



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

Algirdas Čiziūnas

**ENERGIJOS GAMYBOS ŠALTINIŲ IŠORINIŲ KAŠTŲ
VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

ENERGIJOS GAMYBOS ŠALTINIŲ IŠORINIŲ KAŠTŲ
VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Energijos technologijos ir ekonomika (kodas 621E30004)

Vadovas

(parašas) Doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Audrius Jonaitis
(data)

Projektą atliko

(parašas) Algirdas Čižiūnas
(data)

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Algirdas Čižiūnas

(Studento vardas, pavardė)

Energijos technologijos ir ekonomika, 621E30004

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Algirdo Čižiūno** baigiamasis projektas tema „Energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Čižiūnas, Algirdas. Energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų vertinimas: *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Energijos technologijos ir ekonomika, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *Išoriniai kaštai, SIMPACTS, biokuras, dujos, jėgainė, poveikis*

Kaunas, 2018. 65 p.

SANTRAUKA

Baigiamajame rašto darbe yra nagrinėjami biokuro ir dujinės jėgainių išoriniai kaštai ir jų dydį sąlygojantys veiksniai. Išoriniai kaštai vertinami atsižvelgiant į poveikį žmonių sveikatai. Darbe atlikta ir išorinių kaštų jautrumo analizė vertinant taršos šaltinio techninius parametrus bei jėgainės galingumą.

Vertinant išorinių kaštų įtaką analizuojami emisijų išmetimo kiekiai, jų įtaka žmonių sveikatai, mažinimo priemonės ir pačios jėgainės tobulinimas. Atsižvelgiant į gautus modeliavimo rezultatus, buvo įvertintas išorinių kaštų dydis tenkantis 1 kg teršalų bei 1 kWh pagamintos energijos ir pateiktos apibendrinančios išvados.

Atliktas tyrimas parodė, kad vertinant išorinius kaštus labai svarbu atsižvelgti į geografinę jėgainės padėtį, gyventojų tankumą bei meteorologines sąlygas, kuris didžiaja dalimi ir turi įtakos bei lemia patiriamus kaštus. Taikant SIMPACTS programą buvo pastebėta, kad didinant taršos šaltinio kamino aukštį, pasiekiamas efektyviausias būdas mažinti poveikį žmonių sveikatai, tačiau pačios jėgainės kaina stipriai išauga, todėl atsiranda rizika, kad ji gali ir neatsipirkti. Geriausias būdas mažinti išmetamą teršalų kiekį, yra taikyti geriausias prieinamas technologijas dūmų išvalymui bei užtikrinti optimalią jėgainės eksploataciją.

Čižiūnas, Algirdas. Evaluation of External Costs of Energy Generation: thesis in *Master's qualification degree* / supervisor assoc. prof. Inga Konstantinavičiūtė. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electrical Power Systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *External costs, SIMPACTS, biofuel, gas, power plant, impact*

Kaunas, 2018. 65 p.

SUMMARY

The final paper examines the external costs of biofuel and gas plants and the determinants of these costs. External costs are estimated in terms of their effect on human health. An external cost sensitivity analysis was also done while taking into account the technical parameters of the source of pollution and the capacity of the power station.

When assessing the influence of external costs, emissions are being analyzed, their impact on human health, measures to reduce and improve the power plant itself. According to the simulation results, the amount of external costs per 1 kg of pollutants and 1 kWh of energy produced was estimated and conclusions were based on the findings.

The research carried out has shown that while estimating external costs, it is highly important to take into account the geographical location of the plant, population density and meteorological conditions, which to a large extent influence and determine the costs incurred. Simulation, made with SIMPACTS program has showed that by increasing the height of the chimney, the most effective way to reduce the impact on human health is achieved. However, in this way the cost of the power plant itself increases significantly, which means that it may risk not to pay off its price. The most efficient way to reduce emissions is to apply the best available smoke clearing technology and to ensure optimal exploitation of the power plant.

TURINYS

ĮVADAS	9
1. ENERGETIKOS SEKTORIAUS DARNIOS PLĖTROS ASPEKTAI	11
1.1. Darnios energetikos plėtros prioritetai.....	11
1.2. Bendrieji energetikos plėtros darnumo rodikliai.....	12
1.2.1. Energetikos sektoriaus ekonominio aspekto rodikliai	15
1.2.2. Aplinkosauginio aspekto rodikliai	24
2. ORGANINĮ KURĄ DEGINANČIŲ JĖGAINIŲ POVEIKIS APLINKAI.....	28
3. ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS IŠORINIAI KAŠTAI.....	31
4. IŠORINIŲ KAŠTŲ ĮVERTINIMO METODIKA	37
4.1. Poveikio įvertinimo metodo pritaikymas matematiniuose modeliuose.....	40
4.1.1. Taršos poveikio įvertinimas	41
4.1.2. Poveikio įvertinimai <i>SIMPACTS</i> programoje	42
5. BIOKURO IR GAMTINIŲ DUJŲ JĖGAINIŲ IŠORINIŲ KAŠTŲ ĮVERTINIMAS ..	46
5.1. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių išorinių kaštų techninės charakteristikos ir kiti duomenys.....	46
5.2. Biokuro ir dujinės jėgainių išorinių kaštų įvertinimas ir jautrumo analizė.....	49
IŠVADOS.....	58
LITERATŪRA	59
Priedas Nr.1	61
Priedas Nr.2	64

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Pagrindiniai ekonominiai, socialiniai ir aplinkosauginiai darnios energetikos plėtros rodikliai	14
2.1 lentelė. Žalos pasiskirstymas pagal poveikį	29
3.1 lentelė. Vidutiniai išoriniai kaštai dėl tonos teršalų emisijos ES-27 ir Lietuvoje 2010 ir 2020, EUR/t	33
3.2 lentelė. Išorinių kaštų įvertinimo pateikto literatūroje apibendrinimas, centai/kWh	34
5.1 lentelė. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių techninės charakteristikos	46
5.2 lentelė. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių teršalų emisijos 2017 m	47
5.3 lentelė. Meteorologiniai duomenys	48
5.4 Lentelė. Biokuro jėgainės poveikis žmonių sveikatai ir žalos kaina	49
5.5 Lentelė. Gamtinių dujų jėgainės poveikis žmonių sveikatai ir žalos kaina	54
5.6 Lentelė. Gamtinių dujų ir biokuro jėgainių žalos kainos € ct / kWh procentinis palyginimas ...	57

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Energetikos sektoriaus darnumo aspektų tarpusavio ryšiai	13
1.2 pav. Lietuvos nacionaliniai ir regioniniai energetikos infrastruktūros projektai	16
1.3 pav. Bendroji elektros energijos gamyba naudojant AEI	17
1.4 pav. Energijos balansas Lietuvoje	18
1.5 pav. Priklausomybė nuo grynojo importo.....	19
1.6 pav. Bendras AEI naudojimas	20
1.7 pav. AEI dalis galutinės energijos suvartojime	20
1.8 pav. BVP, galutinės energijos ir galutinės elektros energijos sąnaudų kitimo indeksas	22
1.9 pav. Pirminės ir galutinės energijos intensyvumo kitimas	23
1.10 pav. Energijos intensyvumas pagal PPP.....	24
1.11 pav. CO ₂ ir galutinės energijos kitimo indeksas	25
1.12 pav. CO ₂ t tenkantis kiekis vienam gyventojui kitimas ES ir Lietuvoje	25
4.1 pav. Teršalų išsisklaidymas atmosferoje	38
4.2 pav. Poveikio kelių analizės principas	41
4.3 pav. Šaltinio savybės	44
5.1 pav. Biokuro ir dujinės jėgainių geografinė padėtis ir vietinė sritis	48
5.2 pav. Biokuro jėgainės žalos kaina tenkanti 1 kg NO _x ir PM ₁₀ teršalų	51
5.3 pav. Biokuro jėgainės žalos kaina € per metus dėl NO _x ir PM ₁₀ teršalų	52
5.4 pav. Žalos kaina € ct / kWh, kuomet biokuro jėgainė veikia 8000 h per metus ir sugeneruoja 120 GWh energijos	53
5.5 pav. Gamtinių dujų jėgainės žalos kaina tenkanti 1 kg NO _x teršalų	55
5.6 pav. Gamtinių dujų jėgainės žalos kaina € per metus dėl NO _x teršalų	56
5.7 pav. Žalos kaina € ct / kWh, kuomet gamtinių dujų jėgainė veikia 8000 h per metus ir sugeneruoja 120 GWh energijos	56
5.8 pav. Gamtinių dujų ir biokuro jėgainių žalos kainos € ct / kWh palyginimas, kuomet jėgainės veikia 8000 h	57

ĮVADAS

Tyrimo aktualumas. Pasaulyje, o tuo pačiu ir Lietuvoje energetika užima svarbią vietą ekonominėje, socialinėje ir aplinkosauginėje plėtroje. Energijos gamyba ir jos panaudojimas sąlygoja aplinkos kokybę, ekonominį išsivystymą ir pačių žmonių gyvenimo kokybę. Tradicinių energijos išteklių išekvojimas, atliekų sankaupos, miškų kirtimas, vandens tarša, dirvožemio suardymas, žmonių sveikatos pablogėjimas – tai netvarios energetikos plėtros padariniai. Tačiau šios žalos jėgainių savininkai tiesiogiai nekompensuoja ir šios išlaidos nėra įtrauktos į energijos gamybos kaštus. Taigi, jėgainės sukuria išorinius kaštus. Kad būtų išlaikoma pusiausvyra ir teisingai funkcionuotų visa rinka, išoriniai kaštai turi būti įtraukti į parduotos energijos kainą, kad juos kompensuotų energijos vartotojai, o ne visa visuomenė. Norint užtikrinti švarią aplinką bei gyvenimo kokybę, tikslinga būtų įvertinti išorinius kaštus, kuriuos padengtų teršėjai ir būtų investuojama į atkūrimą to, kas suardyta, taip pat į valymo įrenginius bei visa kita, kas gerintų aplinkos kokybę, mažintų taršą.

