



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų vertinimas ir ilgalaikės prognozės Kauno mieste

Baigiamasis magistro projektas

Eglė Elksnytė

Projekto autorė

Prof. Kliučininkas Linas

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų vertinimas ir ilgalaikės prognozės Kauno mieste

Baigiamasis magistro projektas

Aplinkosaugos inžinerija (6211EX003)

Eglė Elksnytė

Projekto autorė

Prof. Kliučininkas Linas

Vadovas

Prof. Denafas Gintaras

Recenzentas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Eglė Elksnytė

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų vertinimas ir ilgalaikės prognozės Kauno mieste

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Eglė Elksnytė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Elksnytė, Eglė. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų vertinimas ir ilgalaikės prognozės Kauno mieste. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Kliučininkas Linas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypties grupė): Aplinkos inžinerija (E03), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: klimato neutralumas, miestų misija, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, Kauno miestas, prognozavimas

Kaunas, 2023. 64 p.

Santrauka

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų įvertinimas yra sudėtingas ir daug duomenų reikalaujantis procesas, nes nėra sudarytos bendros viso miesto emisijų inventoriaus sudarymo metodikos. Magistro baigiamojo darbo tikslas buvo atlikti ilgalaikį Kauno miesto šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimą ir įvertinus klimato kaitos mažinimo priemones sudaryti emisijų kaitos scenarijus. Literatūros apžvalgoje atlikta klimato kaitos ir neutralumo, miestų misijos, Lietuvos situacijos ir Kauno miesto sektorių mokslinės literatūros analizė ir vertinimas. Tyrimų metodikos dalyje aprašytas šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų inventoriaus sudarymas ir pateikti metodai jų kaitos prognozavimui iki 2050 metų sudaryti. Tyrimų rezultatų dalyje pateiktas Kauno miesto energetikos, transporto ir pramonės sektorių šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų esamos situacijos vertinimas ir prognozės rezultatai pagal tris scenarijus įvertinus pasirinktas klimato kaitos mažinimo priemones.

Tyrimo metu nustatyta, kad Kauno miesto gyventojų skaičius nuo 2019 metų išaugs 6,4 % ir iki 2050 metų išaugs apie 13 %. Prognozuojama, kad Kauno mieste 2050 metais gyvens 323153 gyventojai. Augimo tendencija matoma ir elektros energijos sektoriuje. Elektros suvartojimas nuo 2021 iki 2050 metų padidės nuo 150104 iki 223072 MWh ir emisijos padidės 25 %. Centrinio šildymo sektoriaus sąnaudų augimo greitis mažėja ir iki 2050 metų sumažės iki 1202290 MWh, bet emisijos išliks pakankamai didelės – 409187 t CO₂e. Transporto sektoriaus analizė rodo, kad, pagal kuro rūšį ir transporto priemonės tipą, Kauno mieste didžiausią dalį sudaro dyzelinu varomos transporto priemonės ir lengvieji automobiliai. Bendras transporto priemonių išmetamas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis kils nuo 1076105 t 2021 m. iki 1884845 t 2050 m. Įvertinus bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, didžiausią dalį 2050 m sudarys transporto sektorius – 67,3 %. Po to seka pramonė – 15,8 %, šildymas – 14,6 ir elektros energija – 2,3 %. Pagal sudarytus ilgalaikės prognozės scenarijus, matyti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos sumažės tik 30,3 % vidutinio ir 56,5 % optimistinio scenarijaus atveju. Išanalizuoti duomenys rodo, kad baigiamajame darbe priimtų klimato kaitos mažinimo priemonių nepakanka, kad Kauno miestas pasiektų klimato neutralumą iki 2050 metų.

Eglė Elksnytė. Assessment and Long-term Forecasting of Greenhouse gas Emissions in Kaunas city. Master's Final Degree Project / supervisor prof. Kliučininkas Linas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03), Engineering Sciences.

Keywords: climate neutrality, city mission, greenhouse gas emissions, Kaunas city, forecasting

Kaunas, 2023. 64 p.

Summary

Estimating greenhouse gases is a complex and data-intensive process, as there is no common methodology for compiling an urban emissions inventory. The aim of the master's thesis was to carry out a long-term projection of the greenhouse gas emissions of Kaunas city and to propose the most favorable scenarios for the development of the city. The literature review included an analysis and evaluation of scientific literature on climate change and neutrality, the city mission, the overall situation in Lithuania and the sectors of Kaunas city. The methodology part of the research describes the development of a greenhouse gas emissions inventory and presents methods for forecasting their change until 2050. The results section presents an assessment of the current situation of greenhouse gas emissions in the energy, transport and industry sectors of Kaunas city and the results of the forecasting under three scenarios, considering the selected climate change mitigation measures.

The study shows that the population of Kaunas city has grown by 6,4 % since 2019 and will grow around 13 % by 2050. It is projected that Kaunas will have 323153 inhabitants in 2050. The growth trend is also visible in the electricity sector. Electricity consumption between 2021 and 2050 will increase from 150104 to 223072 MWh and emissions will increase by 25 %. In the central heating sector, the rate of growth of consumption decreases to 1202290 MWh by 2050, but emissions remain relatively high at 409187 t CO₂e. The analysis of the transport sector shows that, by fuel type and vehicle type, diesel vehicles and passenger cars account for the largest share in Kaunas. The total greenhouse gas emissions from transport will rise from 1076105 t in 2021 to 1884845 t in 2050. In terms of total greenhouse gas emissions, the transport sector in 2050 will account for the largest share at 67,3 %. This is followed by industry at 15,8 %, heating at 14,6 % and electricity at 2,3 %. The long-term projection scenarios show that greenhouse gas emissions are reduced by only 30,3 % in the medium scenario and 56,5 % in the optimistic scenario compared to baseline scenario. The analysed data shows that the mitigation measures adopted in the thesis are not sufficient for Kaunas to reach climate neutrality by 2050.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūrinė analizė	11
1.1. Klimato kaita	11
1.2. Klimato neutralumas	11
1.2.1. Lietuva klimato neutralumo kontekste	12
1.2.2. Misija – 100 neutralių miestų	13
1.2.3. Miestai – atskaitos taškas	14
1.3. Poveikio klimatui vertinimo ir neutralizavimo priemonių analizė.....	15
1.3.1. Balti savivaldybė Moldovoje.....	16
1.3.2. Anglies dioksido neutralumo principas Suomijos miestuose.....	17
1.3.3. Turku miesto klimato kaitos mažinimo planas.....	18
1.4. Kauno miesto bei rajono apžvalga	20
1.4.1. Transportas ir mobilumas	21
1.4.2. Pramonė.....	22
1.4.3. Energetika.....	22
1.4.4. Kauno žaliasis kursas	24
1.5. Apibendrinimas	25
2. Tyrimo metodika	26
2.1. ŠESD emisijų šaltinių inventorizavimas	26
2.1.1. Stacionarioji energija.....	28
2.1.2. Transporto sektoriaus analizė	29
2.1.3. Pramoninė veikla	30
2.2. ŠESD emisijų apskaičiavimas	31
2.3. ŠESD prognozavimas.....	32
2.4. ŠESD kompensavimas.....	35
3. Tyrimo rezultatai.....	36
3.1. Gyventojai	36
3.2. Esamos situacijos vertinimas.....	37
3.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimas	42
3.4. ŠESD emisijų kompensavimas.....	49
3.5. Bendros ŠESD emisijos.....	51
Išvados	53
Literatūros sąrašas	54
Priedai.....	59
1 priedas. Lietuvos duomenų rinkinys.....	59
2 priedas. Emisijų faktoriai.....	60
3 priedas. Lietuvos duomenų tenkančių vienam gyventojui prognozės.....	61
4 priedas. Kauno miesto duomenų rinkinys	63
5 priedas. Kauno miesto prognozių duomenys.....	64

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Lietuvos klimato kaitos švelninimo tikslai [12]	13
2 lentelė. Lietuvos priimti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo tikslai atskiruose sektoriuose 2021–2030 m., % [12]	13
3 lentelė. 5-į Suomijos miestų anglies dioksido neutralumo tikslų pavyzdžiai ir siūlomos priemonės jiems pasiekti [15]	18
4 lentelė. Kauno šilumos tiekimo charakteristikos 2010, 2015 ir 2016 metais [34]	23
5 lentelė. Renovuotų namų dalis Kauno savivaldybėse [36]	24
6 lentelė. Sektoriai apimantys šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų šaltinius [18]	27
7 lentelė. Stacionariosios energijos veiklos sektoriai ir jų detalūs aprašymai [25]	28
8 lentelė. Energijos tiekimas ir su juo susijęs išmetamųjų teršalų kiekis, į kurį atsižvelgiama apskaičiuojant netiesioginį išmetamųjų teršalų kiekį [25]	29
9 lentelė. Pagrindinių energijos vienetų konversijos lentelė [25]	29
10 lentelė. Transporto subsektorių aprašymai [25]	30
11 lentelė. Pramoninių ŠESD šaltinių pavyzdžiai pagal veiklos rūšis [38]	30
12 lentelė. Lietuvos elektros energijos sąnaudos vienam gyventojui	37
13 lentelė. Lietuvos šildymo sąnaudos vienam gyventojui	38
14 lentelė. Skirtingų transporto priemonių suvartojamo kuro procentas pagal kuro rūšis [48]	40
15 lentelė. Kauno miesto veiklos vykdytojų metinių išmetamųjų ŠESD kiekio ataskaitų duomenys [53]	42
16 lentelė. Šiluminės energijos sąnaudų pokytis po daugiabučių renovacijos [54]	45
17 lentelė. Kelių medžių rūšių CO ₂ sugėrimo pajėgumai per metus [62]	50

Paveikslų sąrašas

1 pav. Miestų, kurie siekia klimato neutralumo, apžvalga: miesto dydis, planų tipas ir narystė tarptautiniuose klimato aljansuose [21].....	16
2 pav. Normalizuotas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis Turku mieste 1990-2020 m. ir išmetamųjų teršalų mažinimo tikslai iki 2029 m., kai Turku sieks tapti neutraliu miestu anglies dioksido išmetimo atžvilgiu [27].....	20
3 pav. Nuolatinių gyventojų skaičiaus pokytis didžiuosiuose Lietuvos miestuose 2010–2021 m. [28]	21
4 pav. Modalinis kelionių pasiskirstymas Kauno mieste 2018 m [30]	21
5 pav. Bendrasis vidaus produktas (BVP) 2011–2020 m., (mln. EUR) [29].....	22
6 pav. Kauno miesto žaliasis kursas 2019–2020 metų duomenimis [37]	25
7 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventoriaus sudarymo schema.....	26
8 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų apskaičiavimo schema	32
9 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų scenarijų sudarymo schema	34
10 pav. Kauno miesto gyventojų skaičiaus kitimas 1996 – 2023 metais, įvertinant nuolatinių gyventojų skaičių metų pradžioje	36
11 pav. Kauno miesto gyventojų skaičiaus prognozės iki 2050 metų	37
12 pav. ŠESD emisijų kaita pagal elektros energijos sąnaudas 1996–2021 m.	38
13 pav. ŠESD emisijų kaita pagal šildymo sąnaudas 1996–2021 m.	39
14 pav. Bendras transporto priemonių skaičius Kauno mieste	39
15 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijos nuo 1996 iki 2021 metų.....	41
16 pav. Pramonės sektoriaus emisijos Kauno mieste 1996–2021 m.	42
17 pav. Pirminio kuro sudėtis elektros energijos gamyboje Lietuvoje, % [56].....	43
18 pav. ŠESD emisijų prognozės elektros energijos sektoriuje scenarijų rezultatai.....	44
19 pav. Šildymo sąnaudų prognozė Kauno mieste iki 2050 metų	45
20 pav. Renovuotų daugiabučių skaičius Kauno mieste [55]	46
21 pav. Šildymo sektoriaus ŠESD emisijų kitimo scenarijų rezultatai	47
22 pav. Kauno miesto bendro transporto priemonių skaičiaus kitimo prognozė iki 2050 metų.....	47
23 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijų kitimo scenarijai	48
24 pav. Pramonės sektoriaus ŠESD kitimo scenarijai	49
25 pav. Kauno miesto žaliųjų plotų planas [61].....	50
26 pav. Bendrų ŠESD emisijų kitimo scenarijai iki 2050 m.	51
27 pav. Bendra ŠESD emisijų pagal prognozuojamus scenarijus kaita Kauno mieste 2030 metais įvertinus žaliųjų plotų kompensavimo pajėgumą	51
28 pav. Bendra ŠESD emisijų pagal prognozuojamus scenarijus kaita Kauno mieste 2050 metais įvertinus žaliųjų plotų kompensavimo pajėgumą	52

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;

CH₄ – metanas;

CO₂ – anglies dioksidas;

ES – Europos Sąjunga;

GWh – gigavatvalandė;

HFC – hidrofluorangliavandeniliai;

kt CO₂e – tūkstantis tonų CO₂ ekvivalento;

MWh – megavatvalandė;

NCV (angl. *net calorific value*) – grynoji šilumingumo vertė;

NF₃ – azoto trifluoridas;

N₂O – azoto suboksidas;

PFC – perfluorangliavandeniliai;

Prof. – profesorius;

SF₆ – sieros heksafluoridas;

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;

t CO₂e – tonos CO₂ ekvivalento.

Terminai:

Albedas – tai santykinis dydis, rodantis kiek procentų spinduliuotės atspindėjo tam tikras paviršius ar kūnas.

COP26 (angl. *Conference of the Parties*) – Jungtinių Tautų organizuojama 26-oji klimato kaitos konferencija.

ES ATLPS – Europos Sąjungos apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema.

GWP (angl. *Global warming potential*) – rodiklis, rodantis, kiek energijos per tam tikrą laikotarpį sugeria 1 tona dujų, palyginti su 1 tona anglies dioksido (CO₂).

SECAP (angl. *Social, Environmental and Climate Assessment Procedures*) – tai socialinio, aplinkos ir klimato vertinimo procedūros.

Įvadas

Klimato kaita tai pasaulinė problema, kuri turi įtakos socialinei ir ekonomikos plėtrai ir tai vienas iš svarbiausių 21 a. pasaulinio valdymo klausimų. Dėl didėjančios klimato kaitos grėsmės Europos Sąjungos valstybės užsibrėžė tikslą ir misiją – iki 2050 tapti klimatui neutraliu žemynu ir pasiekti 100 klimatui neutralių miestų. Siekiant šio tikslo valstybės bei jų miestai sukūrė veiksmų planus kovai su klimato kaita. Taigi miestai atlieka pagrindinį vaidmenį siekdami klimato neutralumo, nes tai puikus atskaitos taškas norint įgyvendinti užsibrėžtus planus bei priemones.

Lietuva neišsiskiria klimato kaitos kontekste, priimta ir pasirašyta daug dokumentų bei išsikelta tikslų, kurie leis valstybei prisidėti prie pasaulinės problemos sprendimo. Lietuvos miestai Vilnius, Tauragė ir Kaunas po truputį įgyvendina užsibrėžtus tikslus. Renovuojami pastatai, gatvės, įdiegiama vis daugiau saulės elektrinių, stotelių elektromobiliams įkrauti bei pereinama prie kuro iš atsinaujinančių išteklių. Tačiau kyla dvejonų ar miestai spės įgyvendinti visus planus ir pasiekti klimato neutralumą iki 2050. Baigiamajame darbe nagrinėjama šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio kaita Kauno mieste bei atliekamas ilgalaikis jų kaitos prognozavimas. Apžvelgiami metodai ir priemonės galintys prisidėti prie klimato neutralumo tikslo Kauno mieste įgyvendinimo.

Darbo tikslas – atlikti ilgalaikį Kauno miesto šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimą ir įvertinus klimato kaitos mažinimo priemones sudaryti emisijų kaitos scenarijus.

Uždaviniai:

1. atlikti miestų neutralaus poveikio klimatui apžvalgą ir identifikuoti gerosios praktikos pavyzdžius;
2. nustatyti skirtingų veiklos sektorių (energetika, transportas, pramonė) šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas;
3. įvertinti emisijų kitimo tendencijas, nustatyti vertinimo kriterijus ir parinkti skaičiavimo metodus šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimui;
4. identifikuoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimo ir neutralizavimo priemones urbanizuotose teritorijose;
5. atlikti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų ilgalaikį prognozavimą, interpretuoti skirtingų emisijų kaitos scenarijų rezultatus ir pateikti išvadas.

Tyrimo objektas – šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų šaltiniai ir emisijų kaita Kauno mieste.

Temos aktualumas – iki šiol miestai taikė labai skirtingus šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventorizacijos metodus. Dėl šio nenuoseklumo sunku palyginti miestus tarpusavyje, kyla klausimų dėl duomenų kokybės ir ribojamos galimybės apibendrinti vietas, subnacionalinės ir nacionalinės valdžios institucijų duomenis apie išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį. Kad būtų galima teikti patikimesnes ir prasmingesnes ataskaitas, būtina užtikrinti didesnę ŠESD apskaitos nuoseklumą, todėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimo priemonių miestuose ir klimato neutralumo temos analizė prisideda prie bendro apskaitos metodų kūrimo, kurie leistų miestams bei šalims lengviau įsivertinti klimato kaitos mažinimo tikslų pasiekimo lygį.

1. Literatūrinė analizė

1.1. Klimato kaita

Pasaulinė klimato kaita – tai ilgalaikių oro sąlygų, būdingų pasaulio regionams, pasikeitimas. Mokslininkai vienareikšmiškai teigia, kad žemė šyla. Vien tik natūralus klimato kintamumas negali paaiškinti šios tendencijos. Žmogaus veikla, tokia kaip anglies ir naftos deginimas, sušildė žemę, nes smarkiai padidino šilumą sulaikančių dujų: CO₂, CH₄, N₂O, koncentraciją atmosferoje. Kuo daugiau šių dujų žmonės išleis į atmosferą, tuo labiau žemė sušils ateinančiais dešimtmečiais ir šimtmečiais. Atšilimo poveikį jau galima pastebėti daugelyje vietų – nuo kylančio jūros lygio iki tirpstančio sniego ir ledo, bei besikeičiančių oro sąlygų. Klimato kaita jau daro poveikį ekosistemoms, gėlo vandens tiekimui ir žmonių sveikatai. Nors klimato kaitos visiškai išvengti nepavyksta, sunkiausių padarinių galima išvengti iš esmės sumažinus į atmosferą išmetamų šilumą sulaikančių dujų kiekį [1].

Nuo tada, kai maždaug prieš 150 metų prasidėjo pramonės revoliucija, žmogaus sukurta veikla į atmosferą išmetė daug šiltnamio efektą sukeliančių dujų, kurios sulaiko infraraudonuosius spindulius žemės atmosferoje. Tokio proceso pasekmė yra tai, kad Žemė šyla ir keičiasi jos klimatas. Naujausi duomenys rodo, kad pasaulinė temperatūra jau dabar yra maždaug 1,1 °C aukštesnė už priešindustrinio laikotarpio lygį ir sparčiai mažėja galimybė apriboti pasaulinį atšilimą iki 1,5 °C arba 2 °C [2].

Remiantis Tarpvyriausybės klimato kaitos komisijos 2001 m. trečiąja klimato kaitos vertinimo ataskaita, anglies dioksido, metano ir azoto oksido koncentracija atmosferoje nuo 1750 iki 2000 m. padidėjo atitinkamai apie 31 %, 151 % ir 17 % [3]. Tai auganti krizė liečianti ekonomikos, sveikatos ir saugos, maisto gamybos, saugumo ir kitus aspektus. Pavyzdžiui, besikeičiančios oro sąlygos kelia grėsmę maisto gamybai, nes didėja kritulių nuspėjamumas, kylantis jūros lygis užtersia pakrančių gėlo vandens atsargas ir padidina katastrofiškų potvynių riziką, o šiltėjanti atmosfera padeda kenkėjams ir ligoms plisti į kitus regionus [1].

Įvairios šalys ir organizacijos imasi daug iniciatyvų siekdamos švelninti pasaulinę klimato kaitą ir prie jos prisitaikyti. Buvo pasirašyta Jungtinių Tautų bendroji klimato kaitos konvencija (UNFCCC), sudaryta Jungtinių Tautų aplinkos programa (UNEP) ir įkurta Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija (IPCC). Svarbiausiomis švelninimo priemonėmis buvo įvardinta anglies sekvestracija, švarios plėtos mechanizmai, bendras atsinaujinančių ir neteršiančių energijos šaltinių: saulės, vėjo ir geoterminės energijos, naudojimas [1].

1.2. Klimato neutralumas

Klimato neutralumas reiškia idėją pasiekti nulinį grynąjį šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, subalansuojant šias emisijas taip, kad jos būtų lygios (arba mažesnės) emisijoms, kurios pašalinamos žemėje natūraliai jas absorbavus gamtai. 2019 m. Europos Sąjungos (ES) vadovai patvirtino tikslą iki 2050 m. pasiekti klimatui neutralią ES. Tai buvo padaryta remiantis ES ir jos valstybių narių įsipareigojimais 2015 m. pasirašant Paryžiaus susitarimą [4]. Paryžiaus susitarimas yra teisiškai privaloma tarptautinė sutartis dėl klimato kaitos. Jį Jungtinių Tautų klimato kaitos konferencijoje priėmė 196 šalys [5]. Jos pagrindinis tikslas – priimti veiksmų planą, kuris leistų išlaikyti pasaulinę temperatūrą žymiai mažesnę nei 2 °C ir imtis priemonių, kad ji neviršytų 1,5 °C lyginant su laikotarpiu, kuris buvo prieš pramonės revoliuciją [4, 6].

Tarptautinė klimato kaitos komisija apibrėžė keletą sąvokų apimančių klimato neutralumą [7]:

Klimato neutralumas (angl. *Climate neutrality*) – sąvoka, pagal kurią žmogaus veikla nedaro jokio grynojo poveikio klimato sistemai. Norint pasiekti tokią būseną, reikėtų subalansuoti likutinį išmetamųjų teršalų kiekį ir išmetamųjų teršalų pašalinimą, taip pat atsižvelgti į regioninį ar vietinį žmogaus veiklos poveikį, kuris, pavyzdžiui, daro įtaką paviršiaus albedui ar vietiniam klimatui.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) neutralumas arba grynasis nulinis ŠESD išmetimas (angl. *Greenhouse gas (GHG) neutrality or net zero GHG emissions*) – šiltnamio efektą sukeliančių dujų, susijusių su objektu, antropogeninis ŠESD išmetimas yra subalansuotas antropogeniniu ŠESD šalinimu. Grynojo nulinio ŠESD išmetimo kiekybinis įvertinimas priklauso nuo ŠESD išmetimo metrikos, pasirinktos skirtingų dujų išmetimui ir šalinimui palyginti, taip pat nuo pasirinktos tos metrikos laiko perspektyvos.

Neigiamas išmetamųjų teršalų kiekis (angl. *Negative emissions*) – ŠESD pašalinimas iš atmosferos dėl sąmoningos žmogaus veiklos, t. y. papildomai prie ŠESD pašalinimo, kuris vykėtų dėl natūralių anglių ciklo procesų.

Rezervuaras (angl. *Sink*) – tai vieta (natūrali arba žmogaus sukurta, dirvožemyje, vandenyne ir augaluose), kurioje saugomos/absorbuojamos ŠESD, aerozoliai arba ŠESD pirmtakai.

1.2.1. Lietuva klimato neutralumo kontekste

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos duomenimis 2020 m. į atmosferą buvo išmesta 1 % mažiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų nei 2019 metais, tačiau emisijų skaičius vis tiek siekia beveik 20,2 mln. tonų CO₂ ekvivalentų. Daugiausia dujų buvo išmesta transporto sektoriuje – 30,4 %. Po to seka energetikos (28,1 %) žemės ūkio (22,1 %), pramonės (15,3 %) ir atliekų (4,1 %) sektoriai [8].

2012 m. lapkričio mėn. Lietuva priėmė Nacionalinės klimato valdymo politikos 2013–2050 m. strategiją. Tai integruota strategija, apimanti ir prisitaikymo prie klimato kaitos, ir jos švelninimo klausimus, taip pat tų priemonių įgyvendinimo aspektus. Strategijos tikslas apima Lietuvos klimato kaitos valdymo politikos parengimą, veiksmų įgyvendinimą bei numato trumpalaikius (iki 2020 m.), orientacinius vidutinės trukmės (iki 2030 ir 2040 m.) ir ilgalaikius (iki 2050 m.) klimato kaitos švelninimo ir prisitaikymo prie jos tikslus ir uždavinius. Strategiją sudaro skyriai, atitinkamai skirti klimato kaitos švelninimui ir prisitaikymui prie jos [9].

Strategijai įgyvendinti 2013 m. balandžio 23 d. Vyriausybė patvirtino Nacionalinės klimato kaitos valdymo politikos strategijos tikslų ir uždavinių įgyvendinimo 2013–2020 m. tarpinstitucinį veiksmų planą. Veiksmų plane nurodyta, kokie finansiniai ištekliai skiriami priemonėms įgyvendinti ir apibrėžtos įgyvendinančios institucijos. Veiksmų plane taip pat nustatyti vertinimo kriterijai padėsiantys sekti tikslų įgyvendinimą [9].

Vadovaujantis Vyriausybės patvirtinta Strateginio planavimo metodika, planas rengiamas trejų metų laikotarpiui ir kasmet atnaujinamas pridedant dar vienerius metus. 2018 m. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimu Nr. 147 patvirtintas Veiksmų planas su priemonėmis 2017–2019 metams. Strategijos įgyvendinimas finansuojamas Lietuvos Respublikos valstybės biudžeto, savivaldybių biudžetų, ES ir tarptautinių organizacijų bei kitų šaltinių lėšomis. Šiuo metu Lietuva atnauja strategiją, nustatydamą konkrečius tikslus ir uždavinius iki 2100 m., kartu su klimato neutralumo

veiksmų planu. Konkrečios priemonės kiekvienam sektoriui ateinančiam dešimtmečiui nustatytos integruotame nacionaliniame energetikos ir klimato plane [9].

Lietuva yra parengusi nacionalinį energetikos ir klimato srities veiksmų planą 2021–2030 metams, kuris sudarytas pagal energetikos sąjungos valdymo reglamente nurodytus reikalavimus. Šis veiksmų planas parengtas remiantis nacionaliniais teisės aktais, tarptautiniais įsipareigojimais, strategijomis ir kitų planavimo dokumentų nuostatomis bei integruojant priemones, kurios yra įgyvendinamos dabar ir kurios dar tik planuojamos įgyvendinti ateityje. Pagrindiniai dokumentai naudojami sudarant nacionalinį planą yra: 2018 m. birželio mėn. patvirtinta Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija (NENS), 2012 m. patvirtinta ir 2019 m. atnaujinama Nacionalinė klimato kaitos valdymo politikos strategija bei 2019 m. balandį patvirtintas Nacionalinis oro taršos mažinimo planas [10, 11].

