinti taršos mastus nuo mobilių taršos šaltinių (transporto priemonių srautas) ir pagrįsti atskirų priemonių parinkimą judumo situacijai gerinti (pvz. A juostų įvedimas).	1. Siūloma metodika labai priklauso nuo tikslinių duomenų adekvatumo. Būtina užtikrinti tikslią automobilių srauto kalkuliaciją. Transporto srautą skaičiuojantys jutikliai turi veikti be sutrikimų. 2. Sunku įvertinti tikslią transporto srauto sudėtį, nes žinome, kad skirtingos transporto priemonės generuoja skirtingą taršą. 3. Hibridinių ir elektrinių transporto priemonių skaičius yra sunkiai prognozuojamas ir dažniausiai yra priklausomas nuo politinių sprendimų bei ekonominės šalies ir jos gyventojų situacijos, taip pat silpnai išvystytas ir ekologinis švietimas.

5.4 lentelės pabaiga

Galimybės	Grėsmės
1. Ši metodika leidžia formuoti atitinkamą valstybės politiką transporto priemonių hibridizacijos ir ekologiškumo srityse, nes leidžia pagrįsti ekologinį efektą ir leidžia prognozuoti jį, kintant (didėjant) šių transporto priemonių šalyje. 2. Lietuvoje iki šiol nebuvo nei vienos aprobuotos metodikos transporto srauto sukeliama taršai apskaičiuoti. Įdiegus minėtą metodiką būtų galima realiai įvertinti taršos vertę pinigine išraiška, per taršos mokesčius. 3. Parodomoji šios metodikos vertė yra ta, kad ji nesunkiai gali būti adaptuota ir kituose Lietuvos miestuose, kas leistų šalies mastu įvertinti neigiamą transporto įtaką šalies gyventojams (žinoma, kad transporto priemonių išmetamosiose dujose yra ne tik kancerogeninių, bet ir mutageninių ir kitų pavojingų junginių, kurie nulemia gyventojų sveikatą).	1. Šios metodikos įdiegimas nepaisant viso jos laukiamo efekto reikalauja pradinių diegimo lėšų. Tad finansavimo užtikrinimas yra labai svarbus aspektas įvertinus nelengvą valstybės ekonominę situaciją. 2. Politinės valios trūkumas yra taip pat reikšmingas grėsmės aspektas. Tad būtina nuolat pagrįsti šios metodikos stipriąsias puses ir laukiamą naudos efektą. Kitas būdas šio tipo grėsmei eliminuoti yra lobizmas, bet Lietuvos sąlygomis jis yra menkai išvystytas.

3.7 Trečiojo skyriaus išvados

1. Hibridinio automobilio ir jam analogiško automobilio įsigijimo kaina skiriasi 12,6 %. Tad įvertinus automobilių įsigijimo bei eksploatacijos kaštus galima teigti, kad hibridinis automobilis atsiperka po 48 827 km ridos. Per metus įveikiant 14 500 km šią ridą hibridas pasieks per 3 metus ir 4 mėnesius. Jei įveikiamas atstumas išaugtų iki 34 000 km per metus atsiperkamumo laikotarpis sutrumpėtų iki 1 metų ir 5 mėnesių.

4. Išvados ir pasiūlymai

1. Didėjantis hibridinių transporto priemonių skaičius pasaulio keliuose verčia skaičiuojant taršą miestuose įvertinti naują transporto priemonių kategoriją – hibridines transporto priemones.
2. Taršos Vilniaus gatvėse tyrimo metu nustatyta, kad tarp taršos tirtose sankryžose ir eismo intensyvumo jose egzistuoja stiprus koreliacinis ryšys $r_{xy}(\text{CO}) = 0,889$; $[0,7-1]$.
3. Teoriškai pakeitus tiriamų sankryžų eismo srauto sudėtį nuo 4 % iki 20 % srauto sudėties yra hibridinės transporto priemonės, tarša atitinkamai sumažėjo 39,97 % CO teršalų, 38,42 % NO₂ teršalų, 40,29 % CH teršalų, 40,99 % kietųjų dalelių (KD) ir 40,04 % SO₂ teršalų.
4. Automobilių gamintojų duomenimis hibridinis automobilis mieste suvartoja 65,7 % mažiau degalų už įprastinį automobilį, o kainos skirtumas juos įsigyjant sudaro 12,6 % („Toyota Auris“).
5. Siekiant pakeisti eismo srauto sudėtį Lietuvos keliuose reikia vykdyti ryžtingą transporto politiką, paremtą draudimais įprastinėms transporto priemonėms ir lengvatomis – hibridiniams automobiliams (mažesnis PVM mokestis įsigyjant hibridą).
6. Didinant hibridinių transporto priemonių skaičių reikia keisti ir eismo infrastruktūrą miestuose, pradedant nuo eismo valdymo sistemų ir hibridinių transporto priemonių komunikavimo ryšio stiprinimo.