Įvertinant išorinius kaštus turi būti siekiama dalinio buvusios aplinkos būklės funkcijų atkūrimo, dalinio neigiamo poveikio pašalinimo ir kitų pokyčių padarytos žalos įvertinimo atsižvelgiant į ekonomikos išsivystymo lygį. Taigi žala – objektyvus aplinkos pokyčių finansinis įvertinimas, kuris leistų tenkinti dabartinės ir būsimų kartų poreikius.

Kol kas Lietuvoje išorinės gamybos sąnaudos į energijos kainą nėra. Išorinių gamybos kaštų įtraukimas į elektros kainą neišvengiamai ją pakeltų. Iš kitos pusės, išoriniai gamybos kaštai yra kaštu dedamoji, kuri turėtų būti įskaičiuojama į pagamintos energijos kainą, kaip mokestis už oro kokybės gerinimą. Kitaip sakant, kai yra paklausa, tai yra ir pasiūla, todėl tie, kas vartoja, turi suprasti, kad jų pinigai privalo būti investuojami į darniąją energijos gamybą – aplinkai draugišką energiją.

Tyrimo objektas. Siekiant darnios energetikos sistemos plėtros, t.y., kad būtų pasiektas ekonominių rodiklių ir poveikio aplinkai balansas, racionaliai vartojamas kuras, skatinami atsinaujinantys energijos ištekliai ir mažinami energijos poreikiai, siekiant efektyvaus energijos panaudojimo, tikslinga į energetikos sistemos sąnaudas įtraukti visuomenės ir aplinkos patiriamą žalą ir nuostolius dėl energijos gamybos, t.y. integruoti išorinius energijos gamybos kaštus.

Darbo tikslas – išanalizuoti išorinių energijos gamybos kaštų vertinimo metodologiją bei atlikti biokurą ir organinį kurą deginančių jėgainių išorinių kaštų vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti energetikos sektoriaus plėtros darnumo aspektų analizę;
2. Išanalizuoti iškastinį kurą deginančių jėgainių poveikį aplinkai;

3. Išanalizuoti energijos gamybos išorinių kaštų įvertinimo metodiką;
4. Atlikti biokurą ir gamtines dujas deginančių jėgainių išorinių kaštų vertinimą, taikant *SIMPACTS* modelį.
5. Atlikti ekonominės žalos palyginimą tarp analizuotų tipų jėgainių.

Tyrimo metodai. Teorinėje darbo dalyje naudojama mokslinės literatūros lyginamoji analizė, statistinė analizė, apžvelgiami visi darnios energetikos veiksniai ir rodikliai. Antrojoje darbo dalyje apžvelgiama išorinių kaštų įvertinimo metodika ir pasirinkus du objektus atliekamas tyrimas, taikant *SIMPACTS* programą, apskaičiuojamas poveikis žmonių sveikatai ir atlikta palyginamoji analizė.

Darbo struktūra. Darbo apimtis – 65 puslapių, magistro darbe pateikiama 10 lentelės, 23 paveikslų ir 20 literatūros šaltinių.

1. ENERGETIKOS SEKTORIAUS DARNIOS PLĖTROS ASPEKTAI

1992 m. Jungtinių Tautų (JT) Pasaulio viršūnių susitikime Rio de Žaneire buvo išgrynintos ir patvirtintos pagrindinės darnaus vystymosi nuostatos. Darnus vystymasis įteisintas kaip pagrindinė ilgalaikė visuomenės vystymosi ideologija. Šios koncepcijos pagrindą sudaro 3 lygiaverčiai komponentai – aplinkosauga, ekonominis ir socialinis vystymasis. Po šio susirinkimo pasaulio šalys įsipareigojo vystyti strategijas, skatinti darnią energetikos plėtrą. Lietuva nebuvo išimtis, todėl Lietuvos Respublikos Vyriausybė 2003 m. rugsėjo 11 d. nutarimu Nr. 1160 patvirtino nacionalinę darnaus vystymosi strategiją [1].

Lietuvos bendrasis darnaus vystymosi strateginis tikslas – suderinti aplinkosaugos, ekonominio ir socialinio vystymosi interesus, užtikrinti švarią ir sveiką aplinką, efektyvų gamtos išteklių naudojimą, visuotinę ekonominę visuomenės gerovę, stiprias socialines garantijas ir per strategijos įgyvendinimo laikotarpį (iki 2020 metų) pagal ekonominius, socialinius ir gamtos išteklių naudojimo efektyvumo rodiklius pasiekti esamą ES valstybių vidurkį, o pagal aplinkos taršos rodiklius neviršyti ES leistinų normų.

1.1. Darnios energetikos plėtros prioritetai

Pagrindinės energetikos politikos nuostatos, siekiančios užtikrinti darnią energetikos plėtrą:

- energijos tiekimo prieinamumas, patikimumas ir saugumas;
- energijos gamybos ir vartojimo efektyvumo didinimas;
- ekonomiškai pagrįsta energijos kainodara, panaikinus subsidijas ir integruojant išorines sąnaudas;
- energijos rinkos atvėrimas, liberalizavimas ir ekonominio efektyvumo augimas;
- moksliniai tyrimai ir plėtra naujų technologijų, švaresnių organinio kuro rūšių, atsinaujinančių energijos išteklių srityse.

Vienas svarbiausių darnios energetikos plėtros aspektų yra energijos gamybos bei vartojimo efektyvumo didinimas, atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) skatinimas ir tinklų patikimumas, integruojant elektros sistemą į Europos tinklus.

ES energetikos strategijoje 2014 - 2020 m. numatytos dvi svarbiausios ir tu pačiu pagrindinės kryptys, tai: darnios energetikos plėtra ir energetinio efektyvumo didinimas. Šiems tikslams pasiekti yra planuojama skirti ženkliai didesnes struktūrinės paramos lėšas, tačiau subsidijomis neiškreipiant rinkos [2].

ES energetikos strategijoje iki 2030 m. numatyti tikslai siekiant mažo anglies dioksido kiekio ekonomikos, paskatins naujų technologijų paklausą, mokslinių tyrimų paklausą, plėtrą ir inovacijas,

bei sudarys naujas darbo vietų kūrimo ir ekonomikos augimo galimybes. Dėl šios priežasties Europa taps mažiau priklausoma nuo užsienio iškastinio kuro, sumažės importo sąskaitos ir padidės energetinis saugumas.

ES laikosi pozicijos, kad norėdamos pasiekti tarptautiniu mastu nustatytą tikslą apriboti pasaulinį atšilimą iki 2°C, išsivysčiusios šalys iki 2050 metų privalo sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą nuo 80 iki 95%, lyginant su 1990 metais. Europos Komisijos prieš porą metų paskelbtame mažo anglies dioksido kiekio technologijų ekonomikos sukūrimo plane pažymima, kad, norint pasiekti šį ilgalaikį tikslą, iki 2030 metų reikia 40% sumažinti ES išmetamų teršalų kiekį, taip paskatinant darnumo rodiklių pasiekimus, kurie sumažins poveikį aplinkai ir visuomenei [3].

1.2. Bendrieji energetikos plėtros darnumo rodikliai

Darni energetikos plėtra – tai energijos gamyba ir vartojimas, užtikrinant patikimumo ir aplinkosauginį požiūrį bei derinant tai su socialinės ir ekonominės plėtros reikmėmis. Energetika vaidina pagrindinį vaidmenį subalansuotoje plėtroje. Darnios plėtros tikslai apima labai platų ekonominį, socialinį ir aplinkosauginį spektrą. Norint nustatyti daromą pažangą ir vykstančius pokyčius, tikslinga kiekybiškai įvertinti atitinkamus rodiklius.

Tarptautinė atominės energetikos agentūra (TATENA) ėmėsi aktyvios veiklos, siekdama sudaryti išsamų energetikos sektoriaus darnios plėtros rodiklių rinkinį.