Bendri nacionaliniai Lietuvos klimato kaitos švelninimo tikslai ir tikslai, priimti atskiruose Europos Sąjungos apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemoje nedalyvaujančiuose sektoriuose nurodyti 1 ir 2 lentelėje.

1 lentelė. Lietuvos klimato kaitos švelninimo tikslai [12]

Išmetamų ŠESD kiekio mažinimo tikslai	Lietuva		
	2030 m.	2040 m.	2050 m.
Palyginti su 1990 m. lygiu*	≥-70%	-85%	-100%
Palyginti su 2005 m. lygiu*	≥-30 %	–	–
ES ATLPS dalyvaujančiuose sektoriuose, palyginti su 2005 m. lygiu	≥-50 %	–	–
ES ATLPS nedalyvaujančiuose sektoriuose, palyginti su 2005 m. lygiu*	≥-25 %	–	–

* Įskaitant ŽNŽNKM sektoriaus ŠESD absorbavimą.

2 lentelė. Lietuvos priimti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo tikslai atskiruose sektoriuose 2021–2030 m., % [12]

Sektorius	2016–2018 m. vidurkis, palyginti su 2005 m., proc.	2025 m. tikslas, palyginti su 2005 m., proc.	2030 m. tikslo įgyvendinimas, palyginti su 2005 m., proc.
Transportas	+36,2	+11,3	-14
Pramonė	+23,5	+2,2	-19
Žemės ūkis	+3,2	-3,8	-11
Atliekos	-36,6	-50,6	-65
Mažoji energetika	-3,2	-14,8	-26
Bendras nacionalinis ES ATLPS nedalyvaujančiuose sektoriuose tikslas			-25

1.2.2. Misija – 100 neutralių miestų

Europos Sąjunga per pastaruosius metus ėmėsi svarbių žingsnių klimato kaitos mažinimo srityje. Vienas iš svarbių Europos „žaliojo kurso“ elementų buvo ES išmetamų teršalų mažinimo tikslo pagal Paryžiaus susitarimą stiprinimas, kuris paremtas konkrečiomis politikos priemonėmis ir finansiniais ištekliais jam pasiekti. ES taip pat priėmė Europos klimato įstatymą, pagal kurį išmetamųjų teršalų mažinimo ir klimato neutralumo tikslai tapo privalomi visoms šalims [13, 14].

ES klimatui neutralių ir išmaniųjų miestų misijos valdyba iškelė tikslą iki 2030 m. pasiekti 100 klimatui neutralių miestų. Šios srities misija buvo pasiūlyta remti, skatinti ir pristatyti 100 Europos miestų ir jų sistemine transformacija į klimato neutralumą iki 2030 m. Misijos tikslas yra paversti

šiuos miestus eksperimentų ir inovacijų centrais. Misija remiasi Europos žaliojo kurso strategija, kuria siekiama iki 2050 m. Europą padaryti neutralią klimatui [15, 16].

Pagal misiją miestai privalo mažinti išmetamųjų teršalų kiekį [17]:

- **penkiuose sektoriuose:** stacionariosios energijos, transporto, atliekų ir nuotekų, pramonės procesų ir produktų naudojimo ir žemės ūkio, miškininkystės ir kitokio žemės naudojimo;
- **per tris taikymo sritis:** tiesioginis išmetamųjų ŠESD kiekis (1 sritis) ir netiesioginis išmetamųjų ŠESD kiekis (2 sritis) miesto ribose, taip pat už miesto ribų išmetamųjų ŠESD kiekis (3 sritis) dėl miesto ribose susidarančių atliekų ir nuotekų šalinimo bei valymo;
- **įskaitant septynias dujas:** CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆ ir NF₃;
- **dviem galimais būdais:** išvengiant 100 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų arba derinant tiesioginį išmetamųjų ŠESD kiekio mažinimą su likutinio išmetamųjų ŠESD kiekio kompensavimu, naudojant anglies dioksido absorbentus arba anglies dioksido kreditus.

Miestų misija yra ES misijų iniciatyvos dalis – viena iš pagrindinių programos „Horizontas Europa“ naujovių. Tokiomis misijomis siekiama spręsti visuomenės iššūkius ir į šį darbą glaudžiai įtraukti piliečius. 2021–2023 m. programos „Horizontas Europa“ dalyviai investuos apie 360 mln. eurų į mokslinių tyrimų ir inovacijų veiksmus, susijusius su miestų misija [7].

Norint pasiekti miestų misijos klimato neutralumo tikslą, reikės daugybės fondų ir finansavimo priemonių iš privačių ir viešųjų šaltinių. Be galimybės gauti ES lėšų, miestų misija padės miestams parengti investicijų planus, kaip sutarties sudarymo proceso dalį, ir rasti prieigą prie platesnės finansų bendruomenės per InvestEU programą, Europos investicijų bankų grupę, nacionalinius plėtros bankus ir kitas privataus kapitalo rinkas [7].

1.2.3. Miestai – atskaitos taškas

Miestai yra pasauliniai komunikacijos, prekybos ir kultūros centrai. Jie taip pat yra vis didėjantys energijos vartojimo šaltiniai ir sudaro didelę pasaulinio šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo į atmosferą dalį. Kadangi dauguma pasaulio miestų yra pakrantėse, jie yra ypač pažeidžiami pasaulinių aplinkos pokyčių, pvz., kylančio jūros lygio ir katastrofų, todėl miestai yra vertinami kaip atskaitos taškas kovojant su klimato kaita ir reaguojant į besikeičiančio klimato poveikį [18, 19].

Miestai užima tik 4 % ES žemės ploto, tačiau juose gyvena 75 % ES piliečių. Prognozuojama, kad iki 2050 m. šis skaičius padidės iki 85 %. Pasaulyje miestai suvartoja daugiau nei 65 % energijos išteklių ir išmeta daugiau nei 70 % visų CO₂ dujų kiekio. Europos žaliojo kurso tikslų (angl. *European Green Deal*) – iki 2030 m. sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį 55 % ir iki 2050 m. tapti pirmuoju klimatui neutraliu žemynu – bus neįmanoma pasiekti, jei miestai nebus bendrų pastangų priešakyje. Nemažai Europos miestų jau dabar įsipareigojo sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą ir deda dideles pastangas šio tikslo įgyvendinimo link. Tačiau tik nedidelis kiekis miestų išsikėlė tikslus iki 2030 m. [7, 20].

Siekiama paversti politinius sprendimus į konkrečius veiksmus, nes miestai suteikia tinkamą mastą / pagrindą tokiems veiksams įgyvendinti ir išbandyti. Reaguodami į visuomenės poreikius miestai jau plačiai įsitraukė į vietos klimato planų įgyvendinimą. Stebima, kurios politinės priemonės pasiteisins ir kokias priemones bus įmanoma pritaikyti nacionaliniu lygiu [15].

2019 metais miestuose gyvenančių gyventojų dalis visame pasaulyje sudarė 56 %. Urbanizaciją daugiausia lemia miestų teikiamos ekonominės galimybės. Turėdami 56 % gyventojų, jie vis tiek sugeba pagaminti 70 % pasaulio bendrojo vidaus produkto (BVP). Aukštas ekonominės veiklos lygis lemia didelį ekologinį poveikį: miestai užima tik apie 2 % žemės paviršiaus, o suvartoja apie 70 % pasaulio išteklių ir energijos, miestai sukuria apie 70 % atliekų ir išmeta 70 % visų šiltnamio efektą sukeliančių dujų visame pasaulyje [15].

1.3. Poveikio klimatui vertinimo ir neutralizavimo priemonių analizė

Visame pasaulyje miestai pripažįsta savo vaidmenį švelninant klimato kaitą ir imasi veiksmų, kad sumažintų išmetamo anglies dioksido kiekį. Žinios apie tai, ar miestai užsibrėžė ambicingus klimato ir energetikos tikslus, yra labai svarbios nustatant jų indėlį siekiant pasaulinio 1,5 °C tikslo, iš dalies dėl to, kad padeda nustatyti sritis, kuriose reikia imtis tolesnių veiksmų [17].

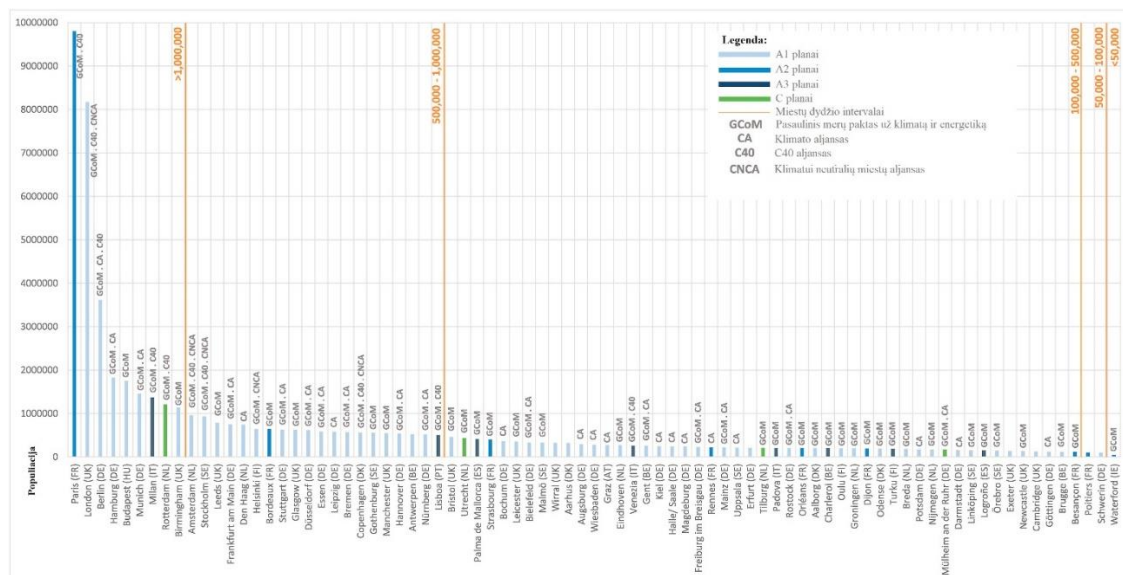
Keli tyrimai, apie klimatui neutralius miestus Europos Sąjungoje, įskaitant Jungtinę Karalystę, atskleidė, kad 78 % miestų yra užsibrėžę tikslą sumažinti išmetamųjų ŠESD kiekį. Tačiau Europos miestai, kurių vidutinis tikslas yra 47 % sumažinti emisijas, nepasiekia Paryžiaus susitarimo tikslų, jiems reikia maždaug dvigubai padidinti savo užmojus ir pastangas. Kai kurie miestai yra ambicingi, pavyzdžiui, pagal mokslininkų atliktus tyrimus, 25 % ištirtų miestų siekia anglies dioksido neutralumo, o anksčiausia tikslo data – 2020 m. 90 % šių miestų yra Klimato aljanso (angl. *Climate Alliance*) ir 75 % miestų merų pakto (angl. *Covenant of Mayors*) nariai [21].

Pastaraisiais metais daugelis miestų ėmė įgyvendinti politiką, būtiną siekiant neutralumo klimato atžvilgiu, ir įsitvirtino koncepcija, kad iki 2050 m. šis tikslas turi būti pasiektas. Miestai dalinasi savo klimato ir energetikos politika ir veiksmų planais, kad galėtų pasinaudoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetimo mažinimo, prisitaikymo prie klimato kaitos ir atsparumo klimato kaitai, energetinio skurdo panaikinimo ir skaitmeninimo privalumais [17].

Tyrimai apie miestų siekius tapti klimatui neutraliems, tyrimų metodai, duomenys, rezultatai ir analizė gali būti nuoroda ir atskaitos taškas stebint klimato kaitos švelninimo užmojus Europos ir pasaulio miestuose [21].

Didesni klimato kaitos švelninimo užmojai reikšmingai susiję su [17, 22]:

- miesto valdžios ir (arba) administracijos savarankiškai parengtais specialiais planais,
- narystė klimato tinkluose
- sinerginiu klimato kaitos švelninimo ir prisitaikymo derinimu planuojant veiksmus;
- miesto dydžiu bei populiacija
- finansavimu
- geografinė padėtimi



1 pav. Miestų, kurie siekia klimato neutralumo, apžvalga: miesto dydis, planų tipas ir narystė tarptautiniuose klimato aljansuose. Vietos klimato kaitos švelninimo plano tipas (M-LCP): A1 – Autonominiai, išsamūs ir savarankiški planai; A2 – Valstybiniu mastu parengti, išsamūs ir savarankiški planai; A3 – tarptautinių klimato tinklų parengti, išsamūs ir savarankiški planai; B – Horizontaliai integruoti ir integraciniai (t. y. tarpsektoriniai, kuriuose atsižvelgiama į įvairių politikos sričių sąveiką ir siekiama platesnių tikslų nei klimato kaita); C – Vertikaliai integruoti (t. y. sektorių planai, pvz., energetikos sektoriaus) [21]

Miestų apžvalgos analizė įrodo, kad miestai, atlikdami anglies dioksido neutralumo vertinimą, taiko skirtingas išmetamųjų teršalų apimtis, priklausomai nuo turimų duomenų ir priemonių bei pasirinkto išmetamųjų teršalų apskaičiavimo metodo. Kai kurie miestai pageidauja daugiausia dėmesio skirti tik jų kontroliuojamam išmetamųjų teršalų kiekiui, o kiti siekia visapusiškiau aprėpti miesto anglies dioksido balansą. Literatūroje apie miestų anglies dioksido apskaitą pateikiami skirtingi rezultatai dėl protokolų, metodų ir duomenų šaltinių skirtumų. Dėl to, kad skaičiavimo metodai ir išmetamųjų teršalų apimtys nėra nuoseklūs, miestų anglies dioksido neutralumo tikslai yra nepalyginami [15].

1.3.1. Balti savivaldybė Moldovoje

Balti savivaldybė, kaip vienas didžiausių Moldovos pramoninių miestų, daro didžiulį poveikį aplinkai. Pagrindinis Balti savivaldybės tikslas – pasiekti, kad išmetamo CO₂ kiekis iki 2030 m. sumažėtų iki 40 % [23].

Tvarios energetikos ir klimato kaitos veiksmų planas (SECAP) – tai pagrindinis dokumentas, kuriame Balti savivaldybė nurodo, kaip ji ketina įgyvendinti savo įsipareigojimus. Jame apibrėžiami klimato kaitos švelninimo ir prisitaikymo prie klimato kaitos veiksmai tikslams pasiekti, nurodomi terminai. SECAP nurodo trumpalaikes ir ilgalaikes priemones. Trumpalaikės priemonės apima bandomojo projekto, skirto rajono Nr. 9 atstatymui, pradžią, kuris padės įgyvendinti ilgalaikes priemones visoje savivaldybėje. Rajonas Nr. 9 pasirinktas kaip atskaitos taškas planams įgyvendinti Balti savivaldybėje [23].

Klimato kaitos veiksmų plane išdėstyti veiksmai, kuriais siekiama 87 % sumažinti išmetamo anglies dioksido kiekį iki 2030.

Įgyvendinant siūlomas priemones Balti savivaldybė išsikėlė šiuos tikslus [23]:

- įgyvendinant energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones sutaupyti 27 % energijos;
- pagaminti 28 % energijos iš atsinaujinančiųjų energijos išteklių.

Balti savivaldybės planai bei priemonės yra išskirstyti pagal atskirus sektorius [23]:

Energetikos sektorius:

- elektros tinklo įrengimas požeminiuose betoniniuose kanaluose;
- vėjo jėgainių parkų kūrimas;
- esamų neefektyvių gatvių apšvietimo žibintų pakeitimas į LED žibintus.

Transportas:

- transporto priemonių elektrifikavimas;
- dviračių transporto infrastruktūros diegimas ir tobulinimas – planuojama įrengti dviračių stovėjimo aikšteles traukinių stotyse, autobusų stotyse, kad būtų galima važiuoti dviračiu ir viešuoju transportu, taip pat prie administracinių pastatų;
- išmanusis parkavimas – išmanioji automobilių stovėjimo aikštelė tai automatiškai valdoma 12 automobilių stovėjimo vietų konstrukcija, užimanti tik 2 stovėjimo vietas ant žemės.

Statybų sektorius:

- pastatų atitvarų šiltinimas, langų ir durų keitimas;
- fotovoltinių plokščių įrengimas ant viešųjų pastatų stogų.

1.3.2. Anglies dioksido neutralumo principas Suomijos miestuose

Suomija užsibrėžė nacionalinį tikslą iki 2035 m. pasiekti anglies dioksido neutralumą – tai ambicingiausias tikslas tarp pramoninių šalių. Parengti scenarijai, kaip pasiekti 2035 m. anglies dioksido neutralumą ir šiuo metu vyksta nacionalinių klimato ir energetikos strategijų atnaujinimo procesas [15].

Suomijoje yra 309 savivaldybės ir 107 iš jų taip pat turi miesto statusą. Devyniuose miestuose gyvena daugiau kaip 100 000 gyventojų, o bendras gyventojų skaičiaus vidurkis yra apie 18 000 gyventojų. Miestų plotas ir gyventojų tankumas labai skiriasi. 3 lentelėje pateikiami kai kurių Suomijos miestų anglies dioksido neutralumo tikslų ir nustatytų priemonių jiems pasiekti pavyzdžiai [15].

Miestų anglies dioksido neutralumo tikslai svyruoja nuo 2025 m. iki 2040 m. ir daugeliu atvejų yra ambicingesni nei nacionalinis 2035 m. anglies dioksido neutralumo tikslas. Dažnai kartu su jais nustatomi išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio mažinimo tikslai, o kai kuriais atvejais – ir atskirų sektorių tikslai. Daugiau kaip 80 miestų dalyvauja tinkle „Siekiant anglies dioksido neutralumo miestuose“ (HINKU tinklas) ir taip yra įsipareigoję 80 % sumažinti išmetamųjų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį iki 2030 m., lyginant su 2007 m. lygiu. Nors anglies dioksido neutralumo klausimas užima svarbią vietą Suomijos miestų darbotvarkėse, tačiau didžiųjų miestų strateginiuose dokumentuose to kol kas nematyti, o anglies dioksido neutralumo politika paprastai aptariama pagal specialias klimato programas [15, 21].

3 lentelė. 5-ųjų Suomijos miestų anglies dioksido neutralumo tikslų pavyzdžiai ir siūlomos priemonės jiems pasiekti [15]

Miestas	Metai	Anglies dioksido neutralumo tikslai	Nustatytų priemonių pavyzdžiai
Turku	2010	Iki 2029 m. anglies dvideginio neišskirianti miesto teritorija	Mažinti energijos ir judumo sistemos išmetamų teršalų kiekį. Didinti anglies dioksido absorbentų ir atsinaujinančiosios energijos gamybą.
Espoo	2010	Anglies dioksido neutralumas iki 2030 m. Išmetamų teršalų kiekio sumažinimas 80 % (1990-2030 m.) Energijos gamyba be išmetamųjų teršalų ir pažangūs energetikos sprendimai Anglies dioksido neišskiriantis centralizuotas šildymas 2020-aisiais	Mažinti miesto veiklos poveikį klimatui. Skatinti mažai teršalų išmetantį gyvenimo būdą planuojant žemės naudojimą Didinti medinių konstrukcijų statybą Didinti mažos taršos judumą, viešąsias elektrinių transporto priemonių įkrovimo stoteles ir elektrinius maršrutinius autobusus Gyventojų konsultavimas energetikos klausimais
Joensuu	2014	Anglies dioksido neutralumas iki 2025	Projektas „Klimato aikštė“, kuriuo siekiama didinti piliečių ir vietos įmonių veiksmus klimato srityje. Gerinti dviračių maršrutus Pereiti prie ekologiškos energijos iš atsinaujinančių šaltinių naudojimo
Helsinki	2009	Anglies dioksido neutralumas (80 % mažesnis išmetamų ŠESD kiekis nei 1990 m.) iki 2035 m. 1990-2035 m. 82 % sumažintas ŠESD išmetimas, susijęs su pastatų energijos vartojimu Iki 2035 m. 69 % sumažintas transporto išmetamų ŠESD kiekis, palyginti su 2005 m. lygiu, iki 2035 m.	Efektyvesnis energijos vartojimas ir atsinaujinančios energijos naudojimas, naudojantis energetikos konsultavimo paslaugomis. Anglies pakeitimas atsinaujinančiąja energija ir atliekų išskiriama šiluma miesto energijos gamyboje Helsinkio energetikos iššūkio konkursas, kurio tikslas - rasti būdų, kaip atnaujinti vietinę energijos gamybą naudojant kuo mažiau bioenergijos Vietinio transporto elektrifikavimas

1.3.3. Turku miesto klimato kaitos mažinimo planas

Turku – miestas ir buvusi sostinė pietvakarinėje Suomijos pakrantėje prie Auros upės žiočių. 2021 m. kovo 31 d. duomenimis, Turku mieste gyveno 194 244 gyventojai. Miesto plotas yra 245 km², todėl jis yra šeštas pagal dydį Suomijos miestas po Helsinkio, Espo, Tampere, Vantaa ir Oulu. Turku yra seniausias Suomijos miestas [24].

2018 m. balandžio 16 d. Turku miesto taryba priėmė sprendimą dėl klimato kaitos strategijos. Pagrindinis klimato politikos tikslas, atsižvelgiant į miesto strategiją, iki 2029 m. sukurti anglies dioksido kiekio požiūriu neutralią miesto teritoriją. Siekdama šio tikslo, miesto taryba tikisi iki 2029 m. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 80 % palyginus su 1990 m. kiekiu. Šis tikslas bus pasiektas įgyvendinant kiekvienai tarybos kadencijai nustatytus orientyrus [24].

Turku miesto tikslai yra padalinti į keletą periodų [24]:

- iki 2021 m. išmetamųjų teršalų kiekį sumažinti 50 %, palyginti su 1990 m. kiekiu.
- iki 2025 m. sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį bent 65-70 %, palyginti su 1990 m. kiekiu.
- ne vėliau kaip iki 2029 m. pasiekti anglies dioksido neutralumo lygį ir visiškai kompensuoti likusį išmetamųjų teršalų kiekį.

Turku miesto taryba paskelbė, kad norint pasiekti nustatytus klimato kaitos tikslus, reikia imtis šių priemonių [24]:

- sumažinti energijos ir judumo sistemos išmetamų teršalų kiekį iki žemo lygio
- pasiekti tvarią mažo anglies dioksido kiekio technologijų bendruomenės struktūrą ir plėtrą
- įgyvendinti Turku miesto grupės atsakomybę už klimato kaitą
- sutelkti piliečius, bendruomenes, įmones, suinteresuotąsias šalis, plėtros partnerius ir universitetus, t. y. visą pilietinę visuomenę, kad kartu kurtų klimato priemones ir įgyvendintų anglies dioksido į aplinką neįtraukiantį Turku.
- didinti anglies dioksido absorbentus, atsinaujinančiosios energijos gamybą ir kitas kompensacines priemones
- didinti informuotumą apie klimato kaitos keliamą riziką ir pažeidžiamumą, planuoti ir įgyvendinti priemones, skirtas pasirengti pokyčiams.

Klimato neutralumo įgyvendinimo ataskaitos teikiamos kas antrus metus, kaip reikalaujama pagal ES SECAP stebėseną. Turku miesto savivaldybė taip pat paskelbė ŠESD emisijų skaičiavimo metodus [24]. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis Turku regione apskaičiuojamas kasmet. Išmetamųjų teršalų kiekio stebėseną vykdoma įgyvendinant miesto strategijos ir klimato plano įgyvendinimą ir apie juos pranešama pagal Jungtinių Tautų (JT) reikalavimus [25].

Pagal Europos Sąjungos reikalavimus 2029 m. klimato plano baziniai metai yra 1990 m., o pagrindiniai stebėsenos metai, už kuriuos turi būti atsiskaitoma ES, yra 2015, 2021, 2025 ir 2029 m. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis baziniais ir stebėsenos metais paprastai apskaičiuojamas naudojant CO₂ ataskaitos metodą ir toliau detalizuojamas bei pateikiamas Europos Sąjungai pagal SECAP reikalavimus [24, 25].

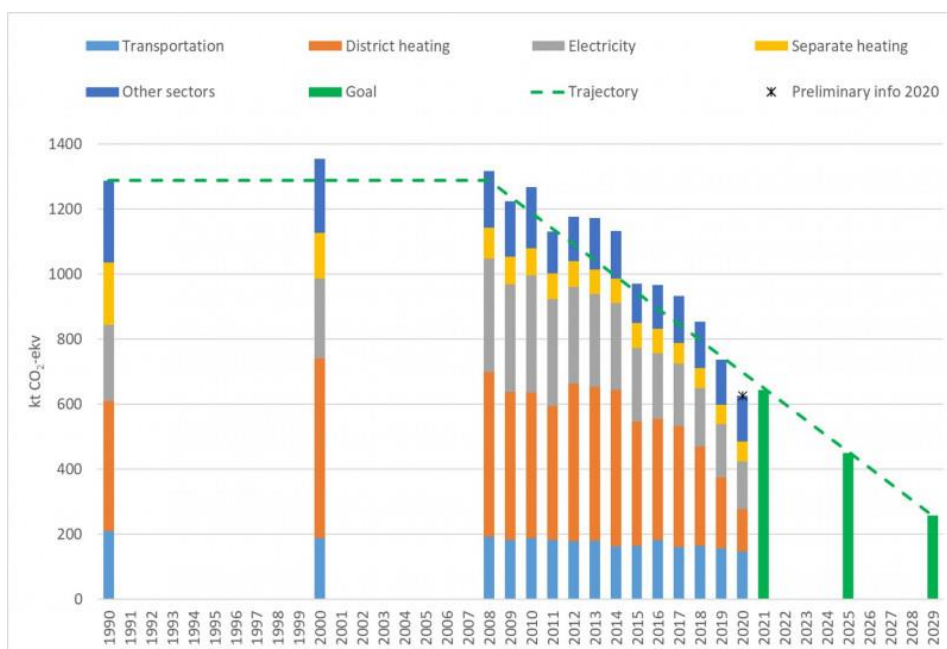
Apskaičiuojant įtrauktos svarbiausios žmogaus veiklos sukeltos šiltnamio efektą lemiančios dujos: anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄) ir azoto oksidas (N₂O). Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos buvo perskaiciuotos į anglies dioksido ekvivalentą (CO₂e.) padauginus CH₄ ir N₂O emisijas iš koeficiento, kuris atitinka jų globalinio atšilimo potencialą (GWP) [25].