Literatūra

- Affum, J. K.; *et al.* 2003. Integrating air pollution modelling with scenario testing in road transport planning: the TRAEMS approach, *The Science of the Total Environment* 312: 1–14.
- Aplinkos ministerijos interneto svetainė, [žiūrėta 2016 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.am.lt/VI/index.php#a/3618>.
- Basu, D.; Maitra, B. 2007. Valuing attributes of enhanced traffic information: an experience in Kolkata. *Journal of transport*. 22(3): 164–173.
- Buekers, J.; *et al.* 2014. Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries, *Transportation Research Part D* 33: 26–38.
- DeCicco, J.; Ross, M. 1996. Recent advances in automotive technology and the cost-effectiveness of fuel economy improvement, *Transp Res D* 1(2): 79–96.
- Gon, H. D.; *et al.* 2009. Lead emissions from road transport in Europe A revision of current estimates using various estimation methodologies, *Science of the Total Environment* 407: 5367–5372.
- HomChaudhuri, B.; *et al.* 2016. Hierarchical control strategies for energy management of connected hybrid electric vehicles in urban roads, *Transportation Research Part C* 62: 70–86.
- Hoogh, K. *et al.* 2014. Comparing land use regression and dispersion modelling to assess residential exposure to ambient air pollution for epidemiological studies, *Environment International* 73: 382–392.
- Hulsmann, F. *et al.* 2014. Modelling traffic and air pollution in an integrated approach – the case of Munich, *Urban climate*.
- Hu, X. *et al.* 2016. Charging, power management, and battery degradation mitigation in plug-in hybrid electric vehicles: A unified cost-optimal approach, *Mechanical Systems and Signal Processing*.
- Irani, A.; Chalak, A. 2015. Harnessing motorists' potential demand for hybrid-electric vehicles in Lebanon: Policy options, CO2 emissions reduction and welfare gains, *Transport Policy* 42: 144–155.
- Johnstone, N.; Karousakis, N. 1999. Economic incentives to reduce pollution from road transport: the case for vehicle characteristics taxes, *Transport Policy* 6: 99–108.
- Jakubauskas, G. 2011. *Baltosios knygos idėjų pristatymas*. [žiūrėta 2016 m. vasario 4 d.]. Prieiga per internetą: http://sumin.lrv.lt/uploads/sumin/documents/files/Veikla/Veiklos_sritys/Kita_veikla/Seminarai/Konferencija_baltoji_knyga/Jakubauskas-MotC-2011-05-18.pdf.
- Jankevičienė, G. 2014. *Tiesinė koreliacinė ir regresinė analizė*. [žiūrėta 2015 m. spalio 12 d.].pdf.

- Pitanuwat, S.; Sripakagorn, A. 2015. An Investigation of Fuel Economy Potential of Hybrid Vehicles under Real-World Driving Conditions in Bangkok, *Energy Procedia* 79: 1046–1053.
- Schindler, M.; Caruso, J. 2014. Urban compactness and the trade-off between air pollution emission and exposure: Lessons from a spatially explicit theoretical model, *Computers, Environment and Urban Systems* 45: 13–23.
- SĮ „Susisiekimo paslaugos“ duomenys.
- Toyota informacinis leidinys 2011.[žiūrėta: 2015 m. rugsėjo 16 d.]. Prieiga per internetą: http://www.autotoja.lt/toyota/site/files/Aplinkosauga/TOYOTA_ir_APLINKOSAUGA.pdf.
- VĮ „Regitra“ duomenys.[žiūrėta 2014 m. lapkričio 12 d.]. Prieiga per internetą: http://www.regitra.lt/lt/registrai/registru_duomenu_teikimas.
- Zahabi, A. H.; *et al.* 2014. Fuel economy of hybrid-electric versus conventional gasoline vehicles in real-world conditions: A case study of cold cities in Quebec, Canada, *Transportation Research Part D* 32: 184–192.
- Zheng, C.; *et al.* 2015. An energy management approach of hybrid vehicles using traffic preview information for energy saving, *Energy Conversion and Management* 105: 462–470.
- Лагереv, Р. Ю. 2011. *Экологические основы автомобильного транспорта: методические указания по выполнению практических и самостоятельных работ*. Зедгенизов А.В. Иркутск: ИрГТУ, 32;

Priedai:

Priedas Nr. 1 Taršos skaičiavimas;

Priedas Nr. 2 Statistiniai skaičiavimai;

Priedas Nr. 3 „Toyota Auris“ atitikties sertifikatas;

Priedas Nr. 4 „Toyota Auris Hybrid“ atitikties sertifikatas;

Priedas Nr. 5 Straipsnis;

Priedas Nr. 6 Darbų grafikas.