TATENA tvariai energetikos plėtrai identifikuoti išskyrė 16 punktų, įvertinančių skirtingus energetikos plėtros darnumo aspektus [4]:

Socialinis aspektas:

- Energijos skirtumai (nelygybė),
- Energijos prieinamumas ir pasiekiamumas;

Ekonominis aspektas:

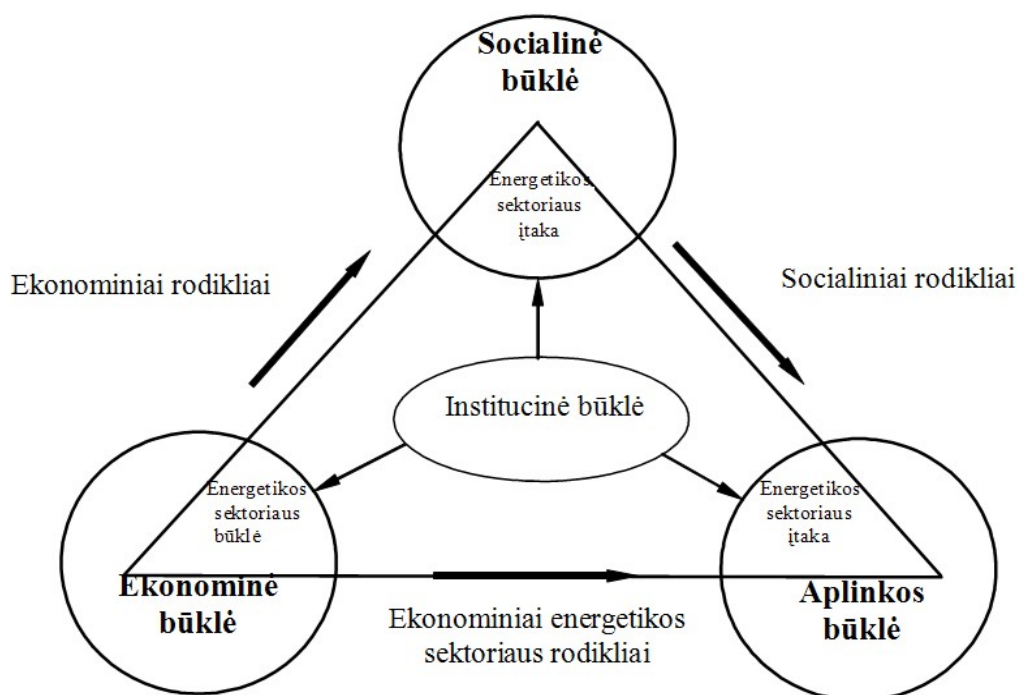
- Ekonominės veiklos lygiai,
- Energijos gamyba, tiekimas ir suvartojimas,
- Energijos kainos, mokesčiai ir subsidijos,
- Galutinės energijos intensyvumas,
- Energijos tiekimo efektyvumas,
- Energijos patikimumas;

Aplinkosauginis aspektas:

- Globalinė klimato kaita,
- Oro užteršimas,

- Vandens užteršimas,
- Atliekos,
- Energijos išteklių išekvojimas,
- Žemės naudojimas,
- Avarių rizika,
- Miškų išskirtimas.

Visų darnumo aspektų tarpusavio ryšiai energetikos sektoriuje pavaizduoti 1.1 paveiksle.



1.1 pav. Energetikos sektoriaus darnumo aspektų tarpusavio ryšiai

Aplinkos būklė priklauso nuo energetikos sektoriaus, kurį tiesiogiai sąlygoja ekonominiai ir socialiniai veiksniai. Socialinę būklę lemia energetikos sektoriaus ekonominiai veiksniai. Institucinė būklė įvairiais politiniais veiksniais turi įtakos visai darniai energetikos plėtrai.

Darnios energetikos plėtros rodiklius reikėtų išskirti į dvi grupes: *tiesioginės* ir *netiesioginės* įtakos. Tai leidžia atskirti tiesiogiai sąlygojančius būklės rodiklius, ir tuos, kurie lemia vieną ar daugiau netiesioginės įtakos rodiklių ir tik jais sąlygoja būklės rodiklius. Yra išskirtas 41 subalansuotos energetikos plėtros rodiklis, iš jų 23 laikomi pagrindiniais, tiesiogiai susijusiais su energetikos sektoriumi. Pagrindiniai ekonominius, socialinius ir aplinkosauginius aspektus atspindintys darnios energetikos plėtros rodikliai pateikiami 1.1 lentelėje [5].

1.1 lentelė. Pagrindiniai ekonominiai, socialiniai ir aplinkosauginiai darnios energetikos plėtros rodikliai [5].

Įtakos rodikliai			Būklės rodikliai
Netiesioginės įtakos	Netiesioginės įtakos energetikos sektoriuje	Tiesioginės įtakos	
Pagrindiniai ekonominiai subalansuotos energetikos plėtros rodikliai			
1. Galutinių vartotojų energijos kainos su mokesčiais bei subsidijomis ir be jų.	1. Atskirų ūkio šakų (pramonės, transporto, žemės ūkio, namų ūkio) energijos intensyvumas. 2. Energijos balansas: galutinės energijos struktūra, elektros energijos gamybos pagal kuro rūšis struktūra, pirminės energijos struktūra.	1. Energijos suvartojimas BVP vienetai pagaminti: pirminės energijos, tradicinių energijos rūšių ir elektros energijos. 2. Išlaidos energetikos sektoriuje: bendrosios investicijos, aplinkosauginei kontrolei, angliavandenilių tyrimams, moksliniams tyrimams ir plėtrai, energijos importo išlaidos.	1. Energijos suvartojimas vienam gyventojui: pirminės energijos, automobilių kuro, elektros energijos. 2. Vietinė energijos gamyba: pirminės energijos struktūroje, elektros energijos gamybos struktūroje. 3. Priklausomybė nuo grynojo importo: pirminės energijos, tradicinės energijos, elektros energijos ir kt. kuro rūšių.
Pagrindiniai socialiniai subalansuotos energetikos plėtros rodikliai			
1. Pajamų netolygumas		1. Disponuojamų pajamų dalis, išleidžiama kurui ir elektros energijai: vidutiniškai vienam gyventojui; 20% neturtingiausių gyventojų grupėje.	1. Dalis gyventojų: neturinčių galimybės naudotis komercine energija; neturinčių elektros energijos.
Pagrindiniai aplinkosauginiai subalansuotos energetikos plėtros rodikliai			

Įtakos rodikliai			Būklės rodikliai
Netiesioginės įtakos	Netiesioginės įtakos energetikos sektoriuje	Tiesioginės įtakos	
		<ol style="list-style-type: none"> 1. Teršalų emisijos: SO₂, NO_x, CO, VOC, kietosios dalelės. 2. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos: visos, iš elektros energijos gamybos, iš transporto sektoriaus. 3. Kietųjų atliekų susidarymas. 4. Radioaktyviųjų atliekų susidarymas; 5. Žemės plotai, panaudoti energetikos reikmėms. 6. Techninio hidroenergijos išteklių panaudojimo dalis. 7. Organinio kuro išteklių rezervai. 8. Medienos išteklių panaudojimo kurui intensyvumas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oro priemaišų koncentracijos miestuose: SO₂, NO_x, CO, kietųjų dalelių, ozono. 2. Sukaupti kietųjų atliekų kiekiai. 3. Sukaupti radioaktyviųjų atliekų kiekiai. 4. Mirties atvejai dėl nelaimingų atsitikimų.

1.2.1. Energetikos sektoriaus ekonominio aspekto rodikliai

Pagrindiniai Lietuvos nacionalinės energetikos strategijos prioritetai – patikimas, saugus energijos tiekimas mažiausiomis išlaidomis, užtikrinant Lietuvos energetikos sektoriaus konkurencingumą ES energijos rinkoje, energijos vartojimo efektyvumo didinimas ir teršalų mažinimas, atsinaujinančios energetikos plėtra.



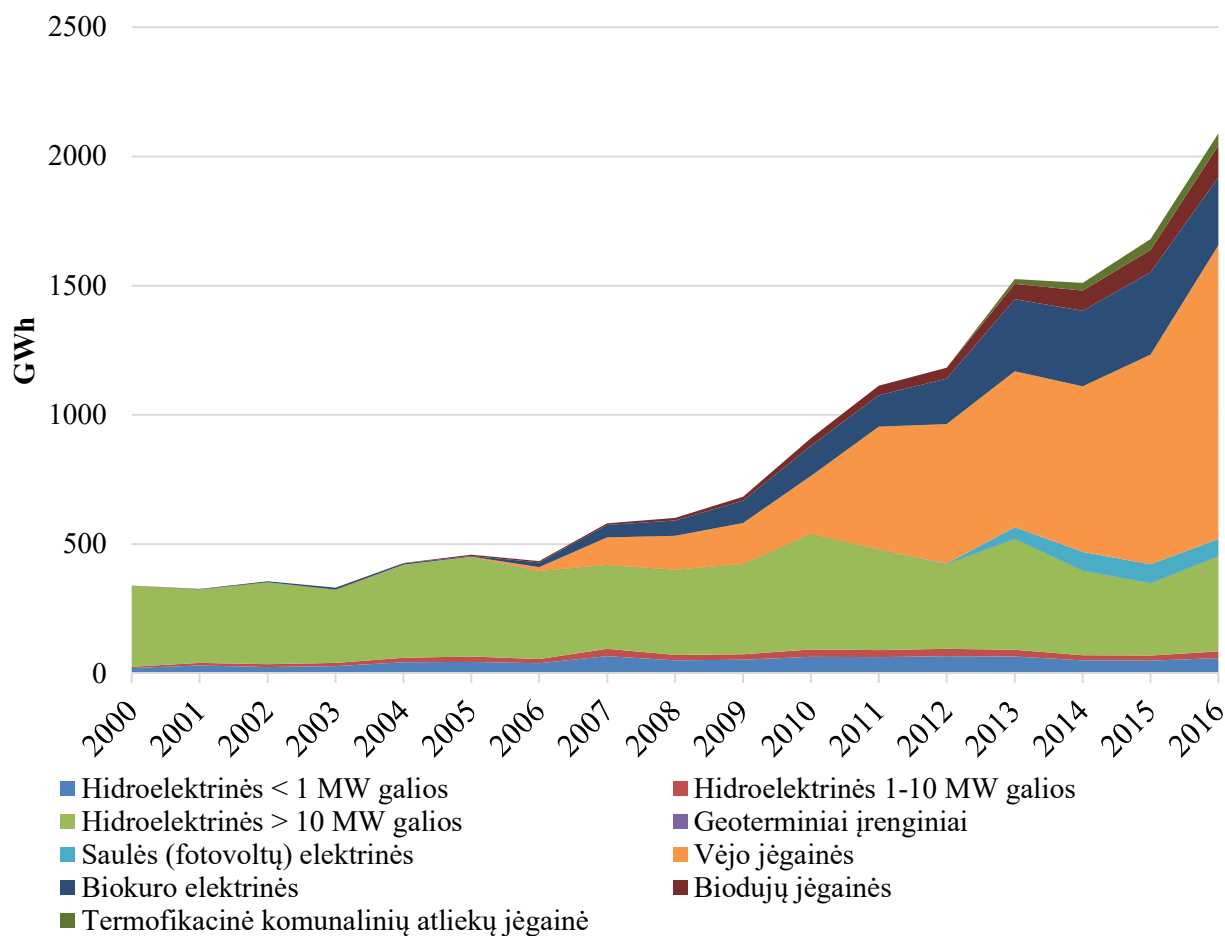
1.2 pav. Lietuvos nacionaliniai ir regioniniai energetikos infrastruktūros projektai [6]