Merų pakto (angl. *Covenant of Mayors*) tikslas – mažinti išmetamųjų teršalų kiekį taikant energijos vartojimo mažinimo priemones, didinant energijos vartojimo efektyvumą ir naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius. Taigi, skaičiuojant bazinius ir stebėsenos metus, įtraukiamas visas su energija susijęs savivaldybių pastatų, įrangos ir įrenginių, tretinio sektoriaus pastatų, viešojo apšvietimo, pramonės, kuriai netaikoma ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema, ir transporto išmetamųjų teršalų kiekis. Transporto sukeltas išmetamųjų teršalų kiekis buvo suskirstytas į savivaldybės automobilių parką, viešąjį transportą ir privatų bei komercinį transportą [25, 26].

Didžiausias kiekybinis išmetamųjų teršalų kiekio sumažinimas, palyginti su didžiausiu išmetamųjų teršalų kiekiu (2000 m.), buvo pasiektas didinant atsinaujinančiųjų išteklių energijos naudojimą centralizuotam šildymui ir elektros energijos gamybai. Palyginti su 1990 m., išmetamųjų teršalų kiekis sumažėjo visų pirma dėl centralizuotai tiekiamos šilumos, kuri sumažėjo 67 %. Pramonės ir mašinų išmetamų teršalų kiekis taip pat labai sumažėjo (59 %). Šiek tiek sumažėjo ir išmetamųjų teršalų emisijos, susijusios su gyventojų judumu. Be paties Turku regiono veiksmų, valstybės politika taip pat padėjo siekti klimato tikslų [24].

Pagal paskelbtus Turku miesto savivaldybės skaičiavimo rezultatus, nors energetikos sektoriuje išmetamų teršalų kiekis sparčiai mažėja, kituose sektoriuose išmetamų teršalų santykinė dalis

padidėjo. 2020 m. energetikos sektoriaus išmetamų teršalų kiekis vis dar išlieka akivaizdžiai didelis, tačiau kelių transportas tampa vienu didžiausių atskirų išmetamųjų teršalų sektorių mieste [24].

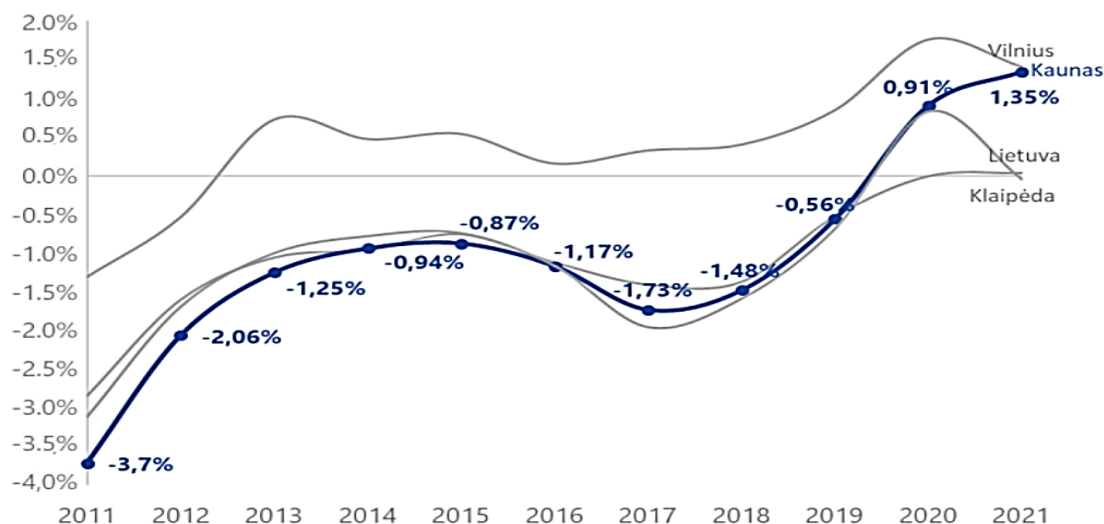


2 pav. Normalizuotas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis Turku mieste 1990-2020 m. ir išmetamųjų teršalų mažinimo tikslai iki 2029 m., kai Turku sieks tapti neutraliu miestu anglies dioksido išmetimo atžvilgiu [27]

1.4. Kauno miesto bei rajono apžvalga

Kaunas yra antras pagal dydį miestas vidurio Lietuvoje. Nemuno ir Neries upių sankirtoje įsikūręs miestas užima 157 km² ploto. Didžiausią miesto dalį sudaro užstatyti plotai – 48%, miškai – 17% ir 13% žemės ūkio paskirties plotai. Dėl savo strateginės padėties Kaunas yra svarbus pramonės, transporto, mokslo ir kultūros centras. Kaunas lengvai pasiekiamas sausuma, vandeniu ir oru. Miestas yra vidaus vandenų transporto centras Lietuvoje ir turi visą reikiamą infrastruktūrą – keleivių ir krovinių uostus, dokus, laivų remonto zonas, taip pat administracines ir organizacines struktūras [28].

Pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis, 2021 m. Kauno miesto gyventojų skaičius sudarė 10,5 % visų Lietuvos gyventojų ir siekė 293,26 tūkst. 55 % visų Kauno miesto gyventojų sudarė moterys, o vyrai – 45 %. Kauno miesto gyventojų skaičius sumažėjo 11 % nuo 2010 metų (moterų – 12 %, vyrų – 10 %), tačiau 2020 m. gyventojų skaičius stabilizavosi ir pirmą kartą per dešimtmetį augo 0,9 %, o 2021 m. – 1,35 % Kauno miesto savivaldybė šiuo metu yra viena iš tankiausiai gyvenamų Lietuvos savivaldybių. Kauno mieste gyventojų tankis 2020 m. siekė 1843,1 gyv./km² [28].



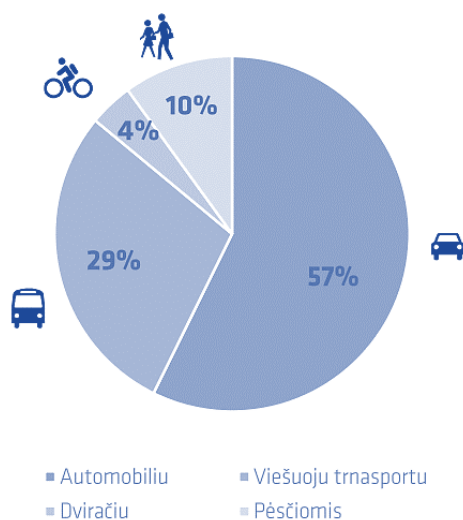
3 pav. Nuolatinių gyventojų skaičiaus pokytis didžiuosiuose Lietuvos miestuose 2010–2021 m. [28]

Klimato rodikliai Kaune 2020 metų duomenimis [29]:

- Vidutinė metinė temperatūra – +9,3 °C
- Vidutinė temperatūra liepos mėn. – +17,3 °C
- Vidutinė temperatūra sausio mėn. – +2,4 °C
- Metinis kritulių kiekis – 601 mm

1.4.1. Transportas ir mobilumas

Didžiąją dalį transporto sektoriaus išmetamųjų teršalų paprastai išmeta kelių transportas, tačiau kiti šaltiniai yra vandens laivyba, geležinkeliai, oro transportas ir visureigių transportas. Automobiliai, sunkvežimiai, autobusai, mikroautobusai ir mopedai, mobilioji įranga ir mašinos tiesiogiai išmeta ŠESD degindami degalus arba netiesiogiai – vartodami elektros energiją, tiekiamą per tinklą (elektra varomoms transporto priemonėms įkrauti) [7].



4 pav. Modalinis kelionių pasiskirstymas Kauno mieste 2018 m [30]

Miesto viešojo transporto tinklą sudaro [30]:

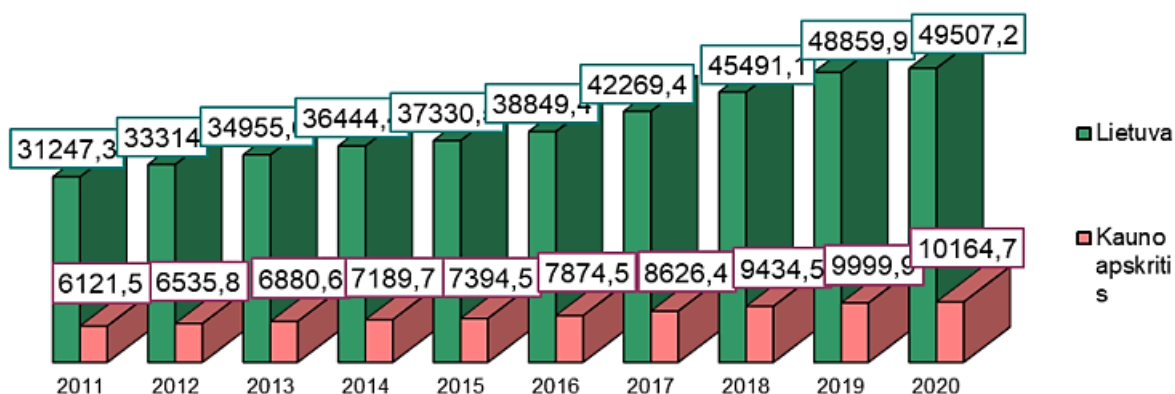
- 14 troleibusų
- 37 autobusai
- 6 mažos talpos autobusai

Periferinėse miesto teritorijose viešasis Kauno transportas važiuoja rečiau nei kas 30 min, tačiau centrinė miesto teritorija yra gerai aptarnaujama.

1.4.2. Pramonė

Kauno miesto savivaldybėje 2021 m. pradžioje veikė 14 557 įmonės (ūkio subjektai), 6 % daugiau nei 2016 metais. Verslo apimčių augimo tempai Kauno miesto savivaldybėje 2016–2021 m. buvo beveik lygus Lietuvos vidurkiui. Ūkio subjektų veikiančių savivaldybėje skaičius 1000-čiui gyventojų per šį laikotarpį padidėjo 3,8 vienetais, kai Lietuvoje šis rodiklis augo beveik 4,4 vienetų [31].

Kauno apskrities BVP duomenimis per pastaruosius penkerius metus apskrityje sukuriama apie 20–21 % šalies bendrojo vidaus produkto. BVP tenkantis vienam gyventojui nuosekliai augo ir padidėjo net 103% 2010–2019 m. – t. y. 10% daugiau nei bendras ekonomikos augimo tempas Lietuvos mastu. Pagal bendrojo vidaus produkto rodiklį Kauno apskritis yra sparčiausiai augęs Lietuvos regionas analizuojamu laikotarpiu – kasmet buvo fiksuojamas statistiškai 8,2% metinis BVP/žmogui augimas [31].



5 pav. Bendrasis vidaus produktas (BVP) 2011–2020 m., (mln. EUR) [29]

1.4.3. Energetika

Kaune labiausiai naudojami energijos šaltiniai yra biokuras ir gamtinės dujos. Privatūs namai dažniausiai šildomi nuosavais biokuro katilais. Daugiausia gamtinių dujų rajone suvartoja pramonės įmonės, komunalinės tarnybos, buitiniai vartotojai bei gyventojai. Šilumos šaltiniai dažniausiai įrengti prie gyvenviečių ir aptarnauja jų gyventojus. Pagrindinė kuro rūšis yra gamtinės dujos. Antroje vietoje pagal naudojimą yra nafta. Be prieš tai paminėtų, taip pat yra naudojamos durpės ir pjuvenos. Durpės yra labai svarbus energijos šaltinis Kaune, nes tai vietinis energijos šaltinis. 1998–2002 m. įvyko šilumos tiekimo decentralizavimas kaimuose ir šilumos tiekimo sistemų rekonstrukcija miestuose, kuri leido atsisakyti neefektyvaus šilumos tiekimo, t. y. akmens anglies ir mazuto naudojimo [32].

Centralizuotai šilumą Kauno rajono savivaldybėje tiekia „Kauno energija“, „Roalsa“ ir „Komunalinių paslaugų centras“. Šiluma gaminama iš gamtinių dujų, durpių, biokuro, biodujų. Pagrindiniai šilumos šaltiniai Kauno rajone yra Kauno elektrinė, Petrašiūnų elektrinė bei „Šilko“, „Pergalės“, Garliavos, Noreikiškių, Raudondvario, Neveronių, Domeikavos, Girionių, Ežerėlio katilinės [33].

4 lentelė. Kauno šilumos tiekimo charakteristikos 2010, 2015 ir 2016 metais [34]

	2010	2015	2016
Šilumos gamyba, GWh			
Katilinės	193,3	518,0	582,6
Kogeneracinės jėgainės	13,8	4,3	0,7
Kondensaciniai ekonomizeriai	-	86,0	103,0
Kuro sąnaudos, naftos ekvivalento tona (toe)			
Gamtinės dujos	17855	8037,4	8811,0
Sunkiosios naftos kuras	-	-	-
Biomasė	672	34252,2	39259
Biodujos	-	228,4	44,5
Durpės	890	114,5	101,0
Dyzelinis kuras	6	-	1,0

Atsinaujinantys energijos ištekliai (AEI):

Kauno rajonas turi tam tikros patirties diegiant atsinaujinančios energijos technologijas visuomeniniuose ir verslo objektuose, tačiau trūksta atsinaujinančios energetikos planavimo ir koordinavimo, todėl ji vystėsi gana spontaniškai, atsirado atskirų iniciatyvų valstybiniu, mokslo ir verslo lygiu. Šiuo metu Kauno rajone iš viso veikia 135 elektrinės, iš jų [33]:

- 113 saulės elektrinių
- 5 biodujų jėgainės
- 15 biomasės katilinių
- 2 hidroelektrinės

Idėjos naudoti AEI centralizuoto šilumos tiekimo sektoriuje daugiausia apėmė kelių rūšių atsinaujinančius energijos išteklius, tarp kurių dominuoja biomasė [34]:

Kietoji biomasė:

- medienos skiedros iš miško kirtimo atliekų,
- biologiškai skaidi komunalinių atliekų dalis.

Biodujos:

- iš nuotekų dumblo,
- iš sąvartynų.

Kiti AEI:

- saulės ir geoterminiai įrenginiai, skirti energijos gamybai ir šildymo poreikiams tenkinti paklausos pusėje.

Pastatų renovacija:

Siekiant sumažinti energijos suvartojimą ir padidinti energijos vartojimo efektyvumą, aktyviai įgyvendinama daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programa. Pagal šią programą valstybė ir vietos savivaldybės yra įsipareigojusios remti daugiabučių namų renovaciją. Pastatų renovacija (sienų, stogo ir grindų šiltinimas, senų langų ir durų keitimas bei kitos priemonės) paprastai sumažina energijos suvartojimą šildymui 24–55 % [33].

Kauno miestas įgyvendino daugiabučių namų energinio efektyvumo didinimo planą, kurio tikslas – atkurti arba pagerinti Kauno daugiabučių namų technines ir energetines charakteristikas, siekiant išlaikyti pagrindinius pastato reikalavimus, mažinti šiluminę energiją bei jos vartojimą.

Šiuo metu Kauno mieste [35]:

- suderinta investicijų planų – 392
- gyventojai pritarė projektams – 301
- atnaujinama daugiabučių namų – 44
- užbaigti projektai (2013–2020 m.) – 207

5 lentelė. Renovuotų namų dalis Kauno savivaldybėse [36]

	Renovuotų namų dalis, %	Renovuoti	Šiuo metu renovuojama
Kauno rajono savivaldybė	11,8	85	18
Kauno miesto savivaldybė	6,3	277	110

1.4.4. Kauno žaliasis kursas

Europos sąjunga turi tikslą iki 2050 tapti klimatui neutraliu žemynu, bet be valstybių ir jų regionų paramos šis tikslas yra sunkiai įgyvendinamas. Todėl labai dažnai keliamas klausimas, kokius žingsnius pasiryžęs žengti Kaunas siekiant klimato neutralumo tikslo?

Kaunas laikomas vienu iš labiausiai pasiryžusių tapti žaliuoju miestu, kuris plečia savo ambicijas. Iki 2030 metų planuojama sumažinti kelionių lengvaisiais automobiliais skaičių, kuriais naudojasi daugiau nei pusė miesto gyventojų. Prioritetas bus skiriamas viešajam transportui, dviračiams bei ekologiškoms motorinėms transporto priemonėms [37].

- Kasmet miesto gatvėse įrengiamas rekordinis skaičius elektros energiją taupančių LED šviestuvų;
- Ant visuomeninių pastatų montuojamos saulės jėgainės;
- Plečiamos renovuojamų daugiabučių gretos;
- Prie miesto vandentiekio prisijungia vis daugiau nuotekų tinklų.
- Atsižvelgiant į tikslus mieste kasmet įrengiama vis daugiau įkrovimo stotelių elektromobiliams;
- Sudarytas darnaus judumo planas;
- Pasinaudojus Europine parama mieste nupirkta naujų troleibusų ir atnaujinti autobusai;
- Formuojama mažų emisijų zona;



6 pav. Kauno miesto žaliasis kursas 2019–2020 metų duomenimis [37]

1.5. Apibendrinimas

Pirmajame projekto skyriuje apžvelgta klimato kaitos ir klimato neutralumo tema bei Europos Sąjungos misija pasiekti 100 neutralių miestų. Išsamiau panagrinėta miestų svarba ir tikslai bei išnagrinėti keletas Europos miestų, kurie siekia tapti klimatui neutraliais. Aptarta Lietuvos situacija ir teisiniai aspektai klimato kaitos kontekste. Atlikta Kauno miesto bei rajono socialinio, transporto, energetikos bei pramonės sektorių apžvalga. Aptarti Kauno miesto išsikelti tikslai ir žaliasis kursas.

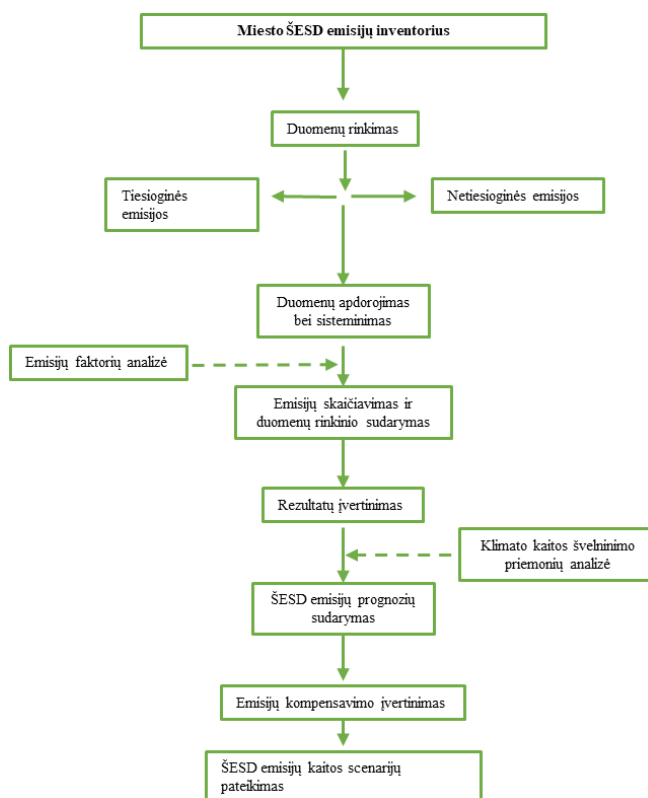
2. Tyrimo metodika

Antrame projekto skyriuje pateikiama šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų inventoriaus ir prognozių sudarymo metodika, kurią sudaro:

- ŠESD inventoriaus sudarymo schema
- išsamus, į miesto ŠESD inventorių įeinančių, sektorių bei jų įvertinimo aprašymas
- šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų skaičiavimo ir jų prognozavimo metodai
- klimato kaitos švelninimo ir ŠESD kompensavimo priemonių įvertinimas

Kauno miesto šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų inventorių, emisijų prognozės iki 2050 metų ir jų įvertinimas buvo atlikti pagal Europos Sąjungos ir Europos Komisijos parengtą darnios energetikos ir klimato veiksmų planą ir informacijos rinkinį miestams norintiems dalyvauti 100 klimatui neutralių ir išmaniųjų miestų misijoje [7, 25].

2.1. ŠESD emisijų šaltinių inventorizavimas



7 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų inventoriaus sudarymo schema

Duomenų rinkimas ilgiausias šio plano žingsnis. Šaltiniai turi būti patikimi, rekomenduojama pradėti nuo miesto planų, straipsnių, miesto tikslų ir judėti link išsamesnių informacijos šaltinių. Gali kilti problemų dėl duomenų kokybės ir išsamumo, todėl galima taikyti duomenų spragų užpildymo metodus arba naudoti pakaitinius duomenis.

Į inventorių turėtų būti įtrauktos septynios Kioto protokole¹ išvardintos šiltnamio efektą sukeliančios dujos: anglies dioksidas (CO₂), metanas (CH₄), azoto oksidas (N₂O), hidrofluorangliavandeniliai (HFC), perfluorangliavandeniliai (PFC), sieros heksafluoridas (SF₆) ir azoto trifluoridas (NF₃) [38].

¹ Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos protokolas, kuriuo siekiama kovoti su visuotiniu atšilimu. Jis buvo priimtas 1997 m. vykusioje trečiojoje konvencijos Šalių konferencijoje Kioto mieste.

Mieste vykdoma veikla gali sukelti ŠESD emisijas, kurios susidaro tiek miesto ribose, tiek už jo ribų. Siekiant jas atskirti, ŠESD emisijos pagal jų susidarymo vietą suskirstytos į tris sritis [18]:

- **Pirmoji sritis** – ŠESD išmetimai iš miesto ribose esančių šaltinių
- **Antroji sritis** – ŠESD kiekis, išmetamas dėl miesto teritorijoje naudojamos elektros energijos, šilumos, garo ir (arba) vėsinimo tinklų
- **Trečioji sritis** – visi kiti ŠESD kiekiai, išmetami už miesto ribų dėl miesto teritorijoje vykdomos veiklos

Dėl duomenų trūkumo baigiamajame darbe įvertintos tik pirmosios dvi sritys ir bendras ŠESD emisijų kiekis, neskirstant jų pagal atskiras dujas.

Tiesioginis išmetamųjų ŠESD kiekis yra išmetamas iš šaltinių, esančių miesto ribose. Įvertinamas ŠESD kiekis, susidarantis deginant iškastinį kurą pramoninių procesų metu ir dėl neorganizuotai išmetamų ŠESD, pavyzdžiui, šaldymo agentų ar metano nuotėkio. Miesto netiesioginis išmetamųjų ŠESD kiekis, susijęs su energija (elektra, šildymas, vėsinimas ir garas), kuri buvo sunaudota, bet nebuvo pagaminta miesto ribose [18].

Norint tiksliai įvertinti miesto ribose esančių emisijų kiekį, rekomenduojama visą inventorių suskirstyti į 5 sektorius, kurie apibrėžti 6 lentelėje. Šie sektoriai apima ir tiesiogines ir netiesiogines šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas.

6 lentelė. Sektoriai apimantys šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų šaltinius [18]

Sektorius	Aprašymas
Stacionarioji energija	Stacionarūs energijos šaltiniai yra vienas didžiausių miesto išmetamųjų ŠESD kiekio šaltinių. Šis išmetamas kiekis susidaro deginant kurą gyvenamuosiuose, komerciniuose ir instituciniuose pastatuose ir įrenginiuose, taip pat apdirbamosios pramonės įmonėse ir statybose, o taip pat elektrinėse, gaminančiose elektros energiją, tiekiamą iš tinklo. Šiam sektoriui taip pat priskiriamas neorganizuotai išmetamas ŠESD kiekis, kuris paprastai susidaro išgaunant, transformuojant ir transportuojant pirminį iškastinį kurą.
Transportas	Transportas apima visas keliones keliais, geležinkeliais, vandeniui ir oru, įskaitant tarpmiestines ir tarptautines keliones. ŠESD išmetama tiesiogiai deginant kurą arba netiesiogiai naudojant elektros energiją, tiekiamą iš tinklo. Surinkti tikslūs duomenis apie transporto veiklą, apskaičiuoti išmetamųjų ŠESD kiekį ir paskirstyti jį miestams gali būti itin sudėtingas procesas.
Atliekos	Atliekų šalinimas ir apdorojimas sukelia ŠESD emisiją dėl aerobinio ar anaerobinio skaidymo arba deginimo. Iš kietųjų atliekų išmetamų ŠESD kiekis apskaičiuojamas pagal šalinimo būdus, t. y. sąvartyną, biologinį apdorojimą, deginimą ir atvirą deginimą.
Pramoniniai procesai ir produktų naudojimas	ŠESD išmetama dėl įvairios su energija nesusijusios pramoninės veiklos. Pagrindiniai išmetamųjų ŠESD šaltiniai yra pramonės procesai, kurių metu chemiškai arba fiziškai transformuojamos medžiagos (pvz., aukštakrosnės geležies ir plieno pramonėje, amoniakas ir kiti cheminiai produktai, gaminami iš iškastinio kuro ir naudojami kaip cheminė žaliava). Šių procesų metu gali susidaryti daug įvairių ŠESD. Be to, tam tikruose pramonės ir galutinių vartotojų naudojamuose produktuose, pavyzdžiui, šaldymo priemonėse, putose ar aerozolių balionėliuose, taip pat yra ŠESD, kurios gali išsiskirti juos naudojant ir šalinant.
Žemės ūkis, miškininkystė ir kitas žemės naudojimas	Žemės ūkio, miškininkystės ir kito žemės naudojimo sektoriuje išmetamas ir absorbuojamas ŠESD kiekis susidaro įvairiais būdais, įskaitant gyvulininkystę (fermentacija žarnyne ir mėšlo tvarkymas), žemės naudojimą ir žemės naudojimo pokyčius (pvz., miško žemės iškirtimas dirbamosioms žemėms ar gyvenvietėms), agreguotus šaltinius ir su CO ₂ nesusijusius taršos šaltinius žemėje (pvz., trąšų naudojimas ir ryžių auginimas).

Šiame darbe buvo vertinami trys, daugiausiai ŠESD emisijų generuojantys Kauno miesto sektoriai, tai stacionarioji energija, transportas ir pramoninė veikla.

2.1.1. Stacionarioji energija

Įtraukiama visa elektros energija, pagaminta vietos valdžios institucijos teritorijoje esančiuose įrenginiuose. Taip pat įtraukiama vietinė elektros energijos gamyba iš atsinaujinančių šaltinių: vėjo, saulės (saulės šiluminės ir fotovoltinės energijos), geoterminės energijos, aplinkos šilumos, hidroenergijos ir t. t.) ir degių atsinaujinančių išteklių (biodegalų, skystųjų bioproduktų, biodujų, kietojo biokuro ir degių atsinaujinančios kilmės atliekų) [25].

Vietinė elektros energijos gamyba iš neatsinaujinančių šaltinių: įtraukiamos visos kogeneracinės jėginės ir (arba) įrenginiai [25].

7 lentelė. Stacionariosios energijos veiklos sektoriai ir jų detalūs aprašymai [25]

Veiklos sektorius	Aprašymas
Savivaldybės pastatai, įranga ir (arba) patalpos	Nurodomas visas galutinės energijos suvartojimas ir su juo susijęs išmetamųjų ŠESD kiekis, susidarantis vietos valdžios institucijos viešuosiuose arba jai priklausančiuose pastatuose ir įrenginiuose, pvz., valdžios įstaigose, mokyklose, policijos nuovadose, ligoninėse ir kt. Įtraukiamas visas galutinės energijos suvartojimas, susijęs su savivaldybės vandens tiekimo sistemos, kietųjų atliekų ir nuotekų valymo ir šalinimo įrenginių eksploatavimu (pvz., elektros energija siurbliams, gamtinės dujos šildymui ir t. t.).
Tretinės pakopos pastatai, įranga ir (arba) patalpos	Pranešama apie visą galutinę energijos suvartojimą ir su juo susijusį išmetamą ŠESD kiekį tretinio sektoriaus (paslaugų) pastatuose ir įrenginiuose, pvz., privačių bendrovių biuruose, bankuose, komercinėje ir mažmeninėje veikloje, privačiose mokyklose, ligoninėse ir kt. Nurodomas visas galutinės energijos suvartojimas dėl privačių vandens tiekimo sistemų, kietųjų atliekų ir nuotekų valymo ir šalinimo įrenginių eksploatavimo (pvz., elektros energija siurbliams, gamtinės dujos šildymui ir t. t.).
Gyvenamieji pastatai	Nurodomas visas galutinės energijos suvartojimas ir su juo susijęs išmetamųjų ŠESD kiekis pastatuose, kurie daugiausia naudojami kaip gyvenamieji pastatai maistui gaminti, šildymui ir vėsinimui, apšvietimui ir prietaisams naudoti. Apie visą galutinę energijos suvartojimą socialiniuose būstuose pranešama šiame sektoriuje.
Gatvių apšvietimas	Elektros energijos suvartojimas viešajame apšvietime, priklausančiame vietos valdžios institucijai arba jos eksploatuojamame (pvz., gatvių apšvietimas ir šviesoforai).
Ne ATLPS (apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemų) ar panašios pramonės šakos (mažesnės arba lygios 20 MW šiluminės energijos sąnaudų)	Pranešama apie visą galutinės energijos suvartojimą ir susijusį išmetamą ŠESD kiekį gamybos ir statybos pramonės šakose, kurioms netaikoma ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistema (ES ATLPS) arba panaši sistema (mažesnės arba lygios 20 MW šiluminės energijos sąnaudų), jei SECAP planuojamos atitinkamos klimato kaitos mažinimo priemonės.
Kita: Žemės ūkis, miškininkystė, žuvininkystė	Nurodomas visas pirminio sektoriaus (žemės ūkio, miškininkystės ir žuvininkystės) pastatuose, įrenginiuose ir mašinose, pavyzdžiui, gyvulininkystės įrenginiuose, drėkinimo sistemose ir žemės ūkio mašinose, suvartojamos galutinės energijos kiekis ir išmetamas ŠESD kiekis.

8 lentelė. Energijos tiekimas ir su juo susijęs išmetamųjų teršalų kiekis, į kurį atsižvelgiama apskaičiuojant netiesioginį išmetamųjų teršalų kiekį [25]

Veiklos sektorius	Aprašymas	
Vietinė elektros energijos gamyba	Tik atsinaujinančioji energija (pvz., vėjo energija, hidroenergija, fotovoltinė energija, geoterminė energija)	Šiame sektoriuje rekomenduojama nurodyti vietos elektros energijos gamybos iš atsinaujinančiųjų išteklių ir degių atsinaujinančiųjų išteklių kiekį, neatsižvelgiant į technologiją ir pajėgumą, išskyrus elektros energiją, parduodamą trečiosioms šalims už vietos administracinių ribų, kurios nustatomos pagal atskleistus požymius, pavyzdžiui, kilmės garantijas (GO) ir kitas sekimo priemones.
	Kombinuota šilumos ir elektros energija	Pateikiama visa kogeneracijos įrenginiuose pagaminta elektros energija, neatsižvelgiant į pajėgumą.
	Tik elektra, kai šiluminės galios riba yra 20 MW	Šiame subsektoriuje rekomenduojama pranešti apie pagamintą elektros energiją ir su ja susijusį išmetamą ŠESD kiekį iš elektros energijos, kuriai netaikoma ATLPS, ir iš elektrinių, kurių šiluminė galia neviršija 20 MW.
Vietinė šilumos ir (arba) šaldymo gamyba	Kombinuota šilumos ir elektros energija	Šiame subsektoriuje nurodomas šilumos ir (arba) šaldymo gamybos iš kogeneracijos įrenginių ir paskirstytas per centralizuotus tinklus kiekis, neatsižvelgiant į pajėgumą.
	Centralizuotas šildymas (tik šiluma)	Pateikiama šilumos ir (arba) šaldymo gamyba vietiniuose gamybos įrenginiuose ir paskirstoma per centralizuotus tinklus, neatsižvelgiant į pajėgumus.

Anglies kiekis gali labai skirtis tiek tarp pirminių kuro rūšių, tiek ir tarp jų, skaičiuojant pagal masę ar tūrį. Konvertuojant sunaudoto kuro kiekį į energijos vienetą, naudojant grynąsias šilumingumo vertes (NCV), galima apibendrinti visus duomenis. Skirtingų rūšių kuro NCV vertės yra standartinės ir konkrečios šalies vertės. Visi su energija susiję veiklos duomenys pateikiami MWh. Perskaičiavimo iš kitų dažniausiai naudojamų energijos vienetų koeficientai pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Pagrindinių energijos vienetų konversijos lentelė [25]

I	TJ	Mtoe	GWh	MWh
Iš	Padauginti iš:			
TJ	1	$2,388 \times 10^{-5}$	0,2778	277,8
Mtoe	$4,1868 \times 10^4$	1	11630	11630000
GWh	3,6	$8,6 \times 10^{-5}$	1	1000
MWh	0,0036	$8,6 \times 10^{-8}$	0,001	1

2.1.2. Transporto sektoriaus analizė

Transporto sektorius apima visą su judumu susijusią veiklą mieste. Didžiąją dalį šio sektoriaus išmetamųjų teršalų paprastai išmeta kelių transportas. Kiti šaltiniai yra vandens laivyba, geležinkeliai, oro transportas ir transportas, nesinaudojantis asfaltuotais keliais. Geležinkelio, oro ir vandens transporto atveju reikia atsižvelgti į keliones, kurios visiškai apsiriboja miesto ribomis. Taip pat reikėtų atsižvelgti į regioninių ar tarptautinių kelionių, pavyzdžiui, regioninių ar tarptautinių skrydžių nusileidimo ir pakilimo takus [18].

Baigiamajame darbe įvertintas Kauno miesto savivaldybės automobilių parkas ir viešasis transportas. Įvertinta lengvųjų bei krovininių automobilių, motociklų bei mopedų, autobusų ir kitų transporto priemonių dalis bendrame kelių transporte. Įvertintos kuro rūšys: dyzelinas, benzinai, elektra ir kt.

10 lentelė. Transporto subsektorių aprašymai [25]

Veiklos subsektoriai	Aprašymas	
Savivaldybės automobilių parkas		Nurodomas visas galutinis energijos suvartojimas ir susijęs išmetamųjų ŠESD kiekis, susidarantis deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektrą) transportui, kuris vyksta miesto gatvių tinkle, priklausančiame vietos valdžios institucijos kompetencijai.
Viešasis transportas	Kelių transportas	Rekomenduojama įtraukti visą galutinį energijos suvartojimą ir susijusį ŠESD kiekį, susidarantį deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektros energiją) transportui, kai tai vyksta didesnei teritorijai aptarnauti skirtuose ir (arba) vietos valdžios institucijų kompetencijai nepriklausančiuose keliuose (pvz., greitkeluose), jei toje srityje planuojami švelninimo veiksmai
	Ne kelių transportas	Rekomenduojama įtraukti visą galutinį energijos suvartojimą ir su tuo susijusį išmetamą ŠESD kiekį, susidarantį deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektros energiją), kai transportuojama ne keliais (transporto priemonės ir (arba) mobiliosios mašinos bet kuriame veiklos sektoriuje), jei toje srityje planuojami švelninimo veiksmai.
	Geležinkelių transportas	Nurodomas visas galutinės energijos suvartojimas ir susijęs išmetamųjų ŠESD kiekis, susidarantis deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektros energiją) transportui, kai naudojamas vietinis transportas (pvz., metro, tramvajus ir vietiniai traukiniai).
Privatus ir komercinis transportas		Rekomenduojama įtraukti visą galutinį energijos suvartojimą ir su tuo susijusį išmetamą ŠESD kiekį, susidarantį deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektros energiją), kai vežama tolimojo susisiekimo traukiniais, tarp miestiniais traukiniais, regioniniu ir kroviniu geležinkelių transportu, jei toje srityje planuojami švelninimo veiksmai
	Vandens laivyba	Rekomenduojama įtraukti visą galutinį energijos suvartojimą ir su tuo susijusį išmetamą ŠESD kiekį, susidarantį deginant kurą ir naudojant iš tinklo tiekiamą energiją (pvz., elektros energiją), kai vežama vietiniais keltais ir viešuoju transportu, veikiančiu vietos teritorijoje, jei toje srityje planuojami švelninimo veiksmai.

2.1.3. Pramoninė veikla

Pramonės šakos, kurios gali būti vertinamos kaip tiesioginių ŠESD emisijų šaltiniai, yra išvardintos 11 lentelėje [38].

11 lentelė. Pramoninių ŠESD šaltinių pavyzdžiai pagal veiklos rūšis [38]

Pramonė	ŠESD tipas
Geležies ir plieno gamyba	CO ₂ , N ₂ O
Deginimas energijai gauti	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄
Naftos ir (arba) dujų gavyba, perdirbimas ir rafinavimas	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄
Cemento ir kalkių gamyba	CO ₂
Stiklo gamyba ir Popieriaus ir celiuliozės gamyba	CO ₂
Amoniako gamyba ir Azoto rūgšties gamyba	CO ₂ , N ₂ O
Nuotekų valymas	CO ₂ , N ₂ O, CH ₄
Kietųjų komunalinių atliekų deginimas	CO ₂ , N ₂ O
Šaldymo / oro kondicionavimo / izoliavimo pramonė	HFCs
Kietųjų komunalinių atliekų sąvartynai	CH ₄
Konkreiti elektronikos pramonė (puslaidininkiai, LCD)	PFCs, NF ₃

2.2. ŠESD emisijų apskaičiavimas

Skaičiavimo metodai baigiamajame darbe išvesti pagal gautus duomenis atskirai kiekvienam sektoriui. Pirminiai duomenys gauti Lietuvos, todėl pagal žemiau esančias formules visų pirma išskaičiuotas kiekvienas parametras vienam Lietuvos gyventojui nuo 1996 iki 2021 metų (žr. 1 priedą).

$$\text{Parametrai}/1 \text{ gyventojui} = \frac{\text{Lietuvos duomenys}}{\text{Lietuvos populiacija}}; \quad (2.2.1)$$

čia *Parametrai/1gyventojui* – tai elektros energijos ir šildymo sąnaudos, transporto priemonių skaičius, pramonės sektoriaus ŠESD emisijos tenkančios vienam gyventojui; *Lietuvos duomenys* – tai metiniai Lietuvos elektros energijos ir šildymo suvartojimo duomenys, transporto priemonių skaičius ir pramoninės ŠESD emisijos.

Kauno miesto duomenys buvo apskaičiuoti pagal 2.2.2 formulę.

$$\text{Kauno miesto duomenys} = \text{Parametrai}/1 \text{ gyventojui} \cdot \text{Gyventojų skaičius}; \quad (2.2.2)$$

Po to ŠESD emisijos apskaičiuotos atskirai pagal kiekvieną nagrinėtą sektorių pagal žemiau pateiktas formules.

Energetikos sektorius:

$$t \text{ CO}_2e = \text{Elektros sąnaudos} \cdot \frac{\text{Elektros energijos gamybos ištekliai (\%)}}{100} \cdot EF; \quad (2.2.3)$$

$$t \text{ CO}_2e = \text{Šilumos sąnaudos} \cdot \frac{\text{Šilumos gamybos ištekliai (\%)}}{100} \cdot EF; \quad (2.2.4)$$

Transporto sektorius:

$$t \text{ CO}_2e = \text{Transporto priemonių skaičius} \cdot \frac{\text{Transporto rūšis (\%)}}{100} \cdot \frac{\text{Kuro rūšis (\%)}}{100} \cdot \text{Transporto priemonės vidutinė rida} \cdot EF; \quad (2.2.5)$$

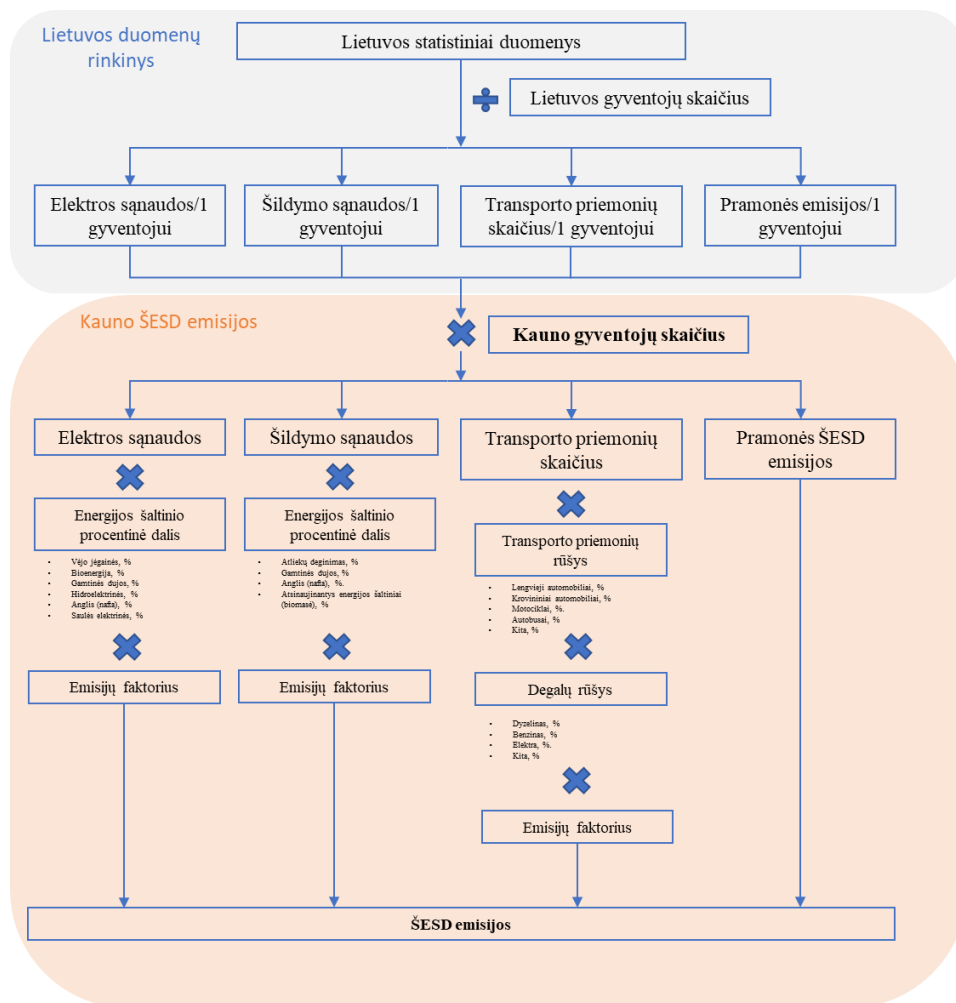
Pramonės sektorius:

$$t \text{ CO}_2e = \text{Lietuvos pramonės } t \text{ CO}_2e / \text{gyv} \cdot \text{Kauno miesto gyventojų skaičius}; \quad (2.2.6)$$

čia *EF* – išmetamųjų teršalų faktorius, kuris yra išmetamųjų ŠESD masės, palyginti su veiklos vienetu, matas. Pavyzdžiui, apskaičiuojant išmetamo CO₂ kiekį, susidarantį naudojant elektros energiją, duomenys apie sunaudotos elektros energijos kilovatvalandes (kWh) dauginami iš elektros energijos emisijos koeficiento (kgCO₂/kWh), kuris priklauso nuo elektros energijos gamybos technologijos ir kuro rūšies [18].

Baigiamajame darbe naudojamų išmetamųjų teršalų faktoriai įvardinti pagal atskiras kuro rūšis (šaltinius iš kur išgauta energija) (žr. 3 priedą). Emisijų faktoriai įvertina emisijas išmestas per visą būvio ciklą.

Sudaryta ŠESD emisijų apskaičiavimo schema pateikta 8 paveiksle.



8 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų apskaičiavimo schema

2.3. ŠESD prognozavimas

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų prognozės – tai tam tikromis prielaidomis pagrįstas ateityje išmetamo ŠESD kiekio įvertinimas. Tačiau tai nėra ateities prognozė. Supratimas apie būsimą ŠESD kiekį gali padėti nustatyti emisijų mažinimo būdus, įvertinti tam tikrų klimato kaitos švelninimo priemonių poveikį ir planuoti klimato kaitos švelninimo priemones vidutinės trukmės ir ilguoju laikotarpiu [29].

Pagrindiniai veiksniai rengiant ŠESD prognozes yra būsimi veiklos duomenys ir išmetamųjų teršalų faktoriai. Svarbiausi veiksniai paprastai yra BVP raida ir gyventojų skaičius. Kai tam tikrų duomenų nėra, vietoj jų galima naudoti pakaitinius duomenis įvertinant duomenų kaitą rajono, savivaldybės ar nacionaliniu lygiu [39].

ŠESD prognozės sudaromos atsižvelgiant į dabartinį išmetamų ŠESD kiekį ir įvertinant, kaip jis gali keistis ateityje. Skirtingai nuo istorinių duomenų, kai veiklos duomenys gaunami iš statistikos ir matavimų, tokių duomenų apie ateitį nėra. Ateityje išmetamųjų teršalų faktoriai gali būti tokie patys arba panašūs į buvusių, tačiau technologiniai patobulinimai gali lemti, kad šie faktoriai gali būti kitokie. Tai reiškia, kad reikia daryti keletą prielaidų apie tai, kaip veiklos duomenys ir išmetamųjų teršalų faktoriai gali keistis ateityje [39].

Vienas iš būdų įvertinti būsimą išmetamųjų ŠESD kiekį – naudoti veiklos rodiklį. Jį galime naudoti veiklos lygiams (pvz., elektros energijos, šildymo paklausai, transporto paklausai) ateinančiais metais įvertinti. Svarbiausi nacionalinio lygmens veiksniai paprastai yra BVP plėtra ir gyventojų skaičius [39].

ŠESD prognozėms sudaryti pirmiausia buvo įvertinta Lietuvos parametų tenkančių vienam gyventojui kaita kasmet. Duomenys nuo 1996 iki 2021 metų atvaizduoti grafiškai ir pritaikyta krypties kreivė. Gaunama tiesinės regresijos lygtis, kuri naudojama tolimesnei prognozei iki 2050 metų (žr. 3 priedą). Bendra tiesinės regresijos lygtis atitinka 2.3.1 formulę.

$$y = a \cdot x + b; \quad (2.3.1)$$

čia y – priklausomas kintamasis t.y. parametrai arba ŠESD emisijos; x – nepriklausomas kintamasis t.y. metai; a – apskaičiuota intercepcija (y reikšmė, kai $x = 0$); b – apskaičiuotas tiesės nuolydis.

Lietuvos parametų, tenkančių vienam gyventojui, prognozė iki 2050 metų sudaryta pagal gautus a ir b parametrus iš tiesinės regresijos lygties.

$$\text{Lietuvos parametų tenkančių vienam gyventojui prognozė} = a \cdot \text{metai} + b; \quad (2.3.2)$$

Kauno miesto duomenų prognozė sudaryta gautus Lietuvos parametų, tenkančių vienam gyventojui, prognozės duomenis padauginus iš Kauno miesto gyventojų skaičiaus prognozės iki 2050 metų.

Norint įvertinti galimą išmetamųjų ŠESD kiekio kitimą ateityje, reikia suprasti, „kokia gali būti ateitis“, pvz., atsižvelgiant į ekonominę, socialinę ir technologinę raidą. Tai vadinama „scenarijumi“. Scenarijų galima apibrėžti kaip „bendrą vaizdą“, kaip mes įsivaizduojame ilgalaikę ateitį [39].

Daugelis šalių, rengdamos savo ŠESD inventorių, parengė kelis scenarijus. Tarp jų yra „įprastinės veiklos“ (angl. *Business as Usual, BAU*) scenarijus, kuris paprastai laikomas scenarijumi, pagal kurį be šiuo metu vykdomos klimato politikos, nesiimama jokių papildomų klimato politikos priemonių. Tada gali būti keli klimato kaitos švelninimo scenarijai, pvz., vidutinio užmojo scenarijai, pagal kuriuos numatoma šiek tiek sustiprinti esamus klimato kaitos veiksmus, taip pat labai plataus užmojo scenarijai, kuriuose vaizduojama drąsi ir labai permaininga klimato politika [39].

Gautiems rezultatams ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimo priemonių kaitai įvertinti buvo apskaičiuotas parametų augimo greitis per metus. Augimo greitis po to pritaikytas ir scenarijų sudaryme apskaičiuojant kiek procentų kasmet turi augti klimato kaitos mažinimo priemonės, kad iki 2050 metų jos sudarytų 50 ar daugiau procentų [39, 40].

Vertinimas grindžiamas metinio augimo greičio formule, pagal kurią įvertinamas rodiklio tendencijos tempas. Pagal formulę naudojami analizuojamo laikotarpio pirmųjų ir paskutiniųjų metų duomenys ir apskaičiuojamas vidutinis metinis rodiklio pokyčio tempas (%) tarp šių dviejų duomenų taškų [40].

$$\text{Augimo greitis} = \left(\frac{\text{Galutinė vertė}}{\text{Pradinė vertė}} \right)^{1/t-t_0} - 1; \quad (2.3.3)$$

$$\text{Galutinė vertė} = \text{Pradinė vertė} \cdot (1 + \text{Augimo greitis})^{t-t_0}; \quad (2.3.4)$$

čia t – metai iki kurių apskaičiuojamas augimo greitis; t_0 – pradiniai metai.

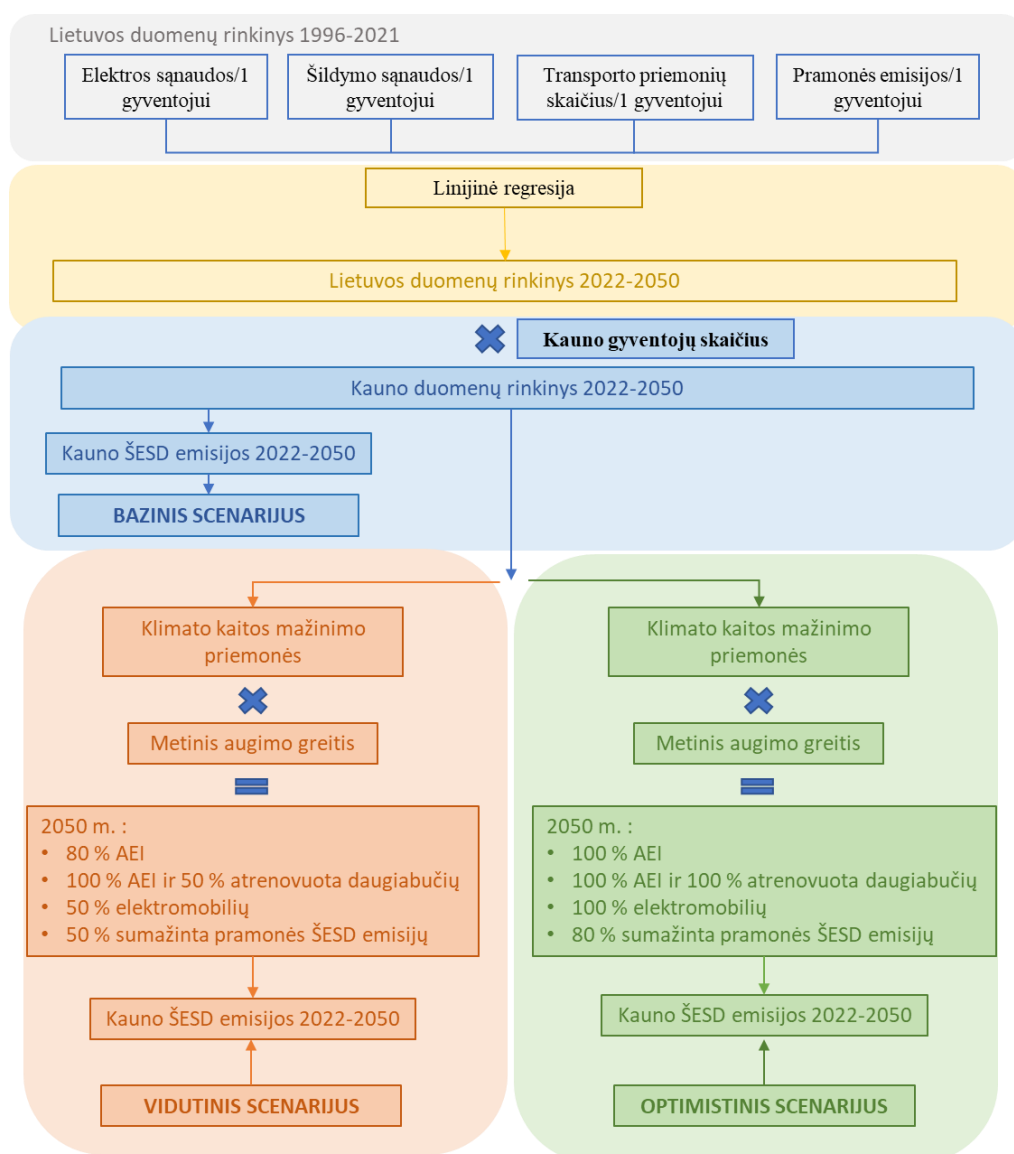
Baigiamajame darbe atlikta ŠESD emisijų prognozė iki 2050 metų. Aprašyti trys emisijų kaitos scenarijai: bazinis, vidutinis ir optimistinis, įvertinant klimato kaitos švelninimo priemones.

Bazinis scenarijus sudarytas priimant, kad esama situacija ateityje nesikeis. Vidutinis scenarijus sudarytas priimant šiek tiek sustiprintas klimato kaitos mažinimo priemones, pvz. didesnę elektromobilių ar atsinaujinančių energijos išteklių kiekį kasmet. Optimistinis scenarijus sudarytas priimant didesnę klimato kaitos mažinimo priemonių dalį 2050 pvz., priimta kad visa elektra iki 2050 metų bus pagaminama iš atsinaujinančių išteklių.