Energijos tiekimo patikimumo gerinimas. Šiuo metu Lietuvos elektros tiekimo sistema turi jungtis su Europa, tačiau jos neužtikrina saugumo, kadangi esamos linijos bei energetinė sistema dar priklauso rusiškajam BRELL elektros žiedui. Šiuo metu Lietuva labai sparčiai juda link sinchronizacijos per Lenkiją (LitPol Link jungtimi) su kontinentine Europa, kuri turėtų būti pasiekta iki 2025 m. Taip bus padidintas energijos tiekimo patikimumas ir integraciją į ES tinklus (1.2 pav.).

Reformuotas Lietuvos elektros sektorius, nutiestos elektros jungtys su Švedija „NordBalt“ ir Lenkija „LitPol Link“, sukurta ir veikianti bendra Baltijos šalių elektros rinka, veiklos skaidrumas: „nulinė“ tolerancija korupcijai, įkurta biokuro birža, spartesnė nei planuota atsinaujinančių energijos išteklių plėtra, suformuotas ir pradėtas vykdyti Vilniaus kogeneracinės elektrinės projektas, t.y. pasiekimai, kurie atnešė realią naudą vartotojams.

Pagrindiniai rodikliai, įvertinantys energijos tiekimo patikimumą yra šie:

- vietinių išteklių energijos gamyba;
- priklausomybė nuo grynojo importo;
- atsinaujinančių energijos išteklių dalis pirminės energijos ir elektros energijos balanse.



1.3 pav. Bendroji elektros energijos gamyba naudojant AEI

Lietuvoje atsinaujinančių energijos išteklių gamyba 2016 m., palyginti su 2015 m., padidėjo 2,1 proc. Didžiausią atsinaujinančios energijos potencialą turi kietasis biokuras. 2016 m. didžiausias jo kiekis buvo suvartotas elektrai ir centralizuotai tiekiamai šilumai gaminti (48,4 proc.) bei namų ūkiuose (40,1 proc.). Jėgainės, naudojančios biokurą, 2016 m. pagamino 9,3 proc. daugiau šiluminės energijos, tačiau elektros energijos gamyba iš biokuro sumažėjo 17,6 proc.

Kasmet plečiasi vėjo jėgainių parkas. Bendra įrengtų jėgainių galia 2017 m. siekė 509 MW (2015 m. pabaigoje – 432 MW). 2016 m. vėjo jėgainės pagamino 1,1 TWh elektros energijos, arba 40,2 proc. daugiau nei 2015 m. Tai sudarė 26,6 proc. visos šalyje pagamintos elektros energijos, arba daugiau kaip 9 proc. šalyje suvartotos elektros energijos (1.3 pav.). Vandens jėgainės 2016 m. pagamino 453,9 mln. kilovatvalandžių elektros energijos, t. y. beveik trečdaliu daugiau nei 2015 m.

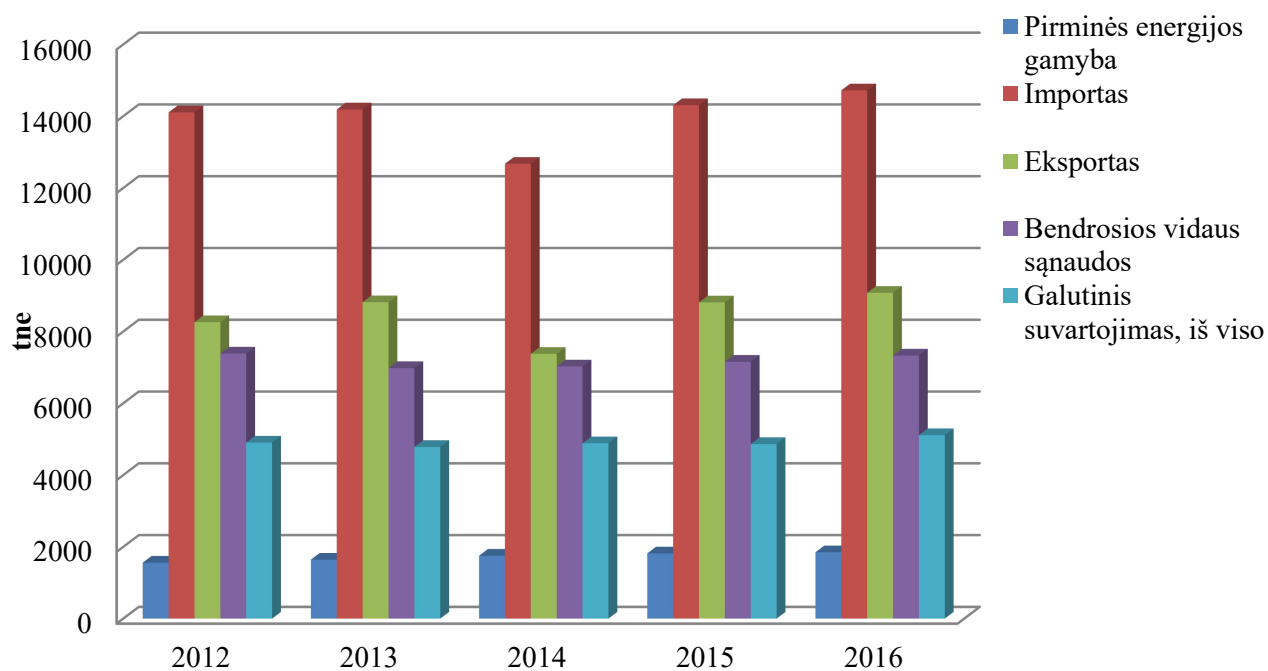
Nors Lietuvoje saulės energijos potencialas nėra didelis, 2016 m. į elektros tinklus patiekta 66,5 mln. kilovatvalandžių elektros energijos (9 proc. mažiau nei 2015 m.), kurią pagamino saulės jėgainės. Elektros energijos poreikis Lietuvoje 2016 m., palyginti su 2015 m., padidėjo 3,3 proc. ir sudarė 12,5 TWh. 2016 m. Lietuvos poreikius išpildyti buvo importuota beveik du trečdaliai elektros energijos, o pagaminta tik apie trečdalis (4,3 TWh). Palyginti su 2015 m., elektros

energijos gamyba šalyje sumažėjo 13,5 proc. Iš atsinaujinančių energijos išteklių pagaminta 49 proc. visos pagamintos elektros energijos.

Pastaraisiais metais vis dažniau elektros energijai gaminti naudojamos biodujos. 2016 m. iš jų buvo pagaminta beveik 122,7 mln. kilovatvalandžių elektros energijos, t. y. 42,2 proc. daugiau nei 2015 m. Biodegalų naudojimas mažina aplinkos taršą. Lietuvoje yra naudojamos dvi biodegalų rūšys – biodyzelinas ir bioetanolis. 2016 m. transporte buvo suvartota 56,7 tūkst. tonų biodyzelino ir 9,9 tūkst. tonų bioetanolio, t. y. biodegalų suvartojimas, palyginti su praėjusiais metais, sumažėjo 17,3 proc.

Kelių transporte 2016 m. buvo sunaudota daugiau nei 1,7 mln. tonų degalų, iš kurių 80,8 proc., sudaro kelių dyzelinas, 12,5 – automobilių benzinas, 6,6 proc. – suskystintos dujos. Pastaraisiais metais dyzelino populiarumas augo – 2016 m. jo sunaudota 8,2 proc. daugiau nei 2015 m. Benzino paklausa padidėjo 5 proc., o suskystintų dujų – sumažėjo 5,7 proc.

Bendras energijos sunaudojimas auga kartu su kylančia ekonomika, dėl to tikėtina, kad artimoje perspektyvoje energijos suvartojimas turėtų augti. Lietuvoje energijos gamybai išteklių užtektinai neturime, senos šiluminės jėgainės yra uždarinėjamos, AE gamyba sugeneruoja nepakankamai energijos, todėl Lietuvoje išaugo importas, kuris dažniausiai būna pigesnis, nei pasigaminimas energijos savo šalyje. [8]



1.4 pav. Energijos balansas Lietuvoje.