Kaip švelninimo priemonės įvertintos:

- renovuotų daugiabučių skaičius Kauno mieste ir sumažintas šilumos suvartojimas daugiabučių šildymui;
- atsinaujinančių energijos šaltinių procentas energijos suvartojime;
- elektromobilių dalies kaita Kauno mieste.

ŠESD emisijų scenarijų sudarymo schema pavaizduota 9 paveiksle.



9 pav. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų scenarijų sudarymo schema

2.4. ŠESD kompensavimas

Jei miestuose išmetamas ŠESD kiekis dėl technologinių ar finansinių apribojimų negali būti visiškai sumažintas iki 2030 m. ar 2050 m., šis vadinamasis likutinis išmetamas ŠESD kiekis turi būti kompensuojamas [7].

Žemiau išvardinti du pagrindiniai būdai, kaip miestas gali spręsti likutinio išmetamųjų teršalų kiekio problemą, kad 2030 m. pasiektų nulinį grynąjį išmetamųjų ŠESD kiekį.

Anglies dioksido absorbentai apibrėžiami kaip bet koks rezervuaras (natūralus ar technologinis), kuris surenka ir kaupia CO₂ tiesiogiai iš atmosferos, todėl išmetamas „neigiamas kiekis“. Anglies dioksido absorbentai, t. y. pašalinimas naudojant gamtinius ir technologinius sprendimus, esantys miesto ribose, gali būti naudojami likutiniam išmetamųjų ŠESD kiekiui apskaičiuoti. Galimi du anglies dioksido absorbentų variantai [7]:

- „Natūralūs absorbentai“ – tai medžių sodinimas arba kitoks žemės paskirties keitimas. Anglies absorbentai turėtų būti apskaitomi kaip ŠESD inventoriaus dalis.
- „Technologiniai absorbentai“ – biomasės panaudojimo energetikoje su anglies dioksido surinkimu ir saugojimu ir tiesioginio anglies dioksido surinkimo ir saugojimo ore technologijos. Gali būti naudojami CO₂ sekvestruoti visam laikui (užrakinti geologiniuose dariniuose).

Antrasis būdas yra anglies dioksido kreditai, kurie apibrėžiami, kaip parduodamas sertifikatas, atitinkantis 1 toną CO₂ arba CO₂e, kuriuo galima prekiauti, kai yra išmetamųjų ŠESD perteklius ir deficitas. Anglies dioksido kreditų, gautų už miesto ribų, naudojimui siekiant kompensuoti bet kokį likutinį išmetamųjų ŠESD kiekį miesto ribose, bus taikomos tam tikros taisyklės ir apribojimai, kad būtų galima patikimai įrodyti miesto neutralumą klimato atžvilgiu. Šiais apribojimais bus siekiama panaikinti dvigubos apskaitos galimybę ir užtikrinti skaidrumą bei atskaitomybę. Anglies dioksido kreditai turėtų būti orientuoti į artimiausius projektus, jei įmanoma, šalyje arba bent jau Europos Sąjungoje, ir teikti konkrečią papildomą ir bendrą naudą [7].

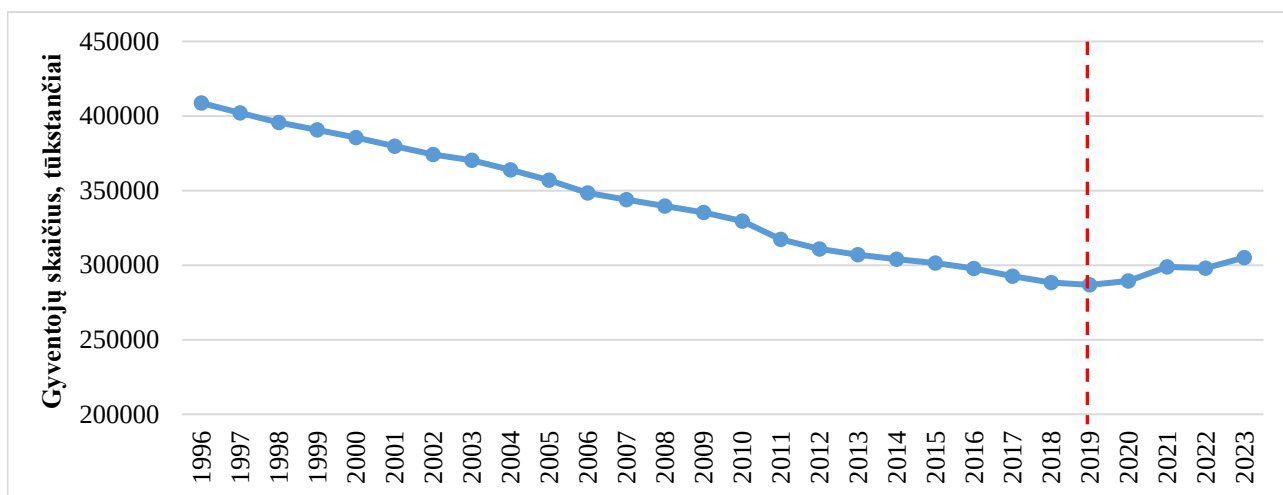
Baigiamajame darbe, kaip šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų kompensavimo priemonė, pasirinkti Kauno mieste esantys miškai, parkai bei žaliosios zonos. Įvertinti jų plotai bei ŠESD kompensavimo pajėgumai. Vertinimas atliktas pagal vieno hektaro Europos žaliųjų zonų CO₂ sugėrimo pajėgumus per metus ir bendrą žaliųjų erdvių plotą hektarais Kauno mieste.

3. Tyrimo rezultatai

Trečiajame projekto skyriuje pateikta Kauno miesto sektorių analizė ir gyventojų skaičiaus kaita iki 2050 metų. Analizė atlikta įvertinus Lietuvos elektros ir šildymo suvartojimo, transporto priemonių skaičiaus ir ŠESD emisijų iš pramonės sektoriaus kiekį vienam gyventojui ir šių parametų kaitą iki 2050 metų (žr. 3 priedą).

3.1. Gyventojai

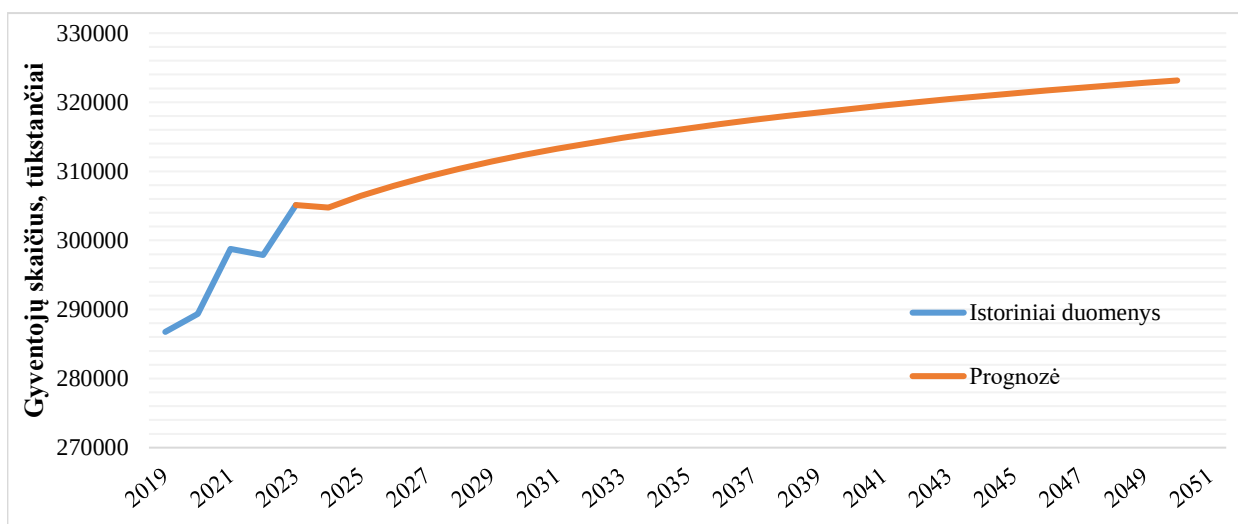
Valstybės duomenų agentūros Lietuvos oficialios statistikos portalo duomenimis nuo 1996 metų gyventojų skaičius Kauno mieste sparčiai mažėjo. 1996 metais Kaune gyveno 408706 gyventojai, tuo tarpu 2019 metais – 286754 gyventojai [41, 42]. Nuo 2019 metų stebima lėta miesto gyventojų skaičiaus didėjimo tendencija. 2020 metais Kaune gyveno 289364 gyventojai, tuo tarpu 2023 metų pradžioje mieste gyveno 305120 gyventojų, t. y. gyventojų skaičius mieste skaičiuojant nuo 2019 metų lygmens išaugo 6,4 %.



10 pav. Kauno miesto gyventojų skaičiaus kitimas 1996 – 2023 metais, įvertinant nuolatinių gyventojų skaičių metų pradžioje

Vienas iš esminių rodiklių, naudojamų gyventojų skaičiaus prognozavimui, yra bendras vidaus produktas (BVP), parodantis šalies ir miestų ekonomikos išsivystymo lygį. Bendrasis vidaus produktas gali būti apibrėžiamas, kaip galutinė prekių ir paslaugų rinkos vertė per tam tikrą laiko tarpą. Atlikus BVP kitimo analizę už 2005–2017 metų laikotarpį nustatyta, kad Kauno miesto BVP išaugo 112 %. Daroma prielaida, kad panašios BVP augimo tendencijos išliks ir ilgalaikėje perspektyvoje [43, 44].

Kauno miesto gyventojų skaičiaus prognozavimui iki 2050 metų remtasi statistiniais duomenimis nuo 2019 metų imtinai, o taip pat statistiniais BVP kitimo duomenimis už 2005–2017 metų laikotarpį. Pagal Lietuvos ekonomikos apžvalgą, Lietuvos BVP augimas 2023 bus teigiamas ir padidės 1,3 %. Prognozuojama, kad Lietuvos BVP 2024 metais augs 3,2 % [45]. Įvertinus pastarojo laikotarpio gyventojų skaičiaus ir BVP kitimo tendencijas prognozavimui naudota logaritminės regresijos lygtis, kuri ekspertiniu vertinimu geriausiai apibrėžia ilgalaikes gyventojų skaičiaus kitimo tendencijas Kauno mieste.



11 pav. Kauno miesto gyventojų skaičiaus prognozės iki 2050 metų

Nustatyta, kad nuo 2019 metų pagal prognozę Kauno miesto gyventojų skaičius augs apie 13 % ir 2050 metais Kauno mieste bus 323153 gyventojai.

3.2. Esamos situacijos vertinimas

– Energetika

Energetikos sektorius padalintas į dvi dalis t.y. elektros energijos suvartojimą ir šildymo sąnaudas. Visų pirma įvertintas Lietuvos energetikos sektorius. Duomenys surinkti iš Lietuvos statistikos departamento. Suvartotos energijos kiekis, tiek elektros, tiek šildymo sąnaudos buvo padalinti iš Lietuvos gyventojų skaičiaus. Gautos energijos sąnaudos vienam gyventojui, kurios nurodytos 12 ir 13 lentelėje. Elektros energijos suvartojimas vienam gyventojui kasmet kyla ir 2021 metais pasieks 0,5 MWh Lietuvoje. Kitokia situacija yra šildymo sektoriuje, nuo 1996 iki 2021 metų šildymo sąnaudos sumažėjo nuo 5,29 MWh/gyv iki 4,41 MWh/gyv. Rezultatai rodo didėjančią elektros energijos ir mažėjančią šilumos poreikį Lietuvoje [46].

12 lentelė. Lietuvos elektros energijos sąnaudos vienam gyventojui

Metai	MWh/gyv	Metai	MWh/gyv	Metai	MWh/gyv
1996	0,322	2005	0,352	2015	0,416
1997	0,316	2006	0,366	2016	0,434
1998	0,324	2007	0,389	2017	0,452
1999	0,307	2008	0,403	2018	0,468
2000	0,287	2009	0,390	2019	0,477
2001	0,309	2010	0,374	2020	0,481
2002	0,325	2011	0,379	2021	0,502
2003	0,348	2012	0,388		
2004	0,355	2014	0,394		

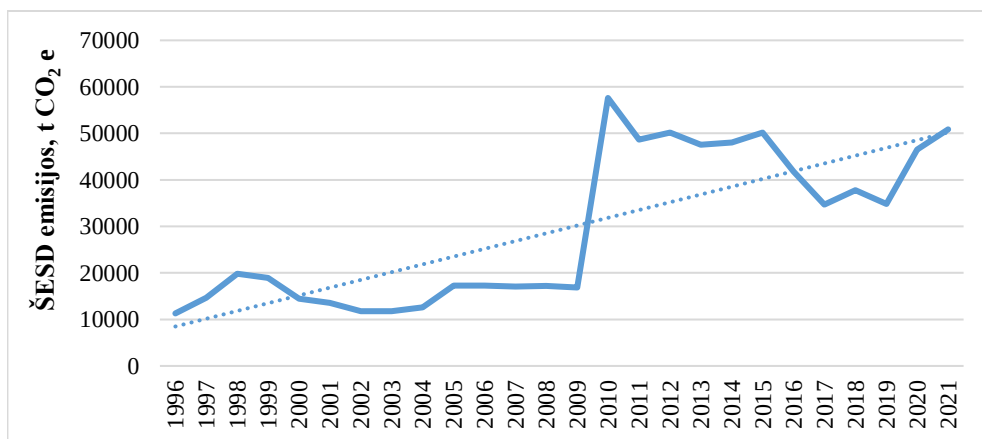
13 lentelė. Lietuvos šildymo sąnaudos vienam gyventojui

Metai	MWh/gyv	Metai	MWh/gyv	Metai	MWh/gyv
1996	5,29	2005	4,13	2015	3,94
1997	4,97	2006	4,41	2016	4,15
1998	4,76	2007	4,20	2017	4,56
1999	4,20	2008	4,00	2018	4,54
2000	3,82	2009	4,13	2019	4,25
2001	3,81	2010	4,31	2020	3,77
2002	4,05	2011	4,18	2021	4,41
2003	4,16	2012	4,30		
2004	4,05	2014	4,08		

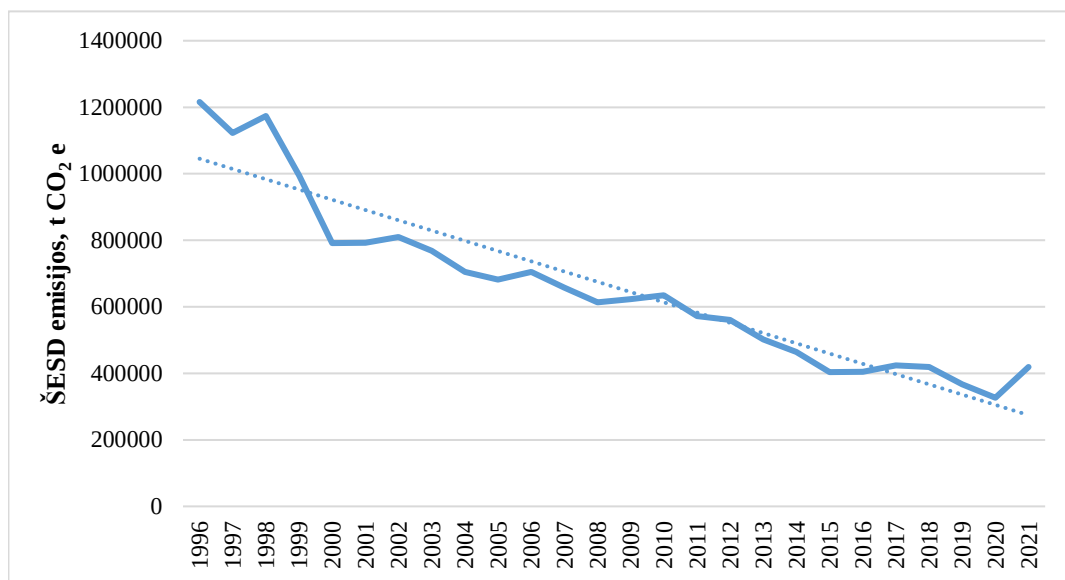
Pagal gautus Lietuvos duomenis buvo apskaičiuotos elektros energijos bei šildymo sąnaudos Kauno miestui pagal jo gyventojų skaičių nurodytą 12 paveiksle (žr. 4 priedą). Įvertinta gyventojų kaita nuo 1996 metų. Rezultatai rodo, kad elektros energijos suvartojimas laikui bėgant didėja ir nuo 1996 m. 131479 MWh pakilo iki 150105 MWh 2021 m. t.y. padidėjo 14,2 %. Šildymo sąnaudos Kauno mieste sumažėjo 39,1% ir atitinkamai nukrito nuo 2162465 MWh 1996 iki 1316145 MWh 2021 metais.

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos apskaičiuotos nuo 1996 m. iki 2021 m. įvertinus energijos išgavimo iš skirtingų šaltinių procentinės dalies kaitą kasmet. Duomenys apie skirtingų šaltinių procentinės dalies kitimą kasmet buvo gauti iš „Our World in Data“ statistinių duomenų portalo ir Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2021 metų apžvalgos [47, 48].

Išanalizavus gautus ŠESD kaitos duomenis matyti tokia pat kaip ir energijos suvartojimo duomenų analizės rezultatų tendencija. ŠESD emisijos nuo 1996 metų padidėjo 4,5 karto elektros energijos sektoriuje ir sumažėjo apie 3 kartus centrinio šildymo sektoriuje. 2009 metais matyti ŠESD emisijų kiekio staigus kilimas, kuris gali būti susijęs su Ignalinos atominės elektrinės uždarymu. Po reaktorių sustabdymo visa Lietuva, įskaitant ir Kauno miestą privalėjo padidinti importuojamos elektros energijos dalį ir elektros gamybą iš kitų šaltinių, kas lėmė ŠESD emisijų kilimą. Iš duomenų matyti, kad 2010 metais 4,6 karto pakilo gamtinių dujų procentinė dalis Lietuvos elektros energijos sektoriuje. Taip pat pakilo ir elektros energijos pagamintos hidroelektrinėse procentinė dalis. 2009 metais ji sudarė 5 %, o 2010 metais jau 13,7 % viso Lietuvoje pagaminamo elektros kiekio [48].

**12 pav.** ŠESD emisijų kaita pagal elektros energijos sąnaudas 1996–2021 m.

ŠESD emisijų iš centrinio šildymo sektoriaus tendencija yra stabilesnė, iš gauto grafiko matyti tolygus emisijų mažėjimas kasmet. Emisijų mažėjimą Kauno mieste kaip ir visoje Lietuvoje gali lemti trumpesnis šaltojo sezono laikotarpis, didėjančios šildymo kainos, daugėjantis renovuotų gyvenamųjų bei visuomeninių pastatų skaičius mieste bei didesnis energijos vartojimo efektyvumas.

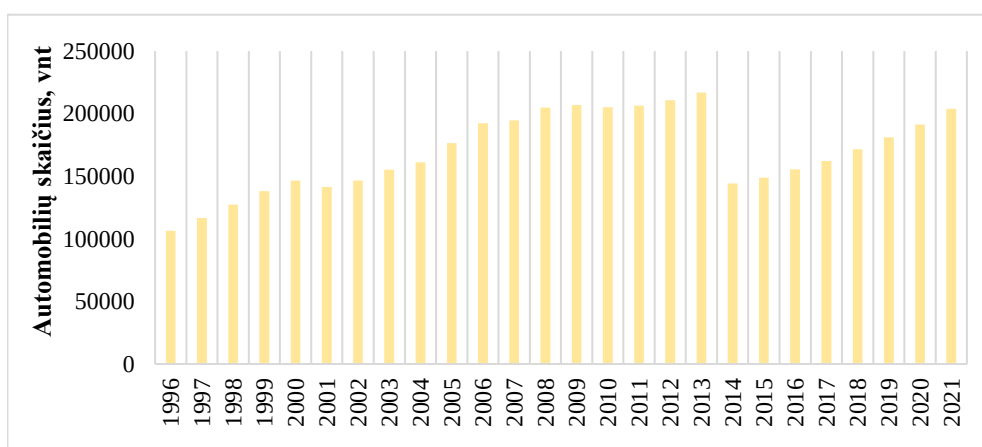


13 pav. ŠESD emisijų kaita pagal šildymo sąnaudas 1996–2021 m.

– Transportas

Kelių transporto sektorius yra pagrindinis ŠESD išmetimo ir degalų suvartojimo šaltinis transporto sektoriuje. Buvo daroma prielaida, kad kelių transporto sektoriuje išmetamų ŠESD kiekis yra tiesiogiai susijęs su degalų suvartojimu, kuriam įtakos turi Lietuvoje registruotų iškastiniu kuru varomų kelių transporto priemonių skaičius.

Transporto sektoriuje atsižvelgta į bendrą kelių transporto priemonių skaičiaus kitimą. Visų pirma įvertintas Lietuvos transporto priemonių skaičius vienam gyventojui ir po to padaugintas iš Kauno miesto gyventojų skaičiaus [49]. Gautas bendras visų transporto priemonių skaičius Kauno mieste. Rezultatai rodo, kad nuo 1996 iki 2021 metų transporto priemonių skaičius padidėjo 91,6 %.



14 pav. Bendras transporto priemonių skaičius Kauno mieste

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis apskaičiuotas įvertinus atskirų transporto priemonių procentinę dalį mieste ir jų suvartojamą kurą.

Pagal „Regitros“ įmonės atvirus duomenis skirtingų kuro rūšių Lietuvoje yra 36 įskaitant ir hibridinius automobilius. Kauno miesto savivaldybėje šių rūšių yra 21 [49]. Kadangi visoms rūšims įvertinti nėra išvestų emisijos faktorių, visos jos buvo suskirstytos į 4 dideles grupes: dyzelinės, benzininės, elektrinės ir kitu kuru varomos transporto priemonės.

Lietuvos statistikos departamento duomenimis, visos transporto priemonės pagal rūšį buvo suskirstytos į kelias grupes [48]:

- lengvieji automobiliai
- motociklai ir mopedai
- autobusai
- krovininiai automobiliai ir puspriekabių vilkikai
- kiti (puspriekabės, priekabos ir specialūs automobiliai)

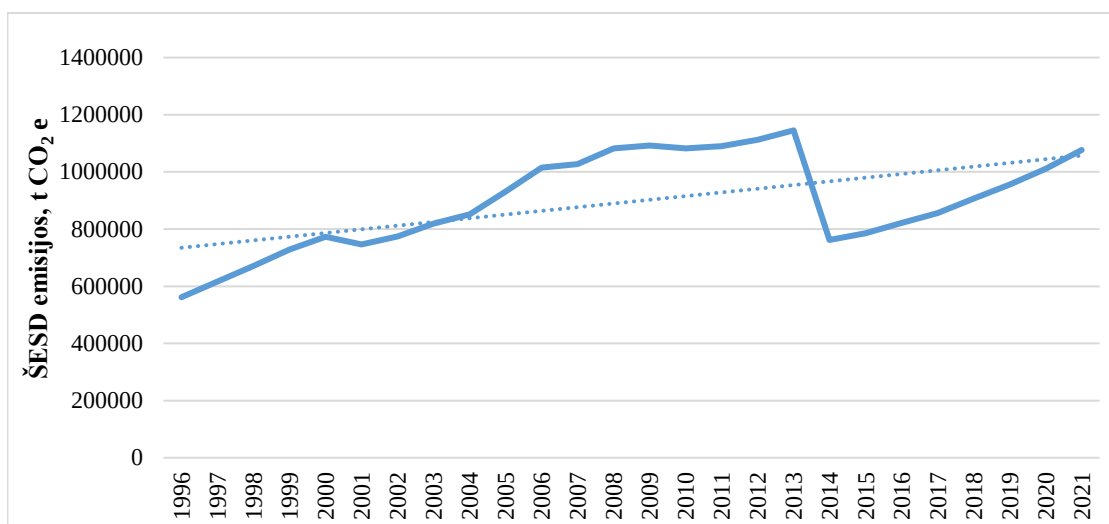
Įvertinus, kad skirtingų transporto priemonių dalis Lietuvoje kasmet kinta nežymiai, darbe priimta, kad atskirų transporto priemonių procentinė dalis kasmet išlieka tokia pati. Lengvieji automobiliai sudaro apie 78 %, motociklai ir mopedai – 3,3 %, autobusai – 0,58 %, krovininiai – 9,3% ir kitos transporto priemonės – 8 %. Taip pat įvertinta, kad kiekviena transporto rūšis suvartoja skirtingą procentą dyzelino, benzino, elektros ir kito kuro [48, 50].

14 lentelės duomenimis daugiausiai Kauno mieste lengvieji, krovininiai automobiliai bei autobusai suvartoja dyzelino, o motociklai – benzino. Kauno miesto savivaldybėje lengvųjų elektrinių automobilių dalis sudaro tik 0,6 %.

14 lentelė. Skirtingų transporto priemonių suvartojamo kuro procentas pagal kuro rūšis [48]

Suvartojamas kuras, %	Lengvieji automobiliai	Krovininiai automobiliai ir puspriekabių vilkikai	Autobusai	Motociklai ir mopedai	Kitos transporto priemonės
Benzinas	25,7	1,14	0,23	94,6	0,01
Dyzelinas	62,5	97,5	71,1	1,51	0
Elektra	0,61	0,07	15,1	2,8	0,52
Kiti	11,2	1,29	13,55	1,12	99,47

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos apskaičiuotos atsižvelgiant į vidutinį lengvųjų automobilių nuvažiuotų kilometrų skaičių, kitaip tariant į vidutinę automobilio ridą, vidutinį emisijų faktorių bei automobilių skaičių kasmet. Pagal išnagrinėtus literatūros duomenis įvertinta, kad vidutinė automobilio rida siekia nuo 20 iki 30 tūkstančių kilometrų per metus, todėl tolimesniems skaičiavimams priimtas nuvažiuotų kilometrų vidurkis t.y 25 tūkstančiai kilometrų per metus [49, 50]. ŠESD emisijos buvo paskaičiuotos nuo 1996 iki 2021 metų pagal emisijų faktorius pateiktus pirmam priede. Gauti rezultatai atvaizduoti grafiškai 15 paveiksle.