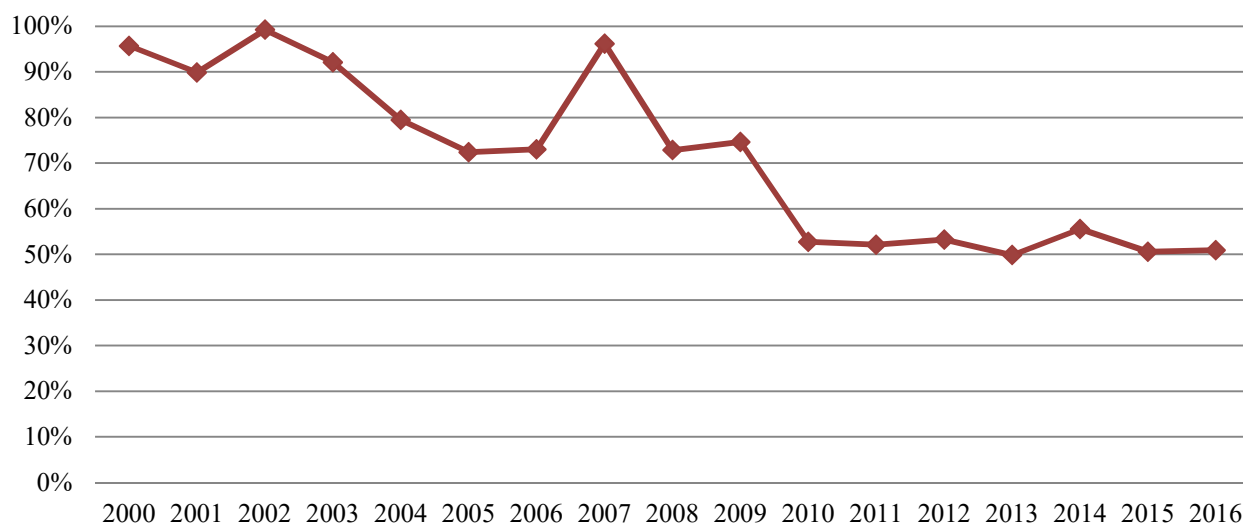
Bendrosios šalies kuro ir energijos sąnaudos 2016 m. sudarė 7,3 mln. tonų naftos ekvivalentu ir, palyginti su 2015 m., padidėjo 2,4 proc., praneša Lietuvos statistikos departamentas. 2016 m.

didžiausią bendrųjų šalies kuro ir energijos sąnaudų dalį sudarė žalia nafta ir naftos produktai (38,9 proc.), gamtinės dujos sudarė 25,1 proc., atsinaujinantys energijos ištekliai ir elektros energija – 20 ir 9,7 proc., o likusiąją dalį – 6,3 proc. – akmens anglis, durpės ir kt.

Galutinis energijos suvartojimas 2016 m., palyginti su 2015 m., padidėjo 5 proc. Galutinių vartotojų struktūroje didžiausią dalį užima transporto ir namų ūkių sektoriai, kuriuose 2016 m. buvo suvartota atitinkamai 38,5 ir 28 proc. energijos. Pramonės sektoriaus dalis galutinio energijos suvartojimo struktūroje sudarė 18,8 proc. Transporto sektoriuje 2016 m., palyginti su 2015 m., sunaudota 6,8 proc. daugiau energijos, namų ūkiuose – 5,4, o pramonėje – 1,7 proc. Transporto sektoriuje daugiausia sunaudota dyzelino (1,4 mln. tonų), namų ūkių sektoriuje – biokuro (2,47 mln. m³) bei centralizuotai gautos šiluminės energijos (5,4 TWh).

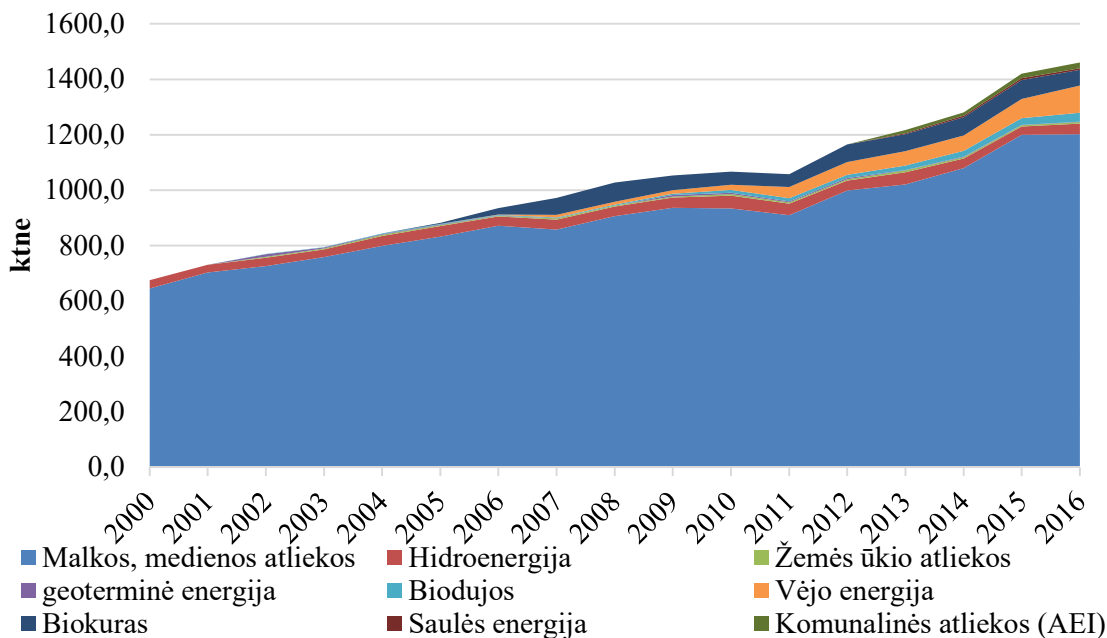
Vartotojų poreikiams tenkinti naudojami tiek šalies, tiek importuoti kuro ir energijos ištekliai. 2016 m. kuro ir energijos išteklių importo poreikis padidėjo 2,9 proc. Labiausiai didėjo elektros energijos importas, o gamtinių dujų bei naftos produktų – mažėjo. Lietuva ir toliau išlieka energetiškai priklausoma nuo importuojamos energijos. Tai geriausiai atspindi energetinės priklausomybės rodiklis, kuris 2016 m. sudarė 75,3 proc. ir vis dar gerokai viršijo Europos Sąjungos (ES) vidurkį (2015 m. – 54 proc.).

Atsinaujinančių energijos išteklių (hidroenergijos, vėjo, saulės, geoterminės energijos, kietojo biokuro (malkų ir medienos atliekų, šiaudų), biodujų, biodegalų, atsinaujinančių komunalinių atliekų) naudojimo skatinimas – vienas geriausių sprendimų patenkinti energijos poreikį, saugant gamtą ir jos išteklius. ES šalių tikslas – iki 2020 m. pagaminti iš atsinaujinančių energijos išteklių nemažiau nei 20 procentų visos Europoje pagaminamos energijos. Lietuvai iki minėto laikotarpio numatyta pasiekti 23 proc. Šį tikslą Lietuva pasiekė jau 2014 m. (23,9 proc.), o 2015 m. šis rodiklis sudarė 25,2 proc. (ES vidurkis – 16,7 proc.).[8]

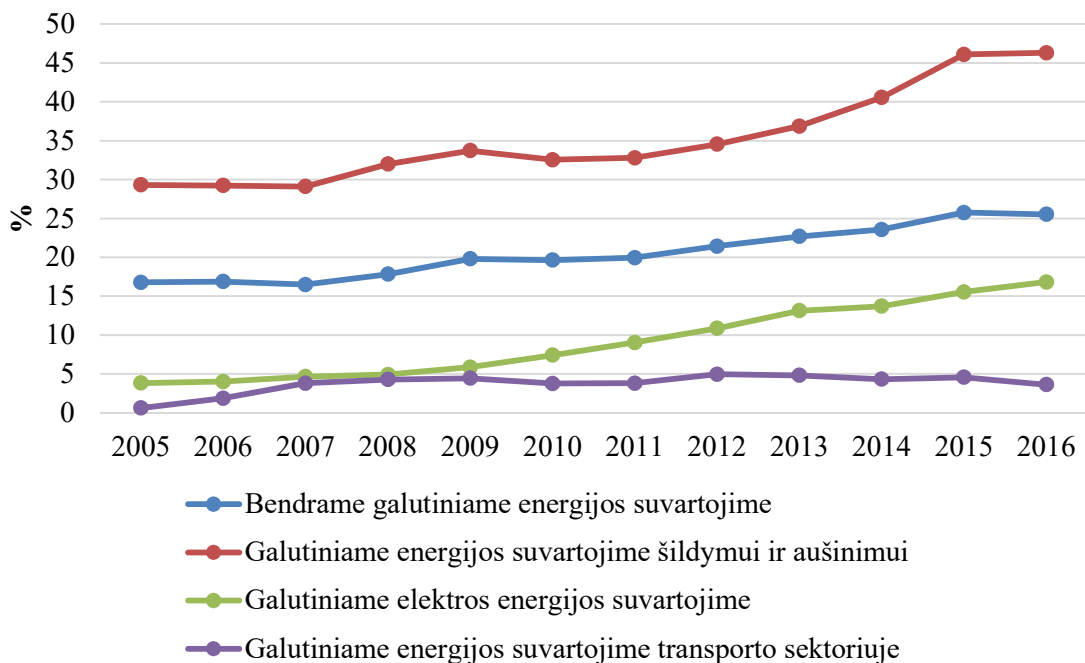


1.5 pav. Priklausomybė nuo grynojo importo

Kaip matyti iš 1.5 pav. Lietuvos energetikos sektoriaus priklausomybė nuo grynojo energijos importo ženkliai sumažėjo: nuo 95% 2000 m. iki 50% 2016 m. Priklausomybės nuo grynojo importo mažėjimui didelę įtaką turėjo spartus AEI išteklių naudojimo augimas. AEI dalis bendrame galutinės energijos vartojime 2016 m. išaugo iki 26 %.



1.6 pav. Bendras AEI naudojimas



1.7 pav. AEI dalis galutinės energijos suvartojime

Kaip matyti iš 1.6 ir 1.7 paveikslų energijos gamyba iš AEI sparčiai didėja, o tai sudaro sąlygas užtikrinti darnią energetikos plėtrą. AEI dalis galutinės energijos suvartojime 2016 m.

pasiekė 25,5 % ir beveik nepakito lyginant su 2015 m. dėl mažesnio bendro šiluminės energijos suvartojimo lyginant 2015 ir 2016 m. Tačiau AEI galutiniame elektros energijos suvartojime sparčiai auga ir 2016 m. pasiekė net 16.8 %.[6] Šiuo metu įgyvendinti projektai kartu su toliau diegiamomis priemonėmis energijos efektyvumo didinimui, leidžia sukurti efektyvius darnumo rodiklius.

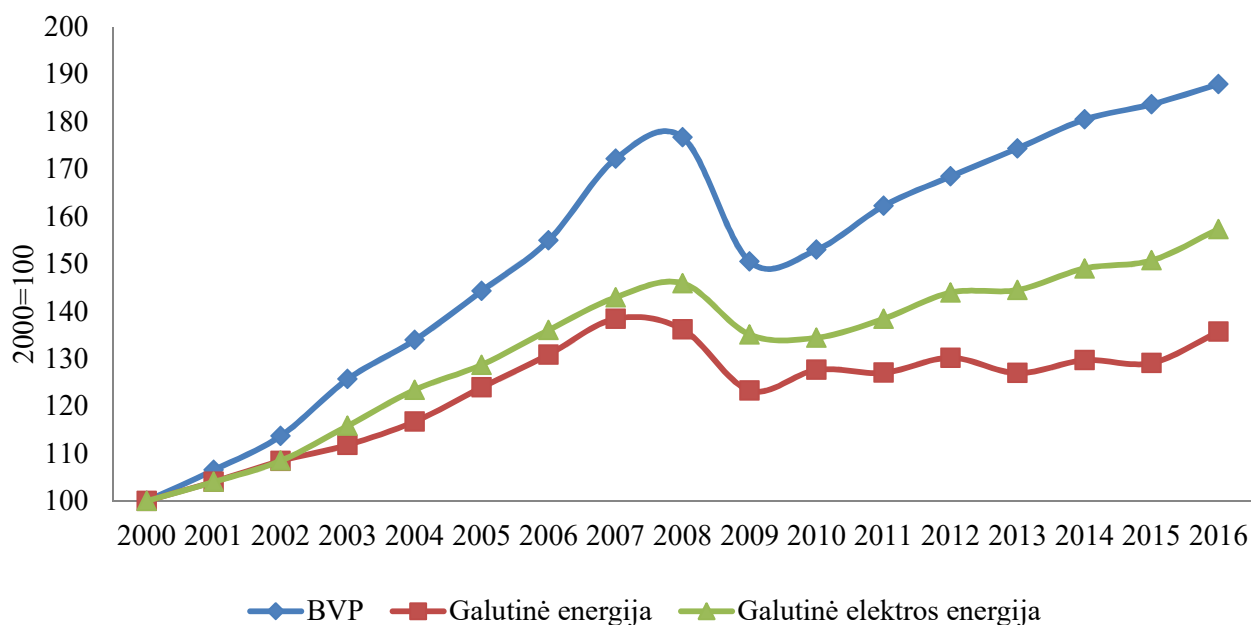
Energetikos ministerija toliau siekia įgyvendinti 2012 m. spalio 25 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2012/27/ES dėl energijos vartojimo efektyvumo, kuria iš dalies keičiamos direktyvos 2009/125/EB ir 2010/30/ES bei kuria panaikinamos direktyvos 2004/8/EB ir 2006/32/EB (OL 2012 L 315, p. 1), reikalavimus. 2016 m. lapkričio 3 d. Lietuvos Respublikos Seimas priėmė Energetikos ministerijos parengtą Energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymą bei su juo susijusius įstatymus. Šiuose teisės aktuose numatytos priemonės, užtikrinsiančios, kad Lietuva iki 2020 m. pasieks Europos Sąjungos keliamą tikslą dėl energijos sutaupymo. Numatytos priemonės padės sutaupyti apie 11,674 TWh energijos, sumuojant kiekvienų metų sutaupymus. Maždaug tiek energijos per metus suvartojama Lietuvos elektros sektoriuje.

2015 m. vasario 18 d. Finansų ministerija ir Energetikos ministerija kartu su UAB Viešųjų investicijų plėtros agentūra įsteigė Energijos efektyvumo fondą (ENEF), kuris finansuos gatvių apšvietimo modernizavimo bei viešųjų centrinės valdžios pastatų atnaujinimo projektus ir užtikrins, kad kiekvienais metais būtų atnaujinta bent po 3 procentus valstybės valdžios viešojo sektoriaus naudojamų pastatų ploto. ENEF fondo dydis – 79,6 mln. eurų. Centrinės valdžios viešųjų pastatų modernizavimui numatoma skirti iki 65,2 mln. eurų, o gatvių apšvietimo modernizavimo projektams finansuoti – 14,5 mln. eurų. Planuojama teikti paskolas viešojo sektoriaus pastatų atnaujinimui, ir atnaujinimui taikant Energijos taupymo paslaugų teikėjų (ETPT) modelį. 2015 m. lapkričio 18 d. priimtas Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas Nr. 1209 „Dėl Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2014 m. lapkričio 26 d. nutarimo Nr. 1328 „Dėl viešųjų pastatų energinio efektyvumo didinimo programos patvirtinimo“ pakeitimo“, kuriuo siekiama paspartinti viešųjų pastatų atnaujinimą. Programos pakeitimu siekiama įgalinti projekto vykdytojus, valdančius viešuosius pastatus, vykdyti energijos taupymo paslaugų tiekėjų atrankos viešuosius pirkimus, su jais sudaryti energetinių paslaugų sutartis, netaikant Viešojo ir privataus sektorių partnerystės projektų rengimo ir įgyvendinimo taisyklių.

Energijos intensyvumo mažinimas arba energijos vartojimo efektyvumo didinimas. Lietuvos nuolatinis tikslas ir prioritetasis yra racionalus, efektyvus ir taupus įvairių rūšių energijos vartojimas visose energetinio ciklo grandyse. Paveldėtas energetikos ūkis, ypač vartojimo pusė, kur iš esmės viskas buvo pritaikyta pigios energijos sąlygoms, turi didelį energijos taupymo potencialą.

Spartus, visapusiškas šio potencialo panaudojimas yra vienas pagrindinių strategijos tikslų.

Ekonominės veiklos lygis yra pagrindinis ekonominis socialinis rodiklis, kuris turi tiesioginę įtaką energijos intensyvumo pokyčiams. Todėl tikslinga atlikti ekonominės veiklos lygio analizę, atsižvelgiant į bendrojo vidaus produkto (BVP) struktūrinius pokyčius, energijos poreikių kitimo ir kitų rodiklių analizę. BVP, galutinės energijos ir elektros energijos sąnaudų kitimo indeksas pateiktas 1.8 paveiksle.