15 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijos nuo 1996 iki 2021 metų

Pagal apskaičiuotus duomenis Kauno miesto lengvųjų automobilių skaičius kilo iki 2013 metų ir po to staigiai krito, todėl ir gautos emisijos 2014 metais yra mažesnės. Tokį pokytį galėjo lemti planuojamas euro įvedimas Lietuvoje 2015 metais, kuris paskatino didelį kainų šuolį visoje Lietuvoje prieš įvedimo metus. Kainų šuolis paskatino mažesnę visų prekių pirkimą mieste įskaitant transporto priemones. Taip pat didelės įtakos turėjo ir Ukrainos ir Rusijos konfliktas 2014 metais, kurio metu sumažėjo automobilių detalių tiekimas į Europą, o tai galėjo paskatinti ir mažesnę jų pardavimą. Tačiau, 2021 metais automobilių skaičius padidėjo 41 % lyginant su 2014 metais. Tokie duomenys rodo didelį lengvųjų automobilių poreikį Kauno mieste [51].

– **Pramonė**

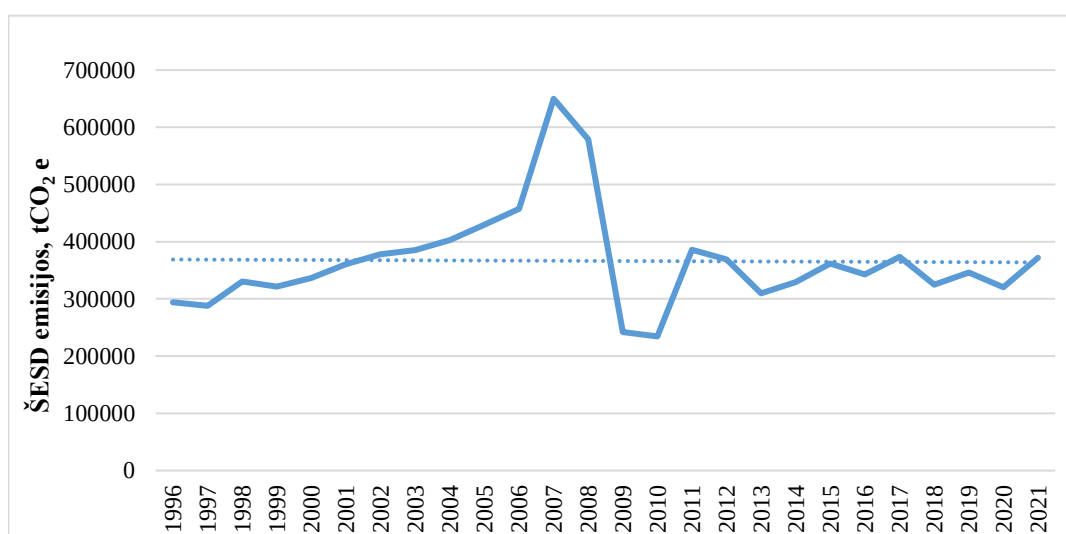
Iš Lietuvos statistikos departamento ir Aplinkos apsaugos agentūros gauti Lietuvos pramonės sektoriaus ir kelių Kauno miesto įmonių ŠESD emisijų kiekiai, bet kadangi Kauno miesto kelios įmonės nenusako visos situacijos pramonės sektoriuje, tai Kauno miesto pramonės emisijos buvo įvertintos tik pagal gautus Lietuvos duomenis [52, 53].

Kauno miesto įmonių ŠESD emisijų duomenys suskirstyti į procesų ir degimo metu gautas emisijas. Atitinkamai jų dalis, nuo bendrų emisijų gautų iš 10 įmonių, sudaro 8,1 % ir 91,9 %. Tokį pasiskirstymą galėjo lemti tai, kad didelę ŠESD emisijų iš nagrinėtų 10 įmonių dalį sudaro katilinės. Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis iš technologinių procesų gautas emisijas sukelia magnio ir kalcio oksidų bei karbonatų naudojimas pramonėje. Degimo metu gautas emisijas sukelia naudojamas iškastinis kuras: mazutas, gamtinės dujos, kietas biokuras, durpės, pjuvenos ir kiti [53].

15 lentelė. Kauno miesto veiklos vykdytojų metinių išmetamųjų ŠESD kiekio ataskaitų duomenys [53]

t CO ₂ e	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Rokų keramika	1796	701	1700	1910	1915	13	0
AB Palemono keramikos gamykla	3124	3737	3097	2935.6	3557.6	3169	1378
UAB Kauno stiklas	14255	14030	15641	14031	14240.2	14709.2	13051.9
Petrašiūnų katilinė	10810	8	1855	2487	10906	5947	1620
Pergalės katilinė	10285	537	417	1060	3096	2038	1268
Šilko katilinė	3297	1	668	3765	5299	3227	2436
Garliavos katilinė	299	582	185	126	171	112	199
Jurbarko katilinė	7067	6386	4593	1307	1536	1320	1757
UAB Kauno termofikacinė elektrinė	199758	127681	61614	10937	9881	3782	1853
UAB Idex Biruliškių	–	–	–	2970	9699	754	0
Iš viso	250691	153663	89770	41529	60301	35071	23563

Pagal Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerijos pateiktas Lietuvos nacionalinės ŠESD apskaitos ataskaitas ir duomenų rinkinius, išskaičiuoti t CO₂ ekvivalentai tenkantys vienam Lietuvos gyventojui ir po to padauginti iš Kauno miesto gyventojų skaičiaus (žr. 4 priedą) [52]. Duomenys rodo, kad pramonės sektoriaus emisijos yra labai nepastovios ir 2009 metais matomas staigus jų kiekio kritimas, kurį galėjo lemti Ignalinos atominės elektrinės reaktorių sustabdymas. Tačiau po to emisijos padidėjo per 53,5 % ir 2021 metais jau pasiekė 371 792 t CO₂ ekvivalentų.



16 pav. Pramonės sektoriaus emisijos Kauno mieste 1996–2021 m.

3.3. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimas

Atlikus retrospektyvinių duomenų, t.y. Lietuvos bei Kauno sektorių, analizę buvo nustatytos kitimo tendencijos, kurios buvo aprašytos regresinėmis lygtimis, šios lygtys kartu su kitais duomenimis buvo panaudotos sudarant šiltnamio efektą sukeliančių dujų prognozes iki 2050 metų (žr. 3 ir 4 priedą).

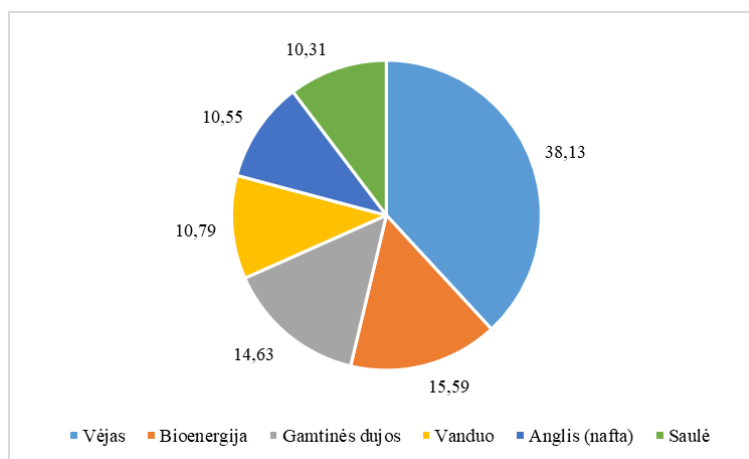
– Elektros energija

Išnagrinėtas Kauno miesto elektros suvartojimo kitimas pagal gyventojų skaičių įvertinus Lietuvos energijos suvartojimo vienam gyventojui kitimą iki 2050 metų (žr. 3 priedą). Kauno miesto elektros

energijos prognozės atliktos pirmiausia nustatant bendrą elektros energijos suvartojimą iki 2050 m. Tada gautas elektros suvartojimas buvo padaugintas iš kiekvieno kuro procentinės dalies ir išmetamųjų teršalų faktorių, kad būtų galima apskaičiuoti prognozuojamą išmetamųjų ŠESD kiekį.

Elektros energijos suvartojimo duomenys buvo apskaičiuoti pagal atskirus elektros gamybos šaltinius, įvertinus tai, kad daug elektros energijos vis dar yra importuojama. Įvertintas elektros energijos išgavimo iš vėjo, saulės, vandens, gamtinių dujų, bioenergijos (atliekų deginimo) bei anglies (naftos) procentas.

Statistikos portalo „Our World in Data“ duomenimis didžiausią visos pagamintos elektros energijos 2022 metais sudaro vėjo energija – 38,13 %, po to seka bioenergija gauta iš atliekų deginimo, gamtinės dujos, vandens, anglies (naftos produktų) ir iš saulės elektrinių išgauta energija [52].



17 pav. Pirminio kuro sudėtis elektros energijos gamyboje Lietuvoje, % [56]

Emisijos faktoriai buvo priimti pagal IPCC 2014 metų ataskaitą, kuri numato, kad vienai pagamintai kWh iš šaltinių, iš kurių išgaunama energija, jų gyvavimo ciklo metu išmetama nuo 11 iki 820 g CO₂ ekvivalento (žr. 1 priedą) [54].

Elektros energijos sąnaudos nuo 2022 iki 2050 metų padidės per 55 % t.y. pakils nuo 143918,4 MWh iki 223072,4 MWh

Apskaičiuoti bei sudaryti trys ŠESD emisijų kaitos scenarijai įvertinus elektros energijos išgavimo iš atsinaujinančių energijos šaltinių procentinės dalies kitimą nuo viso šalyje pagaminto kiekio.

– **Bazinis scenarijus**

Apskaičiuota, kad vėjo, saulės ir vandens pagaminta elektros energija šiuo metu Lietuvoje sudaro 59,23 %. Priimta, kad bazinio scenarijaus atveju, elektros energijos iš atsinaujinančių išteklių dalis kasmet nekis. Atsižvelgus į tai, sudarytas šiltnamio efektą sukeliančių dujų kitimo grafikas. Iš grafiko matyti, kad AEI daliai nekintant ŠESD emisijos laikui bėgant auga ir 2030 metais bus apie 50,8 kt CO₂ ekvivalentų, o 2050 metais viršys 60 kt CO₂ ekvivalentų.

– **Vidutinis scenarijus**

Vidutinio scenarijaus atveju įvertinta tai, kad atsinaujinančių išteklių dalis nuo bendro elektros energijos suvartojimo iki 2050 metų sudarys apie 80 %.

Sudarant tokį scenarijų pirmiausia buvo apskaičiuotas vidutinis atsinaujinančių energijos šaltinių augimo greitis per metus. Atskirai įvertintas augimo greitis energijai pagamintai iš vėjo ir saulės šaltinių, priimant, kad elektros gamybos iš hidroelektrinių dalis nekis.

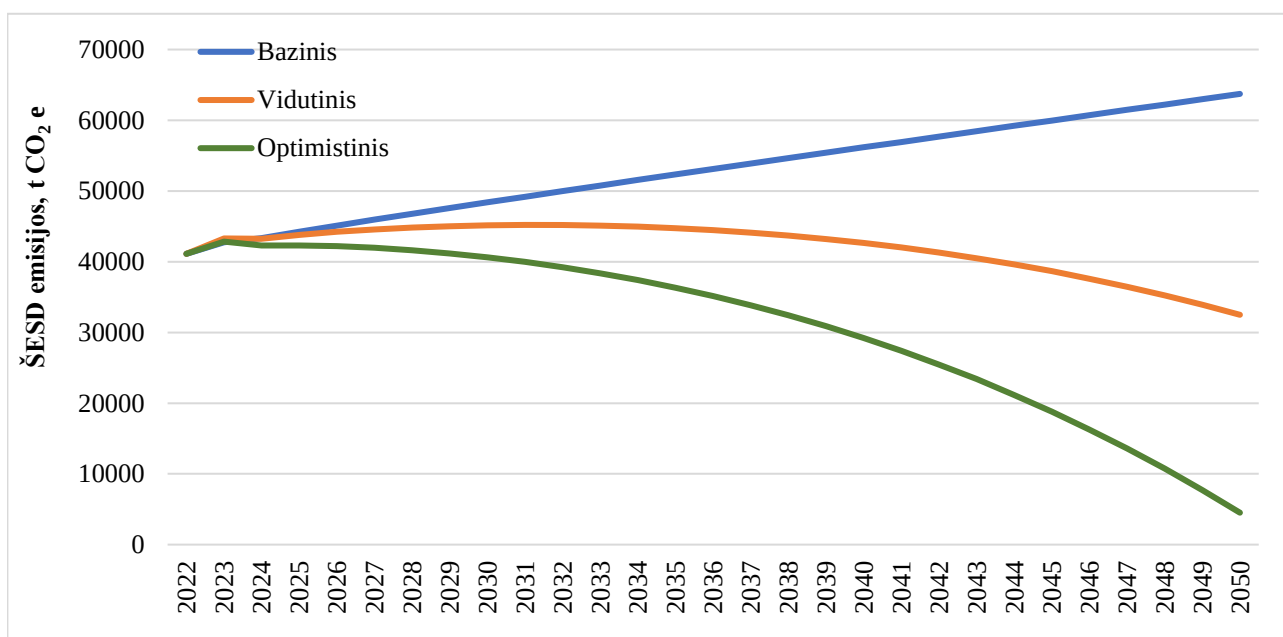
Apskaičiuota, kad norint pasiekti 80 % AEI dalį 2050 metais, reikia, kad elektros energijos išgautos iš vėjo jėgainių dalis kasmet augtų apie 3,4 %, o iš saulės elektrinių – apie 0,5 %. ŠESD emisijos pagal tokį scenarijų 2050 sumažėtų apie 49 % lyginant su baziniu scenarijumi, ir bus apie 32,5 kt CO₂ ekvivalentų.

– Optimistinis scenarijus

Optimistinio scenarijau atveju priimta, kad iki 2050 metų AEI dalis elektros energijos suvartojime pasieks 100 %.

Apskaičiuota, kad tokiu atveju elektros energijos išgautos iš vėjo jėgainių dalis kasmet turi augti apie 4 %, o iš saulės elektrinių – apie 3 %. Pasiekus 100 % AEI dalį, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos sumažėtų apie 92,9 % lyginant su baziniu scenarijumi.

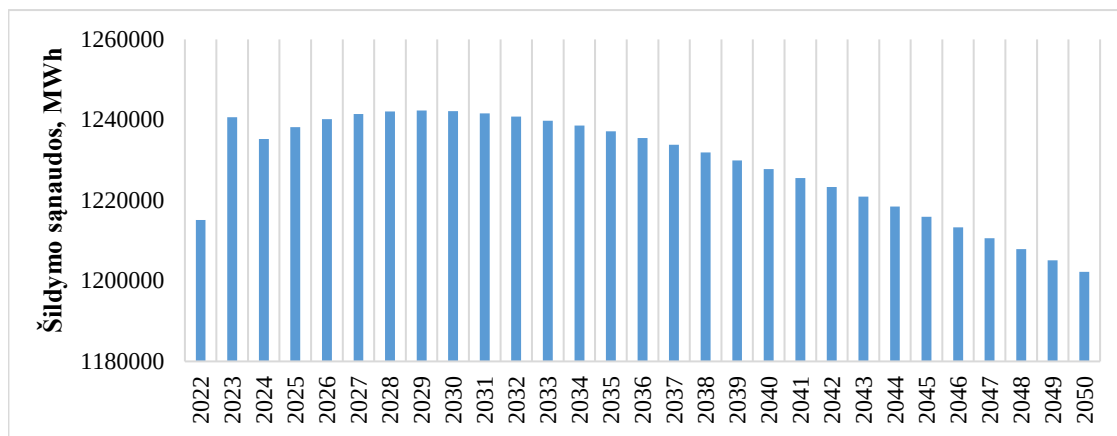
Žemiau pateiktas visų scenarijų, gautų įvertinus ŠESD emisijų kitimą iš elektros energijos sektoriaus, grafikas.



18 pav. ŠESD emisijų prognozės elektros energijos sektoriuje scenarijų rezultatai

– Šildymo sąnaudos

Šildymo sąnaudos Kauno mieste apskaičiuotos pagal Lietuvos šildymo sąnaudų tenkančių vienam gyventojui ir Kauno miesto gyventojų skaičiaus kitimą iki 2050 metų (žr. 3 ir 5 priedą). Atsižvelgiant į atliktą šilumos suvartojimo Kauno mieste prognozę, iki 2050 metų šilumos sąnaudos turėtų pasiekti 1202290 MWh. Prognozuojama, kad šildymo sąnaudos didės iki 2030 metų ir po to pradės kristi. 2030 metais jos sudarys 1242142 MWh. Lyginant 2030 ir 2050 metus šildymo sąnaudos sumažės 3,2 %.



19 pav. Šildymo sąnaudų prognozė Kauno mieste iki 2050 metų

Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų prognozavimui įvertinta Lietuvos šildymo sektoriaus šaltinių procentinė dalis 2021 metais [47]. Daugiausiai šilumos buvo pagaminama iš biomasės, ji sudaro 67,3 % viso pagaminto šilumos kiekio. Po to seka gamtinės dujos – 23,5 %, atliekos – 6,3 % ir anglis (naftos produktai) – 2,9 %.

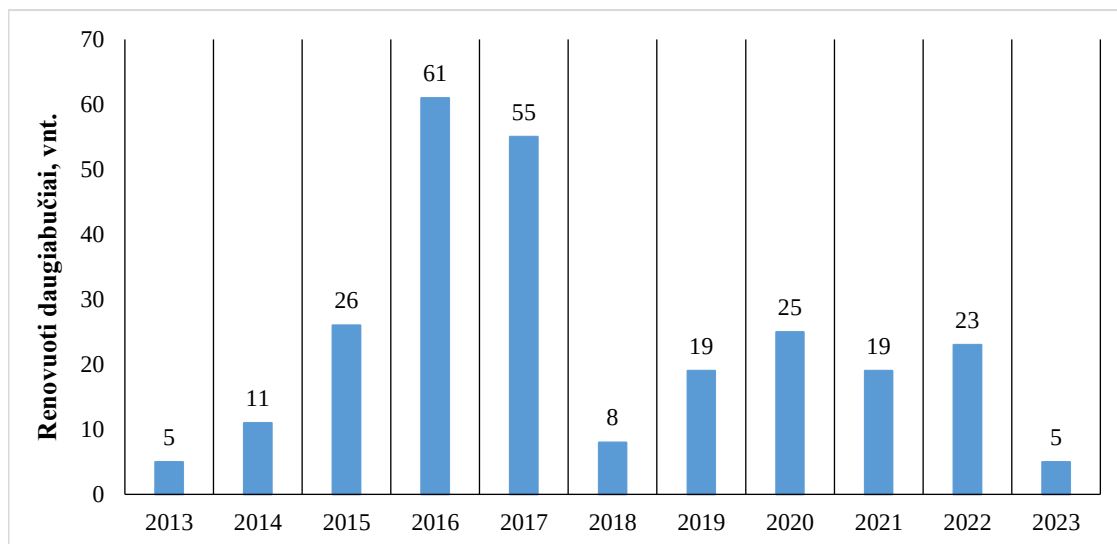
Pagal Kauno miesto savivaldybės ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos aplinkos projektų valdymo agentūros (APVA) daugiabučių namų atnaujinimo (modernizavimo) programos duomenis šilumos suvartojimas vidutiniškai po renovacijos sumažėja 64,6 % [55, 56].

16 lentelė. Šiluminės energijos sąnaudų pokytis po daugiabučių renovacijos [54]

Šiluminės energijos sąnaudos, kWh/m ²	
Prieš renovaciją	282,9
Po renovacijos	103
Pokytis	179,9

APVA programos duomenimis šiuo metu Kauno miesto savivaldybėje yra 4416 potencialiai renovuojamų daugiabučių iš kurių 307 baigti renovuoti. Renovuotų daugiabučių dalis savivaldybėje sudaro 7 % [55].

20 paveiksle pateikiamas renovuotų daugiabučių skaičius savivaldybėje nuo 2013 metų. Duomenys rodo, kad daugiausiai daugiabučių buvo atrenovuota 2016 metais.



20 pav. Renovuotų daugiabučių skaičius Kauno mieste [55]

Pagal Kauno miesto savivaldybės pateiktą daugiabučių namų sąrašą ir daugiabučių renovacijos žemėlapi, buvo apskaičiuota, kad vidutiniškai vieno daugiabučio naudingasis plotas yra apie 775,7 m² [55, 56].

Sudaryti trys ŠESD emisijų kaitos scenarijai įvertinus tokias emisijų mažinimo priemones, kaip atsinaujinančių išteklių procentinės dalies kitimas Kauno miesto šildymo sektoriuje bei daugiabučių renovacija.

– **Bazinis scenarijus**

Bazinio scenarijaus atveju priimta, kad renovuojamų daugiabučių ir atsinaujinančių energijos šaltinių procentinė dalis Kauno mieste išliks pastovi. Tokio scenarijaus atveju prognozė rodo, kad ŠESD emisijos palaipsniui mažės, bet 2050 metais vis dar sieks 409,2 kt CO₂e.

– **Vidutinis scenarijus**

Vidutinio scenarijaus atveju įvertinta, kad iki 2050 metų bus atrenovuota 50% visų potencialiai renovuojamų daugiabučių ploto ir atsinaujinančių išteklių procentinė dalis sudarys 100% viso pagaminto šilumos kiekio. Tokio scenarijaus atveju renovuojamo daugiabučių ploto dalis kasmet turi augti apie 7,4 %.

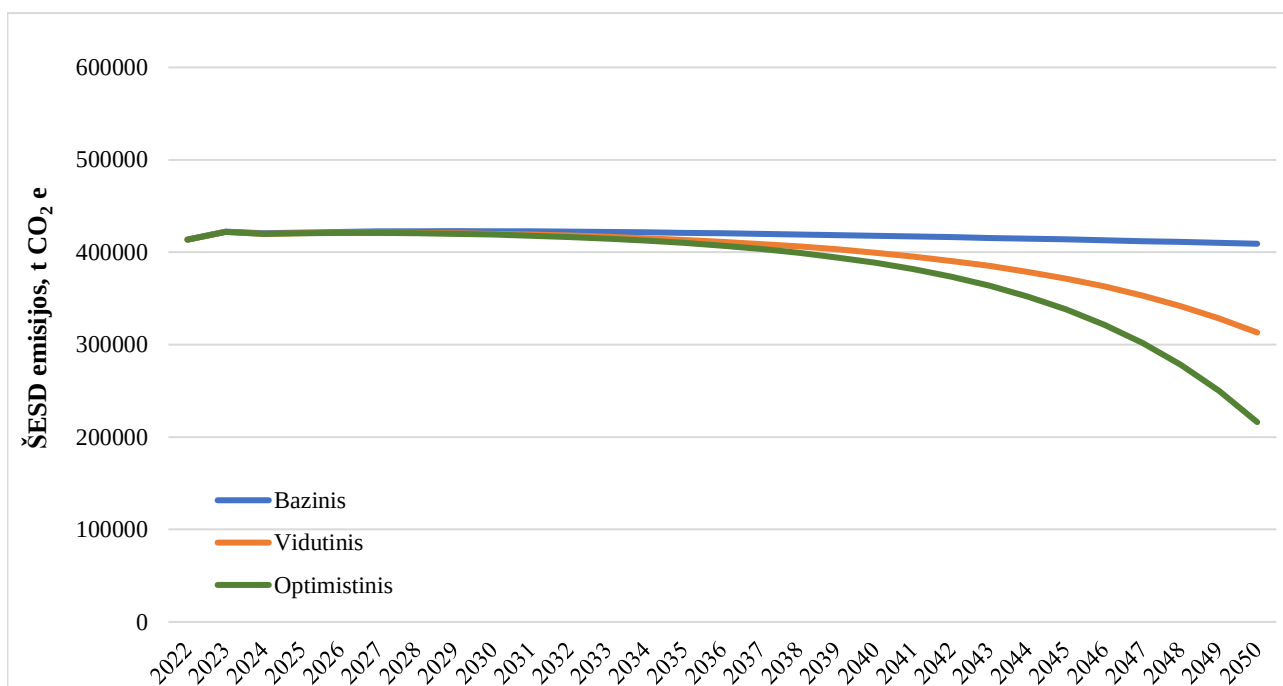
Atsinaujinančių išteklių augimo greitis turėtų būti apie 0,17 % kasmet, kad 2050 metais sudarytų 100 % viso pagaminto šilumos kiekio.

Apskaičiuota kad vidutinio scenarijaus atveju ŠESD emisijos atitinkamai sumažėja 23,47 % lyginant su baziniu scenarijumi.

– **Optimistinis scenarijus**

Vidutinio scenarijaus atveju įvertinta, kad iki 2050 metų bus atrenovuota 100 % daugiabučių ir atsinaujinančių išteklių procentinė dalis sudarys 100 %. Renovuojamo ploto augimo greitis turėtų būti apie 10,1 %.

Apskaičiuota kad optimistinio scenarijaus atveju ŠESD emisijos atitinkamai sumažėja 47,16 % lyginant su baziniu scenarijumi.

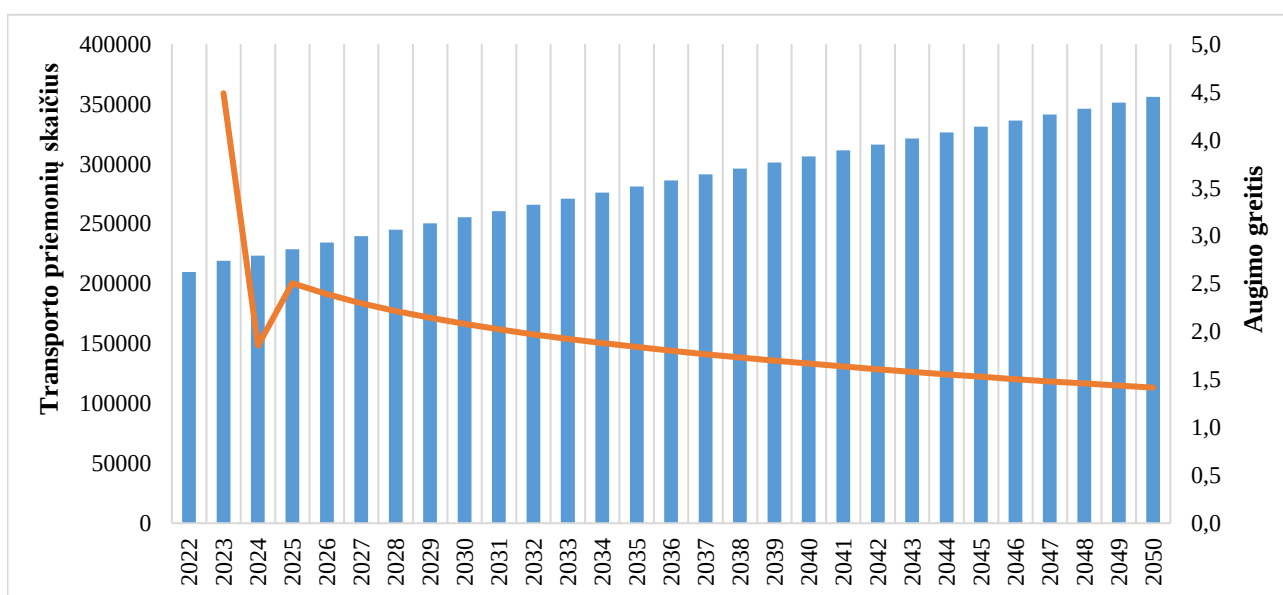


21 pav. Šildymo sektoriaus ŠESD emisijų kitimo scenarijų rezultatai

– Transportas

Įvertintas Lietuvos transporto priemonių skaičiaus tenkančio vienam gyventojui kitimas iki 2050 metų (žr. 3 priedą). Kaip ir esamos situacijos vertinime apskaičiuotas ŠESD kiekis pagal skirtingas transporto rūšis ir jų suvartojamą dyzelino, benzino, elektros ir kitos kuro rūšies procentinę dalį [50].