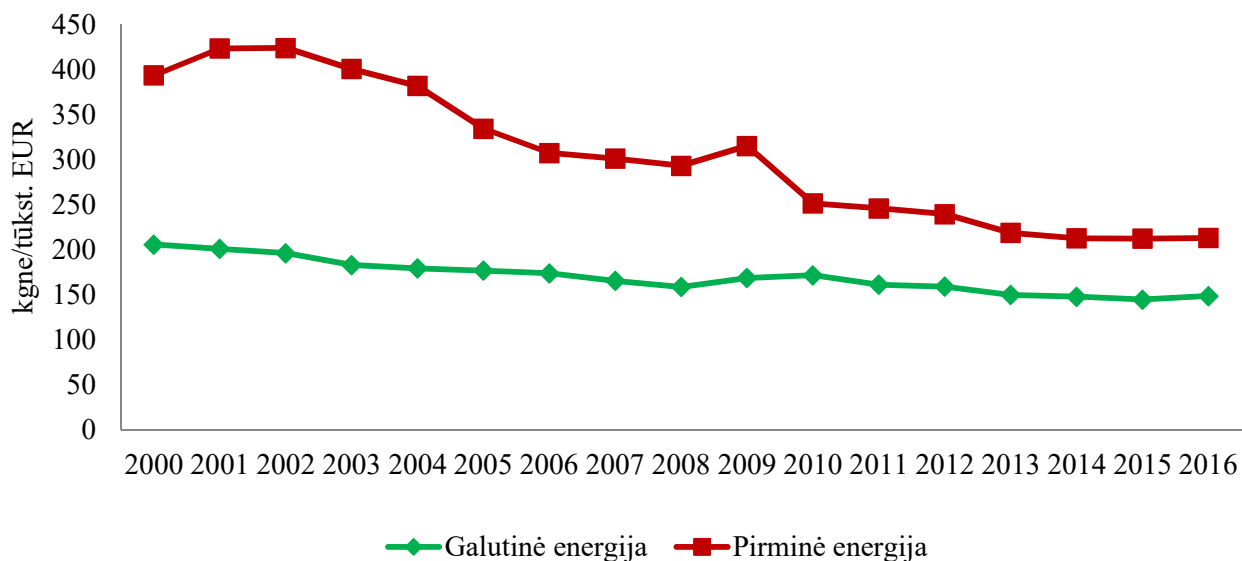
1.8 pav. BVP, galutinės energijos ir galutinės elektros energijos sąnaudų kitimo indeksas

Kaip matyti iš 1.8 paveikslo, augant šalies ekonomikai, didėjo ir galutinės energijos suvartojimas, tačiau tiek galutinės energijos, tiek ir elektros suvartojimo augimo tempas yra lėtesnis negu bendrojo vidaus produkto (BVP) (1.8 pav.). Lietuvoje po 2000 m. prasidėjo itin spartaus ekonomikos augimo laikotarpis. 2000–2008 m. vidutiniai šalies BVP augimo tempai siekė 7 %, o ES-27 šalyse ekonomika šiuo laikotarpiu augo vidutiniškai 2,0 %. Papildomų stimulų plėtoti šalies ūkį ir didinti jo konkurencingumą, modernizuoti gamybą, gerinti infrastruktūrą suteikė ES struktūrinių fondų parama. Globalaus pasaulio ekonomikos nuosmukio įtaka šalies ūkiui buvo skaudi – per 2009 m. BVP sumažėjo 14,8 %. 2009–2016 m. vidutiniai šalies BVP augimo tempai buvo apie 3 %.

BVP Lietuvoje nuo 2000 m. iki 2016 m. padidėjo 2,5 karto ir 2016 metais jis sudarė 38 mlrd. EUR. Tačiau energijos galutinės sąnaudos augo vidutiniškai 4,3 % per metus ir padidėjo tik 1,4 karto. Tai lėmė efektyvios energijos panaudojimo šalyje diegimas, atsirado taupūs įrenginiai, kurie tą patį darbą atlieka sunaudodami mažiau elektros energijos. Tam daro įtaką ir tarptautiniai susitarimai, kurie skatina visuomenę ir šalies pramonę diegti efektyvias priemones, kurios suteikia

lengvatų ir leidžia gauti ES ar šalies paramą.

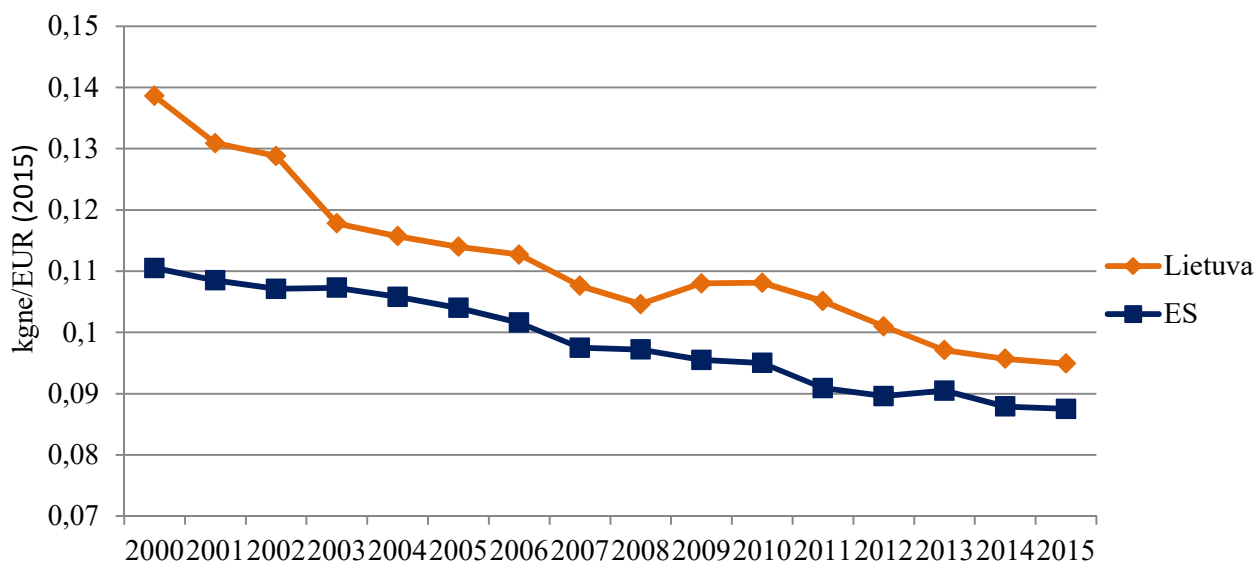
Energijos reikmės tenkančios BVP vienetui parodo bendrąjį energijos sunaudojimo santykio su BVP tendą ir įvertina energijos sunaudojimo bei ekonomikos plėtros ryšį. Pats bendriausias rodiklis, išreiškiantis šalies ekonomikos energetinį efektyvumą – galutinės energijos suvartojimas tenkantis vienam BVP vienetui. Pirminės ir galutinės energijos intensyvumo kitimas pateiktas 1.9 paveiksle.



1.9 pav. Pirminės ir galutinės energijos intensyvumo kitimas

2000-2016 m. laikotarpiu vidutinis pirminės energijos intensyvumo mažėjimas buvo 4% per metus, o vidutinis galutinės energijos intensyvumo mažėjimas buvo 2,3% per metus. Energijos vartojimo efektyvumas buvo reikšmingai pagerintas keičiant senas energijai imlias technologijas naujomis technologijomis pramonėje, gerinant energijos vartojimo efektyvumą pastatuose ir įgyvendinant įvairias efektyvumą didinančias priemones kituose ekonomikos sektoriuose.

Siekiant tiksliau palyginami energetikos ir ekonomikos ryšius tarp atskirų šalių, turi būti naudojamas perkamosios galios pariteto (PGP) rodiklis, kuris remiasi vienodo prekių kiekio įsigijimo įvairiose šalyse galimybių vertinimu ir tiksliau atspindi kiekvienos šalies gyvenimo lygį. Galutinės energijos intensyvumo palyginimas tarp Lietuvos ir ES vidurkio pagal PPP pateiktas 1.10 paveiksle. Lietuvos pirminės energijos intensyvumas 2016 m. Eurostat duomenimis buvo mažiausias tarp trijų Baltijos šalių ir siekė 201,2 kgne/1000 eurų, kai tuo tarpu Latvijos energijos intensyvumas buvo 207,1 kgne/1000 eurų, o Estijos – 358 kgne/1000 eurų.



1.10 pav. Energijos intensyvumas pagal PPP.

Energijos intensyvumo pokyčius, vertinant energijos vartojimo efektyvumo ir energetinio saugumo požiūriu, reikia laikyti reikšmingais. Tiek pirminės, tiek galutinės energijos sąnaudos, tenkančios vienam šalyje sukurto BVP vienetui Lietuvoje, nuosekliai artėja prie vidutinių ES šalių rodiklių.

1.2.2. Aplinkosauginio aspekto rodikliai

Lietuvos Respublikos Seimas 1995 m. vasario 23 d. ratifikavo Jungtinių Tautų Bendrąją klimato kaitos konvenciją (toliau – JTBBKKK) (Žin., 1995, Nr. 18-413), o 2002 m. lapkričio 19 d. ratifikavo šios konvencijos Kioto protokolą (Žin., 2002, Nr. 126-5728). Ratifikavus Kioto protokolą, įsipareigota per 2008–2012 m. laikotarpį (pirmąjį Kioto protokolo įsipareigojimų laikotarpį) sumažinti į atmosferą išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) kiekį 8 % lyginant su baziniais 1990 metais.

Lietuvai ratifikavus Kioto protokolą, atmosferos taršos sritis tampa svarbi, ypač energetikos sektoriuje, kuris atsakingas už didžiausius šiltnamio dujų emisijų kiekius. Svarbiausios šiltnamio efektą sukeliančios dujos – anglies dvideginis CO₂. Šis teršalas susidaro deginant bet kokį kurą ir priklauso nuo kiekio ir rūšies, bet ne nuo degiklių kokybės ar filtrų, galinčių mažinti kitų teršalų kiekius. Didžiausias teršalų kiekis susidaro deginant mazutą, orimulsiją, akmens anglį ir durpes. Gamtinių dujų tarša šiuo atžvilgiu yra maždaug 30 % mažesnė, o atsinaujinantys energijos išteklių (šiaudai, mediena ir kt.) laikomi neutraliu kuru CO₂ atžvilgiu.