Sudaryta transporto priemonių kiekio prognozė rodo didėjantį jų skaičių kasmet. Iki 2030 metų Kauno mieste bus 255425 ir iki 2050 – 356017 transporto priemonių. Tačiau, kaip matyti iš grafiko automobilių skaičiaus augimo greitis kasmet mažėja.



22 pav. Kauno miesto bendro transporto priemonių skaičiaus kitimo prognozė iki 2050 metų

Kaip ŠESD mažinimo priemonė, buvo įvertintas elektromobilių procentinės dalies augimas iki 2050 metų [57].

Pagal ankščiau pateiktus duomenis sudaryta šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio kaitos prognozė iki 2050. Paruošti trys emisijų kaitos scenarijai priklausantys nuo elektromobilių skaičiaus kitimo greičio. Scenarijams sudaryti priimtas toks emisijų faktorius, kuris numato, kad visa elektromobilių suvartojama elektra yra pagaminta iš atsinaujinančių išteklių [58].

– **Bazinis scenarijus**

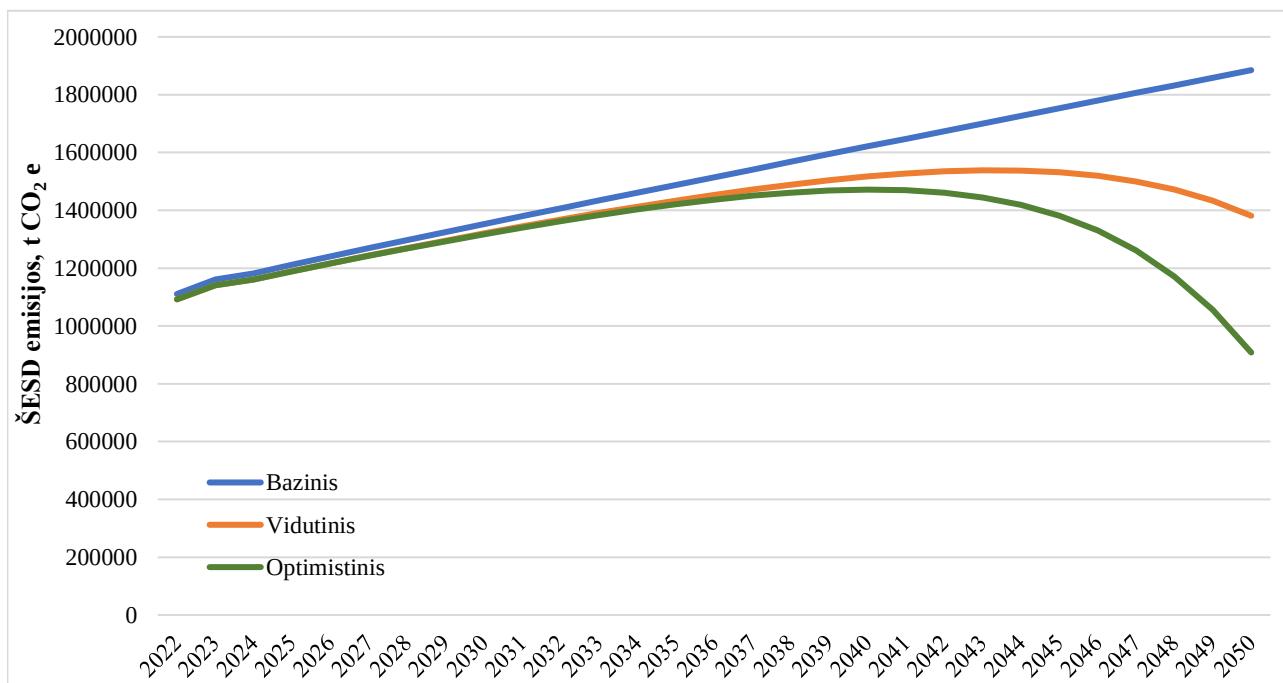
Bazinio scenarijaus atveju įvertinta, kad kasmet elektromobilių procentinė dalis nuo lengvųjų automobilių skaičiaus nekis t.y. išliks apie 0,61 % kasmet. Ir tokiu atveju elektromobilių skaičiaus augimo greitis mažės, kaip rodo prognozės pagal dabartinių metų duomenys, o ŠESD emisijos didės, nepaisant to kad elektromobilių daugės. Jų augimo greitis bus per mažas, kad emisijos imtų sparčiau mažėti. Tokio scenarijaus atveju ŠESD emisijos iš transporto sektoriaus sieks 1884,8 kt CO₂e.

– **Vidutinis scenarijus**

Kai iškastinį kurą deginantys lengvieji automobiliai bus pakeisti į elektrinius bent 50 % iki 2050, tada emisijos sumažės bent 26,7 %. Elektromobilių augimo greitis bus apie 19,3 %. Taip pat nustatyta, kad 2050 m. lengvųjų automobilių parką sudarys: 12,9 % benzininiai, 31,4 % dyzeliniai ir 5,6 % kitas kuro rūšis naudojančios automobiliai.

– **Optimistinis scenarijus**

Elektriniai automobiliai sudarys apie 100 % visų lengvųjų automobilių ir tokiu atveju ŠESD emisijos sumažės apie 51,8 %. Tokio scenarijaus atveju elektromobilių skaičiaus augimo greitis kasmet turėtų būti apie 22,3 %.



23 pav. Transporto sektoriaus ŠESD emisijų kitimo scenarijai

– **Pramonė**

Pagal Lietuvos pramonės sektoriaus ŠESD emisijų kiekio tenkančio vienam gyventojui kitimo prognozę ir pagal Kauno miesto gyventojų skaičiaus prognozę iki 2050 metų, buvo apskaičiuotos Kauno miesto pramonės sektoriaus emisijos, kurios iki 2050 metų siekia 442663 t CO₂ ekvivalentų (žr. 3 ir 5 priedą). Pagal apskaičiuotus duomenis buvo sudaryti trys emisijų kaitos scenarijai:

- **Bazinis scenarijus**

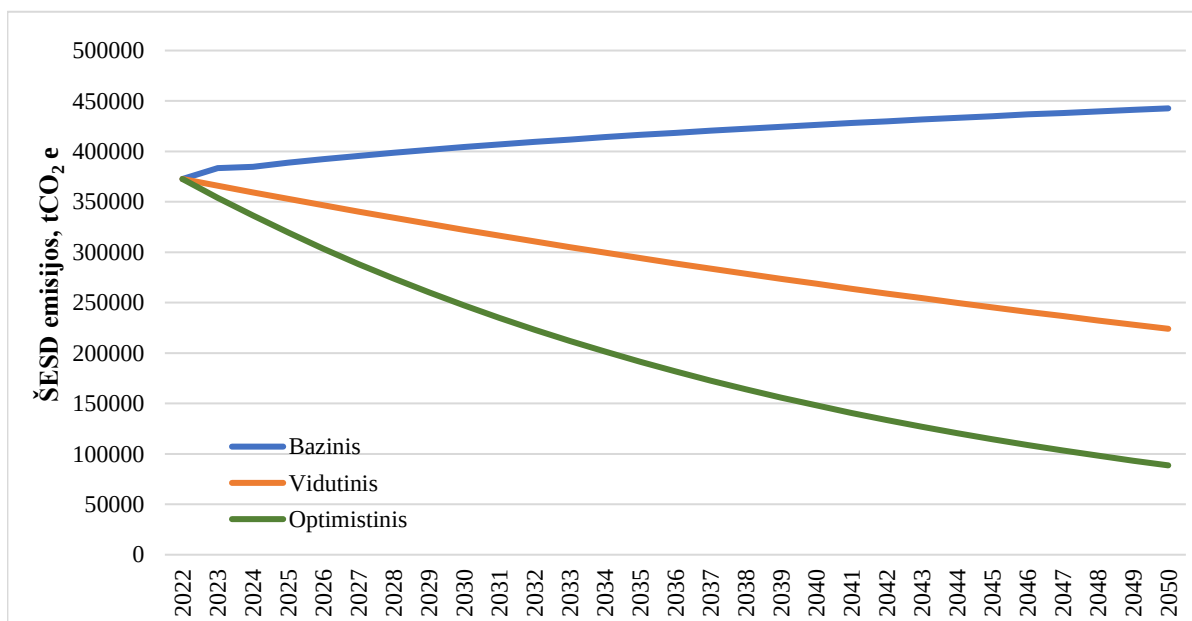
Bazinio scenarijaus atveju įvertinta, kad pramonės emisijos nekis ir kasmet augs apie 0,3 %.

- **Vidutinis scenarijus**

Pramonės sektoriaus emisijos sumažės iki 50 % 2050 metais lyginant su baziniu scenarijumi. Tokiu atveju emisijų mažėjimas kasmet turėtų būti apie 2 %.

- **Optimistinis scenarijus**

Pramonės sektoriaus emisijos sumažės iki 80 % 2050 metais lyginant su baziniu scenarijumi. Tokiu atveju emisijų mažėjimas kasmet turėtų būti apie 5 %. Optimistinio scenarijaus atveju įvertinta, kad pramoninių emisijų mažinimui įtakos turi senos gamybos technologijos, todėl pasiekti 100 % emisijų sumažinimą iki 2050 metų yra nerealu.



24 pav. Pramonės sektoriaus ŠESD kitimo scenarijai

3.4. ŠESD emisijų kompensavimas

Europos Sąjungoje miškai kasmet sugeria apie 10 % viso ES išmetamo šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio. ES turi 159 mln. hektarų miškų, kurie užima 43,5 % jos sausumos ploto. Skirtingose ES šalyse miškų plotas gali labai skirtis: Maltoje jis siekia vos 10 %, o Suomijoje – beveik 70 %. Palyginti su kiekvienos valstybės narės išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiu, miško žemė sugeria daugiau kaip 80 % CO₂ ekvivalento Švedijoje (82,0 %) ir daugiau kaip 50 % Lietuvoje (50,4 %), toliau seka Suomija (45,4 %) ir Slovėnija (44,5 %) [59, 60].

25 paveiksle pavaizduotas Kauno žaliųjų plotų žemėlapis. Žaliųjų erdvių plotas Kauno mieste iš viso sudaro 31,1 % viso miesto ploto ir atitinkamai užima 4877,4 hektarus [61].



25 pav. Kauno miesto žaliųjų plotų planas [61]

Pagal žaliųjų vietų plotus buvo įvertintas Kauno miesto ŠESD emisijų kompensavimo pajėgumas, t.y kiek ŠESD emisijų Kauno parkai ir žaliosios zonos kompensuotų.

Kauno miesto parkų sudėtis labai įvairi, vyrauja ąžuolai, uosiai, beržai, liepos ir klevai, bet pasitaiko ir drebulių, šermukšnių, tuopų, spygliuočių medžių, skroblų bei kaštonų [61].

17 lentelė. Kelių medžių rūšių CO₂ sugėrimo pajėgumai per metus [62]

Medžiai	Pašalinimo greitis (t CO ₂ /ha/per metus)
Ąžuolai	9,5
Plačialapiai	11,8
Pušys	21,1
Spygliuočiai	11,6

CO₂ pašalinimo greitis priklauso ne tik nuo medžio rūšies bet ir nuo jo amžiaus. Jaunesni medžiai geba daugiau sugerti CO₂ nei senesni [63].

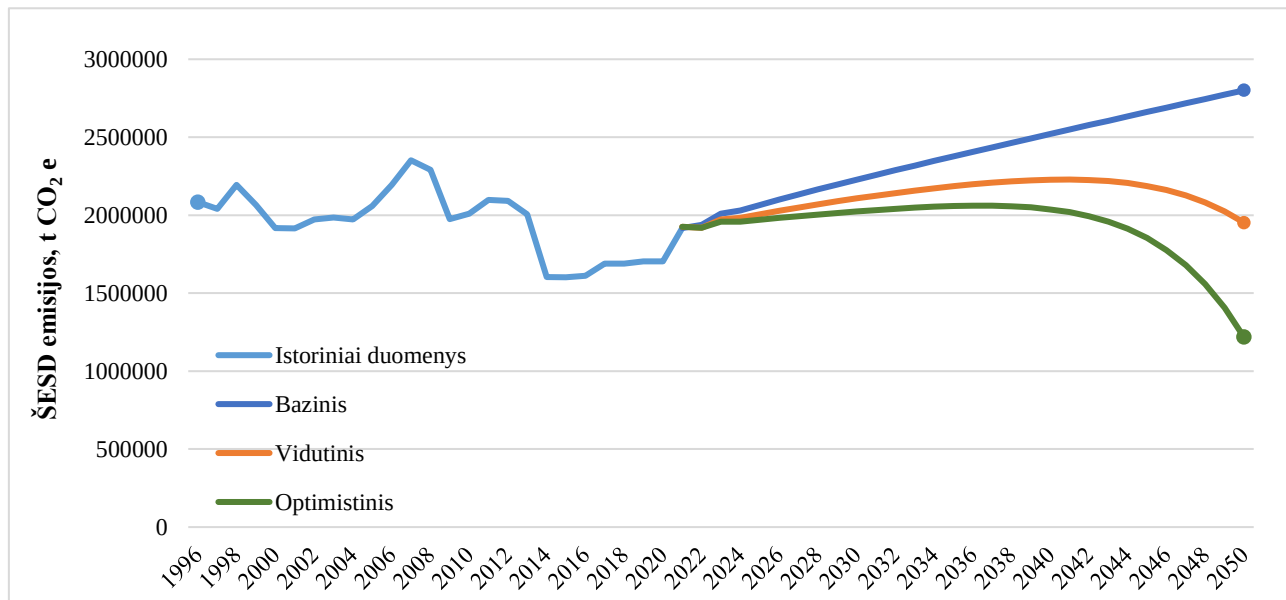
Pagal atliktą literatūros analizę nustatyta, kad Europoje, nepriklausomai koks vyrauja klimatas, nuo 0 – 20 metų medžiai geba sugerti iki 9,8 t CO₂/ha/per metus, o nuo 20–60 metų – tik 4,5 t CO₂/ha/per metus [62].

Įvertinus Europos miškų vidutinius CO₂ sugėrimo pajėgumus ir tai, kad Kauno mieste esantys medžiai yra daugiau nei 20 metų senumo buvo apskaičiuota kiek tonų Kauno mieste esantys žalieji plotai per metus sugertų CO₂:

$$4877,4 \text{ ha} \cdot \frac{4,5 \text{ t CO}_2 \text{ per metus}}{\text{ha}} = 21948,3 \text{ t} = 21,9 \text{ kt CO}_2 \text{ per metus}; \quad (3.4.1)$$

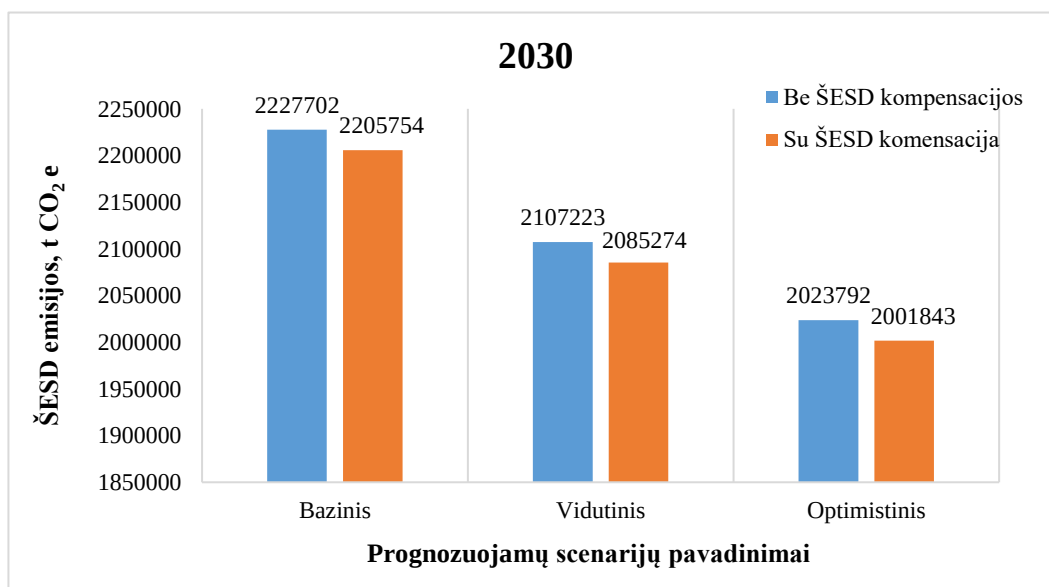
3.5. Bendros ŠESD emisijos

Pagal visus atliktus skaičiavimus sudarytas bendras, visų nagrinėtų Kauno miesto sektorių ŠESD emisijų kitimo scenarijų, grafikas. Nustatyta, kad nuo 2022 iki 2050 metų emisijos bazinio scenarijaus atveju padidės nuo 1938 kt iki 2800 kt. Apskaičiuota, kad 2050 metais emisijos lyginant su baziniu scenarijumi atitinkamai sumažės 30,3 ir 56,5 procentais.



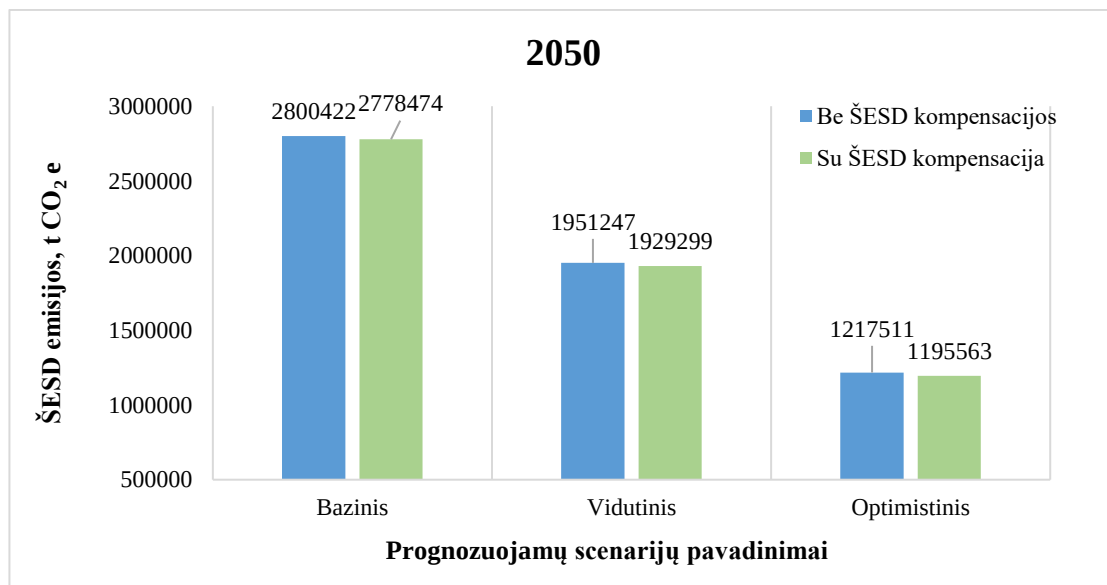
26 pav. Bendrų ŠESD emisijų kitimo scenarijai iki 2050 m.

Įvertinus Kauno miesto bendrą žaliųjų plotų CO₂ kompensavimą galutinės emisijos 2030 metais sumažėjo 0,99 % bazinio, 1,04 % – vidutinio ir 1,08 % – optimistinio scenarijaus atveju lyginant su emisijomis be ŠESD kompensavimo. Atitinkamai 2050 metais: 0,78 %, 1,12 % ir 1,8 %. Atliekant ilgalaikį prognozavimą iki 2050 m. buvo priimta prielaida, kad žaliųjų plotų procentinė dalis Kauno miesto administracinėje teritorijoje nekis.



27 pav. Bendra ŠESD emisijų pagal prognozuojamus scenarijus kaita Kauno mieste 2030 metais įvertinus žaliųjų plotų kompensavimo pajėgumą

Kadangi žalieji plotai kompensuoja pakankamai nedidelį CO₂ kiekį didelės įtakos galutinėms emisijoms nėra.



28 pav. Bendra ŠESD emisijų pagal prognozuojamus scenarijus kaita Kauno mieste 2050 metais įvertinus žaliųjų plotų kompensavimo pajėgumą

Įvertinus bendras šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, nustatyta, kad Kauno mieste didžiausią dalį išmetamų emisijų 2050 metais sudarys transporto sektorius – 67,3 %. Po to seka pramonės – 15,8 %, šildymo – 14,6 % ir elektros energijos – 2,3 % sektoriai.

Atlikus 1996 metų ŠESD emisijų palyginimą su 2050 metų emisijų kiekiu, apskaičiuota, kad emisijos bazinio scenarijaus atveju, kai esama situacija kasmet išlieka nepakitusi, padidėja maždaug 34,4 %. Vidutinio scenarijaus atveju emisijos nuo 1996 metų sumažės 6,3 %, o optimistinio scenarijaus atveju – 41,6 %

Išvados

1. Atlikus klimato kaitos temų analizę ir išnagrinėjus miestų veiksmų planus buvo nustatyta, jog esminiai faktoriai lemiantys klimato neutralumą yra: gyventojų skaičius, AEI dalis energijos gamyboje, energijos vartojimo efektyvumas ir žaliųjų teritorijų, gebančių neutralizuoti ŠESD emisijas mieste, plotas.
2. Išnagrinėjus gyventojų skaičiaus pokyčius Kaune už 1996 – 2023 m. laikotarpį buvo nustatyta, jog gyventojų skaičius mieste sparčiai mažėjo, o nuo 2019 m. stebima gyventojų skaičiaus didėjimo tendencija (gyventojų skaičius mieste nuo 2019 m. išaugo 6,4%). Įvertinus pastarojo laikotarpio gyventojų skaičiaus ir BVP kitimo tendencijas buvo naudojama logaritminės regresijos lygtis, remiantis kuria prognozuojama jog 2050 m. pradžioje Kauno mieste gyvens 323153 gyventojai.
3. Išanalizavus Kauno miesto elektros ir šiluminės energijos sunaudojimo pokyčius už 1996 – 2021 m. laikotarpį nustatyta, jog elektros energijos suvartojimas mieste padidėjo 14,2 %, o šildymo sąnaudos sumažėjo 39,1 %. Įvertinus elektros sąnaudų kitimo tendencijas ir numatant, kad 2050 m. visa miestui reikalinga elektros energija bus pagaminama iš AEI, prognozuojama, jog ŠESD emisijos sumažės 91,1 % lyginant su 2021 m. lygmeniu. Įvertinus šiluminės energijos sunaudojimo tendencijas ir numatant, kad 2050 m. mieste visa šiluminė energija bus pagaminama iš AEI ir bus renovuota 100 % potencialiai renovuojamų daugiabučių, prognozuojama, jog ŠESD emisijos sumažės 48,4 % lyginant su 2021 m. lygmeniu.

Atlikus autotransporto sektoriaus analizę Kaune nustatyta, kad 2021 m. šis sektorius į aplinką išmetė 1076 kt CO₂e. Įvertinus automobilių skaičiaus pokyčius ir numčius, kad automobilių parko sudėtis iki 2050 metų nekis, į aplinką būtų išmetama 42 % daugiau ŠESD. Prognozuojant, kad jei 2050 m. 50 % lengvųjų automobilių parko Kaune sudarys elektromobiliai, ŠESD emisijos sumažės 26,7 %, tuo tarpu jei lengvųjų automobilių parką sudarytų vien elektromobiliai, emisijos sumažėtų 51,8 %.

Išnagrinėjus pramonės sektoriaus ŠESD emisijų kieki, pastebėta, kad jų kitimo tendencija yra pastovi. Įvertinta, kad 2021 metais pramonės sektoriuje į atmosferą buvo išmesta apie 372 kt CO₂e. Remiantis ilgalaikės prognozės rezultatais numatoma, kad 2050 m. pramonės ŠESD emisijos padidės 19,08 % lyginant su 2021 m. lygmeniu. Prognozavimo rezultatai parodė, kad pramonės emisijos iki 2050 galėtų būti sumažintos pusiau, jeigu kasmet pramonės ŠESD emisijų kiekiai mažėtų po 2 %.

4. Siekiant nustatyti Kauno miesto miškų, parkų ir kitų žaliųjų zonų CO₂ kompensavimo (asimiliavimo) potencialą, buvo įvertinti miesto teritorijoje esantys žalieji plotai, kurie šiuo metu apima 31,1 % miesto administracinės teritorijos. Apskaičiuota, kad žaliosios teritorijos Kaune kasmet sugeria (asimiliuoja) apie 21,9 kt CO₂ dujų.
5. Pritaikius skirtingus klimato kaitos mažinimo priemonių derinius buvo sudaryti 3 Kauno miesto ŠESD emisijų kaitos ilgalaikiai scenarijai. Prognozuojama, kad bazinio scenarijaus atveju ŠESD emisijos Kaune 2050 m. pasieks 2800 kt CO₂e, vidutinio scenarijaus atveju – 1951 CO₂e (30,3 % mažiau nei bazinio scenarijaus atveju), o optimistinio scenarijaus atveju – 1218 CO₂e (56,5 % mažiau nei bazinio scenarijaus atveju). Optimistinio scenarijaus atveju įvertinus miesto žaliųjų plotų kompensavimo potencialą prognozuojamos ŠESD emisijos sieks 1196 kt CO₂e, todėl daroma išvada, kad priimtų klimato mažinimo priemonių nepakanka, kad Kauno miestas 2050 metais pasiektų klimato neutralumą.

Literatūros sąrašas

1. VIJAYAVENKATARAMAN, Sanjairaj; INIYAN, Sanjairaj; GOIC, Ranko. A review of climate change, mitigation and adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2012, vol. **16** (1), 878–897. ISSN 13640321. Prieiga per doi:10.1016/j.rser.2011.09.009
2. SHARIFI Ayyoob and KHAVARIAN-GARMSIR Amir Reza. *Urban Climate Adaptation and Mitigation*. Elsevier, 2023. ISBN 978-0-323-85552-5
3. ALBRITTON, Daniel Lee; DOKKEN, David Jon. Climate Change 2001: Synthesis Report. WMO, 2001. Prieiga per: <https://www.ipcc.ch/report/ar3/syr/>
4. UNFCCC secretariat. A Beginner's Guide to Climate Neutrality [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-06-12]. Prieiga per: <https://unfccc.int/blog/a-beginner-s-guide-to-climate-neutrality>
5. HUANG, Meng-Tian; ZHAI, Pan-Mao. Achieving Paris Agreement temperature goals requires carbon neutrality by middle century with far-reaching transitions in the whole society. *Advances in Climate Change Research* [interaktyvus]. 2021, vol. **12** (2). 281-286 [žiūrėta 2022-03-12]. ISSN: 2524-1761. Prieiga per: Science Direct.
6. MARQUARDT, Jens; FÜNFELD, Anna; ELSÄSSER, Joshua Philipp. Institutionalizing climate change mitigation in the Global South: Current trends and future research. *Earth System Governance* [interaktyvus]. 2023, 15. 100163 [žiūrėta 2023-03-02]. ISSN: 2589-8116
7. EUROPEAN COMMISSION. European Missions: 100 Climate-Neutral and Smart Cities by 2030 Info Kit [interaktyvus]. 2021, 129 [žiūrėta 2022-08-15]. Prieiga per: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/>
8. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. ŠESD apskaitos ir prognozių ataskaitos, nacionaliniai pranešimai [interaktyvus]. 2021. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/klimato-kaita/sesd-apskaitos-ir-prognoziu-ataskaitos-nacionaliniai-pranesimai>
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Nacionalinė klimato kaitos valdymo politikos strategija [interaktyvus]. 2020. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-1/klimato-kaita/nacionaline-klimato-kaitos-valdymo-politikos-strategija>
10. REPUBLIC OF LITHUANIA. National Energy and Climate Action Plan of the Republic of Lithuania [interaktyvus]. 2020. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/>
11. ŠNEIDERIENĖ, Agnė; RUGINĖ, Henrika. Green technologies development in the European Union and Lithuania. *Vadybos mokslas ir studijos-kaimo verslų ir jų infrastruktūros plėtrai*, 2019, 41 (2): 249-263.
12. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. Nutarimas dėl nacionalinės klimato kaitos valdymo darbotvarkės patvirtinimo [interaktyvus]. TAR, 2021-07-02, Nr. 15226. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/>
13. CLIMATE ACTION TRACKER. European Union overview [interaktyvus]. 2021. Prieiga per: <https://climateactiontracker.org/countries/eu/>
14. ELAVARASAN, Rajvikram Madurai, et al. State-of-the-art sustainable approaches for deeper decarbonization in Europe—An endowment to climate neutral vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2022, 159: 112204 [žiūrėta 2023-01-03]. ISSN: 1879-0690
15. HUOVILA, Aapo, et al. Carbon-neutral cities: Critical review of theory and practice. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2022, vol. 341. ISSN 09596526. Prieiga per doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130912

16. SHABB, Katherine, et al. Launching the Mission for 100 Climate Neutral Cities in Europe: Characteristics, Critiques, and Challenges. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2022, 3. 158.
17. ULPIANI, Giulia, et al. Towards the first cohort of climate-neutral cities: Expected impact, current gaps, and next steps to take to establish evidence-based zero-emission urban futures. *Sustainable Cities and Society* [interaktyvus] 2023, 95. 104572 [žiūrėta 2023-05-04]. Prieiga per: Science Direct
18. FONG, Wee Kean, et al. Global Protocol for Gas Emission Inventories. An Accounting and Reporting Standard for Cities Version 1.1 [interaktyvus]. 2021, 190. Prieiga per: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/GPC_Full_MASTER_RW_v7.pdf
19. WANG, Qianzhi, et al. Extreme climate change and contemporary analogs for cities in mainland China in a 2.0° C warmer climate. *Climate Services*, 2023, 30: 100348 [žiūrėta 2023-03-02]. ISSN: 2405-8807
20. MASSON, Torsten; FRITSCH, Immo. We need climate change mitigation and climate change mitigation needs the 'We': A state-of-the-art review of social identity effects motivating climate change action. *Current opinion in behavioral sciences* [interaktyvus]. 2021, 42. 89-96 [žiūrėta 2022-01-05]. Prieiga per: Science Direct
21. SALVIA, Monica, et al. Will climate mitigation ambitions lead to carbon neutrality? An analysis of the local-level plans of 327 cities in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2021, vol. 135 [žiūrėta 2022-01-05]. ISSN 18790690. Prieiga per: doi:10.1016/j.rser.2020.110253
22. HIRSCHL, Bernd. *The Urban Energy Transition: Pathways to Climate Neutrality in Our Cities. In: Urban energy transition*. Elsevier, 2018. ISBN: 978-0-08-102074-6
23. ASSOCIATION FOR APPLIED SOCIAL STUDIES, ASSTREIA. Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP). Balti municipality 2016-2030 [interaktyvus]. 2020, 59 [žiūrėta 2022-01-05]. Prieiga per: https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/19514_1459614153.pdf
24. TURKU CITY COUNCIL. *Turku Climate Plan 2029* [interaktyvus]. 2018. Prieiga per: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/turku_climate_plan_2029.pdf
25. BERTOLDI P. Guidebook How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 2 - Baseline Emission Inventory (BEI) and Risk and Vulnerability Assessment (RVA), *Publications Office of the European Union*, Luxembourg [interaktyvus]. 2018, 126 [žiūrėta 2022-01-05]. ISBN 978-92-79-96929-4, Prieiga per: doi:10.2760/118857, JRC112986
26. RABIEGA, Wojciech, et al. How Long Will Combustion Vehicles Be Used? Polish Transport Sector on the Pathway to Climate Neutrality. *Energies* [Interaktyvus]. 2021, 14 (23). 7871 [žiūrėta 2022-01-05]. Prieiga per: Science Direct
27. CITY OF TURKU. Emission monitoring [interaktyvus]. 2022. Prieiga per: <https://www.turku.fi/en/carbon-neutral-turku/emission-monitoring>
28. KAUNO RAJONO SAVIVALDYBĖS TARYBA. Kauno rajono savivaldybės 2021 – 2027 metų strateginis plėtros planas [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: https://www.krs.lt/media/17570/kauno-spp-projektas_0924.pdf
29. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. Bendra statistika apie Kauną [interaktyvus]. 2020, 14. Prieiga per: <http://www.kaunas.lt/wp-content/uploads/sites/13/2022/01/2021-Kaunas-skaiciais.pdf>

30. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. Kauno miesto darnaus judumo planas. Esamos būklės įvertinimas [interaktyvus]. 2019, 65 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <http://www.kaunas.lt/transportas/darnaus-judumo-planas/>
31. UAB EKONOMINĖS KONSULTACIJOS IR TYRIMAI. Kauno miesto savivaldybės strateginis plėtros planas iki 2030 m [interaktyvus]. 2022, 261. Prieiga per: <https://2030.kaunas.lt/wp-content/uploads/2022/04/Kauno-miesto-savivaldybės-strateginis-plėtros-planas-iki-2030-m..pdf>
32. NAVICKAS, Kęstutis. Sustainable energy action plan of Kaunas district municipality. Plan de Acción para la Energía Sostenible [interaktyvus]. 2012, 49. Prieiga per: https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/migrated/docs/seap/19479_1416822_774.pdf
33. INTERREG EUROPE. Action plan, Municipality of Kaunas District – Strategic Development Plan of Municipality of Kaunas District for Year 2013 - 2020 [interaktyvus]. 2016, 52. Prieiga per: https://projects2014-2020.interregeurope.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1535538143.pdf
34. LITHUANIAN ENERGY INSTITUTE. BEA APP-Pilot project Sustainable DH System in Kaunas Content [interaktyvus]. 2018, 36. Prieiga per: <https://www.balticenergyareas.eu/>
35. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. *Renovacija – bendra informacija* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <http://www.kaunas.lt/renovacijos/bendra-informacija/>
36. BŪSTO ENERGIJOS TAUPYMO AGENTŪRA. *Lietuvos regionų renovacijos žemėlapis* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <https://map.betalt.lt/map/>
37. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. Kaunas-2019-2020 [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <https://www.kaunas.lt/apie-kauna/statistika/>
38. EUROPEAN INVESTMENT BANK. EIB Project Carbon Footprint Methodologies: Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions and Emission Variations. Version 11.3, 2023, Prieiga per: <https://www.eib.org/en/publications/20220215-eib-project-carbon-footprint-methodologies>
39. PARTNERSHIP ON TRANSPARENCY IN THE PARIS AGREEMENT (PATPA). Projections of Greenhouse Gas Emissions and Removals: An Introductory Guide for Practitioners, 2021, Prieiga per: <https://transparency-partnership.net/publications-tools/projections-greenhouse-gas-emissions-and-removals-introductory-guide>
40. EUROSTAT. Sustainable development in the European Union: monitoring report on progress towards the SDGS in an EU context. *Publications office of the European Union* [interaktyvus], 2022 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/>
41. LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. Lietuvos statistikos metraštis [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/>
42. GEO DATA. Kauno miesto savivaldybės gyventojų skaičius [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-02-08]. Prieiga per: <https://geodata.lt/>
43. LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. Lietuvos regionai [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/>
44. LIETUVOS BANKAS. Lietuvos ekonomikos apžvalga [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-04-10]. Prieiga per: <https://www.lb.lt/>
45. LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. Lietuvos aplinka, žemės ūkis ir energetika [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2023-04-12]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/>

46. RITCHIE Hannah and ROSER Max. Lithuania: Energy Country Profile [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-04-12]. Prieiga per: <https://ourworldindata.org/>
47. LIETUVOS ŠILUMOS TIEKĖJŲ ASOCIACIJA. Lietuvos centralizuoto šilumos tiekimo sektoriaus 2021 metų apžvalga [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-12-14]. Prieiga per: <https://lsta.lt/en/>
48. LIETUVOS STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. *Lietuvos regionai* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-04-17]. Prieiga per: <https://osp.stat.gov.lt/>
49. REGITRA. *Atviri duomenys: Transporto priemonių parko duomenys pagal degalų rūšį ir savivaldybes* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-04-19]. Prieiga per: <https://www.regitra.lt/lt/atviri-duomenys/>
50. EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. Developments in fuel efficiency of an average car alongside trends in private car ownership and greenhouse gas (GHG) emissions [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2023-04-20]. Prieiga per: <https://www.eea.europa.eu/>
51. KARABAG, Solmaz Filiz; IMRE, Özgün. The Global, Regional, National, Sectoral, Economic, and Commercial Impact of the Russian-Ukrainian War and the Emerging Second Cold War. *Journal of Applied Economics and Business Research* [interaktyvus]. 2022, 12 (1): 58-70. ISSN 1927-033X
52. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *ŠESD apskaitos ir prognozių ataskaitos* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-01-12]. Prieiga per: <https://aaa.lrv.lt/>
53. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Klimato kaita, Veiklos vykdytojų informacija [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-10-07]. Prieiga per: <https://klimatas.old.gamta.lt/>
54. EDENHOFER, Ottmar, et al. Working group III contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge, USA, 2014 [žiūrėta 2022-09-15]. Prieiga per: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
55. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJOS APLINKOS PROJEKTŲ VALDYMO AGENTŪRA. Kauno miesto savivaldybė [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-05-01]. Prieiga per: <https://renomap.apva.lt/Kauno-miesto-15>
56. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. Renovacija, Renovacijos sėkmės istorijos [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-05-02]. Prieiga per: <https://www.kaunas.lt/>
57. LIETUVOS RESPUBLIKOS SUSISIEKIMO MINISTERIJA. Elektromobilių infrastruktūros plėtra [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2023-02-18]. Prieiga per: <https://sumin.lrv.lt/>
58. LA GRECA, Simone, et al. Infrastructure Systems in a Sustainable City [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2022-09-16]. Prieiga per: Research Gate
59. EUROPEAN PARLIAMENT. Climate change: better using EU forests as carbon sinks [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2023-04-05]. Prieiga per: <https://www.europarl.europa.eu/>
60. EUROSTAT. Forests soak up 10% of greenhouse gas emissions in the EU [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2023-04-13]. Prieiga per: <https://ec.europa.eu/>
61. KAUNO MIESTO SAVIVALDYBĖ. Kraštovaizdis ir želdiniai [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2023-05-02]. Prieiga per: <https://www.kaunas.lt/aplinka/krastovaizdis-ir-zeldiniai/>
62. BERNAL, Blanca; MURRAY, Lara T.; PEARSON, Timothy RH. Global carbon dioxide removal rates from forest landscape restoration activities. *Carbon balance and management* [interaktyvus] 2018, 13 (1), 1-13. Prieiga per: <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0110-8>

63. ZHOU, Yi, et al. Studies on urban park cooling effects and their driving factors in China: Considering 276 cities under different climate zones. *Building and Environment* [interaktyvus]. 2022, 222: 109441 [žiūrėta 2023-04-06]. ISSN: 1873-684X

Priedai

1 priedas. Lietuvos duomenų rinkinys

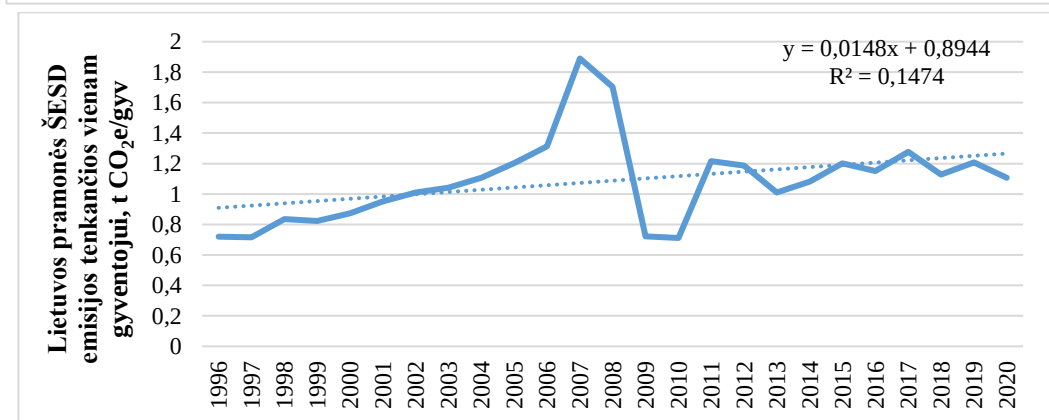
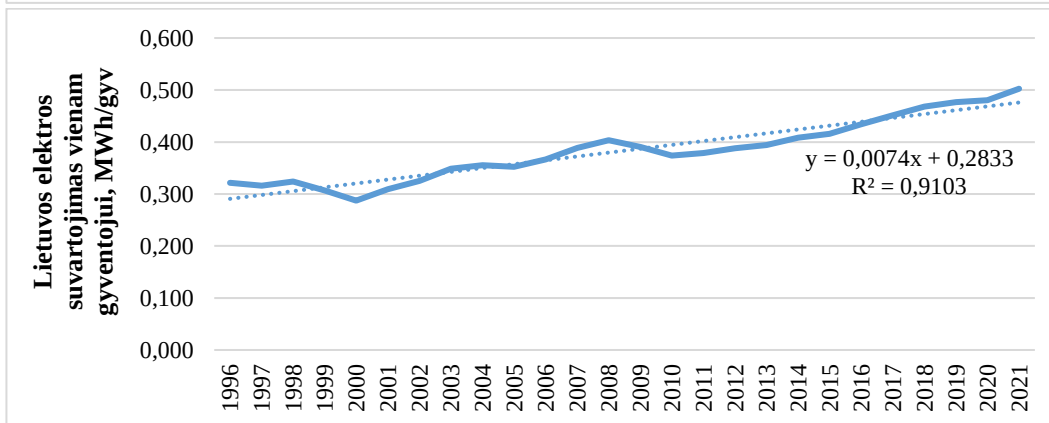
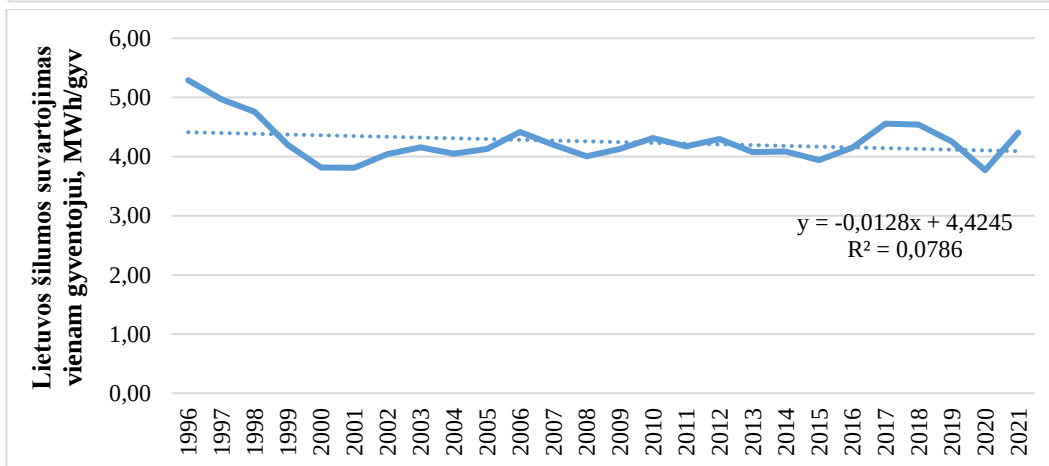
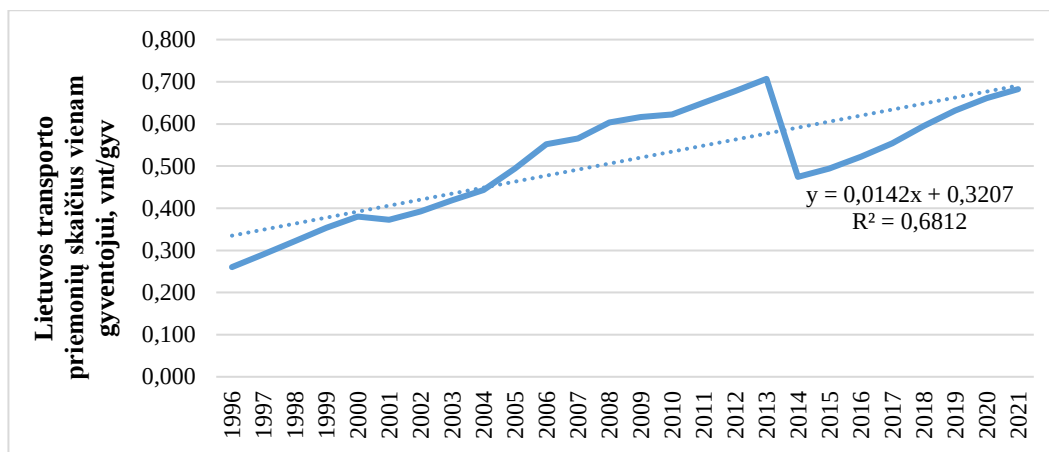
Metai	Gyventojai	Elektros energijos suvaizojimas	Šilumos suvaizojimas	Transporto priemonių skaičius	Pramonės sektoriaus emisijos
	Vnt	GWh	GWh	Vnt	kt CO ₂ e
1996	3615212	11630	19128,1	940875	4460,2
1997	3588013	11336	17819,2	1041681	4492,7
1998	3562261	11549	16946,5	1145879	2653,4
1999	3536401	10853	14845,6	1249772	1728,3
2000	3512074	10088,4	13400,3	1334544	1925,9
2001	3486998	10772,6	13285,4	1298836	2212,3
2002	3454637	11234,1	13976,7	1353941	2604,0
2003	3431497	11958,3	14267,3	1437994	2568,3
2004	3398929	12079,4	13764,7	1505693	2974,9
2005	3355220	11818,1	13861,2	1658068	2911,9
2006	3289835	12053,6	14521,7	1815749	3068,3
2007	3249983	12635,6	13655,1	1838385	3315,1
2008	3212605	12954,3	12863,3	1938468	3488,1
2009	3183856	12425,7	13147,8	1963055	3570,9
2010	3141976	11738,4	13557,3	1954592	3760,7
2011	3052588	11560,3	12746,1	1986050	4036,9
2012	3003641	11661,3	12904,2	2035655	4319,1
2013	2971905	11707,3	12118,2	2100649	6141,2
2014	2943472	12019,6	12028,0	1396408	5475,9
2015	2921262	12140,6	11516,7	1443046	2299,2
2016	2888558	12540,4	11985,6	1508516	2235,4
2017	2847904	12864,4	12984,9	1578338	3714,4
2018	2808901	13143,6	12751,4	1672012	3564,9
2019	2794184	13315,2	11882,4	1763733	3000,2
2020	2794090	13426	10533,3	1847571	3186,3
2021	2810761	14122,3	12382,2	1917534	3507,7

2 priedas. Emisijų faktoriai

Energetikos sektorius	g CO₂e/MWh
Vėjo jėgainių gaminama energija	12
Bioenergija (atliekų deginimas)	740
Gamtinės dujos	490
Hidroelektrinių gaminama energija	24
Anglis (naftos produktai)	820
Saulės elektrinių gaminama energija	48
Branduolinis kuras	12
Biomasė	230
Transporto sektorius	g CO₂e/km
Benzinas	240
Dyzelinas	210
Elektra	75
Kiti	175

3 priedas. Lietuvos duomenų tenkančių vienam gyventojui prognozės

Metai	Elektros energijos suvartojimas	Šilumos suvartojimas	Transporto priemonių skaičius	Pramonės sektoriaus emisijos
	MWh/gyv	MWh/gyv	Vnt/gyv	t CO ₂ e/gyv
2022	0,4831	4,0789	0,7041	0,9432
2023	0,4905	4,0661	0,7183	0,9437
2024	0,4979	4,0533	0,7325	0,9442
2025	0,5053	4,0405	0,7467	0,9447
2026	0,5127	4,0277	0,7609	0,9452
2027	0,5201	4,0149	0,7751	0,9457
2028	0,5275	4,0021	0,7893	0,9461
2029	0,5349	3,9893	0,8035	0,9466
2030	0,5423	3,9765	0,8177	0,9470
2031	0,5497	3,9637	0,8319	0,9474
2032	0,5571	3,9509	0,8461	0,9478
2033	0,5645	3,9381	0,8603	0,9482
2034	0,5719	3,9253	0,8745	0,9486
2035	0,5793	3,9125	0,8887	0,9490
2036	0,5867	3,8997	0,9029	0,9494
2037	0,5941	3,8869	0,9171	0,9497
2038	0,6015	3,8741	0,9313	0,9501
2039	0,6089	3,8613	0,9455	0,9504
2040	0,6163	3,8485	0,9597	0,9507
2041	0,6237	3,8357	0,9739	0,9511
2042	0,6311	3,8229	0,9881	0,9514
2043	0,6385	3,8101	1,0023	0,9517
2044	0,6459	3,7973	1,0165	0,9520
2045	0,6533	3,7845	1,0307	0,9523
2046	0,6607	3,7717	1,0449	0,9526
2047	0,6681	3,7589	1,0591	0,9529
2048	0,6755	3,7461	1,0733	0,9532
2049	0,6829	3,7333	1,0875	0,9534
2050	0,6903	3,7205	1,1017	0,9537
Pritaikyta regresijos lygtis prognozei gauti	$y = 0,0074x + 0,2833$ $R^2 = 0,9103$	$y = -0,0128x + 4,4245$ $R^2 = 0,0786$	$y = 0,0142x + 0,3207$ $R^2 = 0,6812$	$y = 0,0148x + 0,8944$ $R^2 = 0,1474$



4 priedas. Kauno miesto duomenų rinkinys

Metai	Gyventojai	Elektros energijos suvartojimas	Šilumos suvartojimas	Transporto priemonių skaičius	Pramonės sektoriaus emisijos
	Vnt	MWh	MWh	Vnt	t CO ₂ e
1996	408706	131479	2162465	106368	294391
1997	402061	127028	1996761	116727	287791
1998	395555	128241	1881747	127239	330339
1999	390623	119880	1639812	138047	321640
2000	385620	110769	1471331	146531	336895
2001	379706	117305	1446673	141433	360985
2002	374176	121678	1513834	146647	377802
2003	370242	129024	1539373	155153	385289
2004	363952	129344	1473903	161227	402688
2005	356954	125730	1474661	176398	429482
2006	348506	127689	1538345	192350	457537
2007	343932	133717	1445062	194549	649898
2008	339535	136912	1359501	204874	578734
2009	335393	130895	1385012	206792	242199
2010	329542	123117	1421939	205005	234454
2011	317319	120170	1324967	206452	386112
2012	310773	120654	1335139	210620	368853
2013	306888	120893	1251362	216919	309807
2014	304012	124143	1242294	144226	329094
2015	301357	125242	1188061	148864	361851
2016	297846	129307	1235863	155547	342775
2017	292691	132213	1334512	162212	373829
2018	288363	134933	1309064	171649	325006
2019	286754	136648	1219435	181004	346376
2020	289364	139044	1090859	191340	320372
2021	298753	150105	1316145	203813	371792

5 priedas. Kauno miesto prognozių duomenys

Metai	Gyventojai	Elektros energijos suvartojimas	Šilumos suvartojimas	Transporto priemonių skaičius	Pramonės sektoriaus emisijos
	Vnt	MWh	MWh	Vnt	t CO _{2e}
2022	305120	143918	1215129	209756	372619
2023	304751	149661	1240648	219168	383499
2024	306445	151735	1235246	223230	384824
2025	307913	154847	1238193	228823	388702
2026	309208	157867	1240182	234291	392253
2027	310366	160819	1241440	239667	395544
2028	311414	163718	1242117	244972	398624
2029	312371	166575	1242324	250221	401525
2030	313250	169399	1242142	255425	404273
2031	314065	172194	1241631	260593	406888
2032	314824	174966	1240840	265731	409386
2033	315533	177718	1239807	270843	411779
2034	316200	180453	1238562	275934	414078
2035	316828	183174	1237131	281007	416292
2036	317422	185883	1235534	286064	418428
2037	317986	188581	1233788	291108	420493
2038	318522	191269	1231910	296140	422492
2039	319034	193948	1229911	301163	424430
2040	319522	196621	1227802	306177	426310
2041	319990	199286	1225592	311183	428138
2042	320439	201946	1223291	316182	429917
2043	320870	204600	1220905	321176	431648
2044	321285	207250	1218441	326165	433336
2045	321685	209896	1215904	331149	434982
2046	322071	212537	1213299	336129	436589
2047	322443	215175	1210631	341105	438159
2048	322804	217810	1207905	346078	439693
2049	323153	220443	1205124	351049	441194
2050	305120	223072	1202290	356017	442663