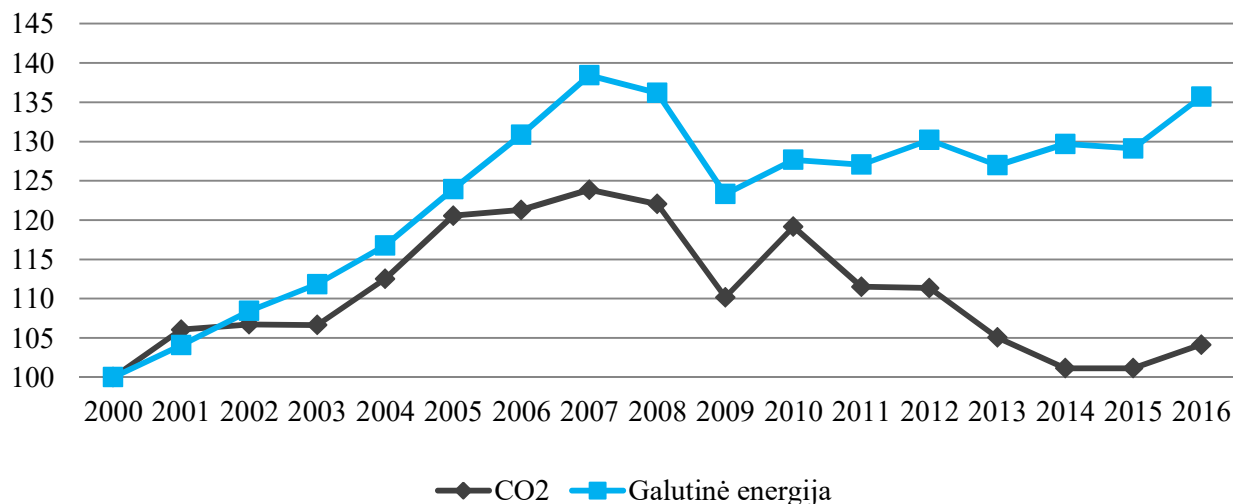
CO₂ išsiskyrimas degant iškastiniam kurui[9]:

- 1 t akmens anglies gauname 2,1 t CO₂ (0,350t/MWh)
- 1 t mazuto gauname 3,1 t CO₂ (0,27t/MWh)

- 1 tūkst. nm³ g. dujų gauname 1,9 t CO₂ (0,202t/MWh)
- 1 t biokuro gauname 0,0 t CO₂ (0,000 t/MWh)

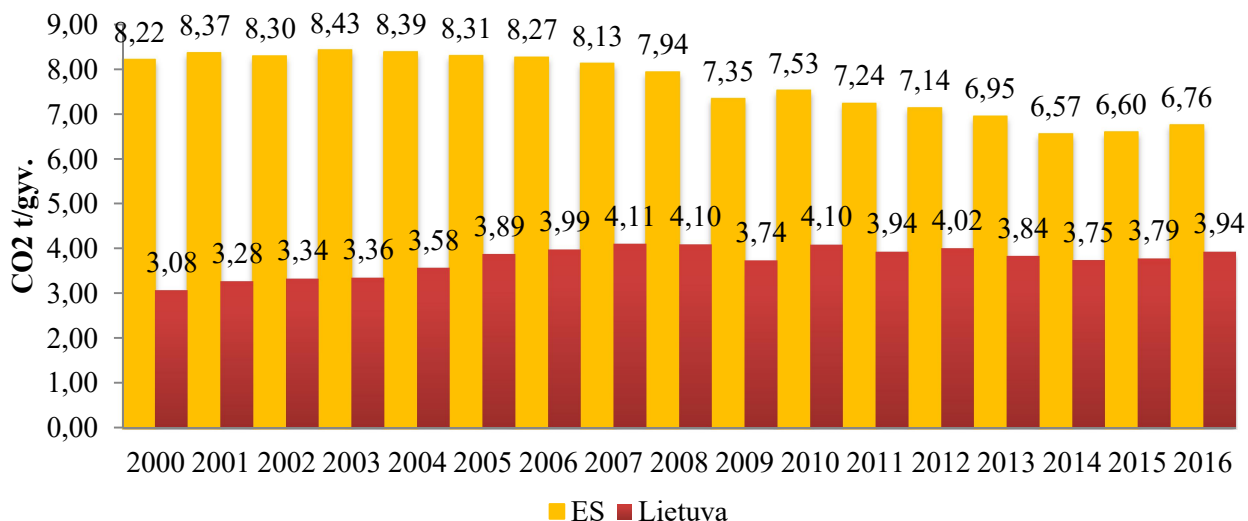
Siekiant įvertinti esamą aplinkosauginę būklę ir keliamų tarptautinių reikalavimų įgyvendinimo galimybes, pasirinkti šie aplinkosauginiai ISED rodikliai:

- ŠESD (CO₂) emisijų kiekio iš energijos gamybos sektoriaus kitimo indeksas
- ŠESD (CO₂) kiekis tenkantis vienam gyventojui.



1.11 pav. CO₂ ir galutinės energijos kitimo indeksas

Iš 1.11 pav. pateikto CO₂ ir galutinės energijos kitimo indekso matyti, kad energijos naudojimui augant CO₂, išmetimai auga lėtesniu tempu. Šias kitimo tendencijas užtikrino energijos gamybos ir vartojimo efektyvumo didinimas, didelę įtaką padarė nuostolių sumažinimas tinkluose, efektyvesnių jėgainių statyba. Prie to prisidėjo struktūrinės energetikos reformos, valstybės ir ES parama subjektams ir tikslų buvimas dėl CO₂ mažinimo, atsižvelgiant į direktyvas ir tarptautinius susitarimus (1.11 ir 1.12 pav.).



1.12 pav. CO₂ t tenkantis kiekis vienam gyventojui kitimas ES ir Lietuvoje.

1.12 poveikslas matyti, kad CO₂ t. vienam gyventojui kitimas Lietuvoje ir ES kinta ne vienodai – tai susiję su esamų šalių skiriamomis investicijomis CO₂ mažinimui. Lietuvai didelę įtaką daro žiemiški orai, per kuriuos daugiausiai išskiriamas CO₂, kai žmonės kūrenasi dujomis, miestuose ir miesteliuose veikia jėgainės. Taip pat dėl gyventojų skaičiaus mažėjimo, didėja CO₂ poveikis esamiems gyventojams Lietuvoje. Europos Sąjungoje sparčiai diegiama AEI jėgainės, tačiau visose šalyse tempai yra skirtingi dėl išsivystymo lygio, geografinės padėties ir sąlygų investicijoms, kurios didžiąja dalimi priklauso nuo šalies įstatyminės bazės. ES didžiausią šuolį CO₂ mažinime atliko Skandinavijos šalys. Tai lėmė palanki investicijų bazė, geografinė padėtis, reljefas ir atsakingesnis požiūris į klimatą. Siekiant pagerinti aplinkosauginę būklę, reiktų įgyvendinti šiuos mechanizmus:

- Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas;
- Kuro rūšies pakeitimas į mažiau taršų;
- Kogeneracijos diegimas energijos gamyboje;
- Energijos vartojimo efektyvumo didinimas;
- Biodujų ir naftos gavybos metu susidarančių dujų panaudojimas energijos gamybai;
- Miškų (ŠD absorbentų) plėtra;
- ŠD emisijos transporte mažinimas ir kt.;

Lietuva, JT BKKK Kioto protokolo ratifikuotame antrajame įsipareigojimų etape, 2013-2020 m. kartu su kitomis ES valstybėmis narėmis privalės sumažinti išmetamųjų ŠESD kiekį 20%, lyginant su 1990 m. ES lygiu vienas iš pagrindinių dokumentų, susijusių su klimato kaita, yra „ES prisitaikymo prie klimato kaitos strategija“ 2 (2013).

Lietuva, ratifikuodama JT BKKK ir Kioto protokolą, įsipareigojo kasmet teikti informaciją apie visų šalyje absorbentais pašalinamų ir išmetamųjų ŠESD kiekį, kurių neapima Monrealio protokolas. Nacionalinė ŠESD apskaitos ataskaita, kurioje pateikti Lietuvos Respublikos teritorijoje išmetamųjų ŠESD kiekio duomenys, kasmet teikiama Europos Komisijai ir JT BKKK sekretariatui.

2017 m. Nacionalinėje išmetamųjų ŠESD kiekio apskaitos ataskaitoje pateikiama informacija apie tiesiogiai (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, SF₆ ir NF₃) ir netiesiogiai (CO, NO_x, NMLOJ, SO₂) Lietuvos teritorijoje išmetamas antropogeninės kilmės ŠESD pagal šaltinius ir sugerimą absorbentais (augalija). Vykstant fotosintezei, anglies dioksidas sugeriamas (pašalinamas) iš atmosferos ir kaupiasi medžiuose bei kituose augaluose.

Lietuvoje ŠESD išmetimas vienam gyventojui 2015 m. siekė 6,88 t CO₂ ekvivalento (2 pav.). Šis rodiklis eliminuoja skirtumus tarp didelių ir mažų valstybių bei parodo, kiek vidutiniškai ŠESD tenka vienam šalies gyventojui. Pagal šį rodiklį Lietuva taip pat yra antroje ES valstybių sąrašo pusėje, žemiau ES vidurkio, kuris 2015 m. buvo 8,47 t CO₂ ekv. Šiame sąrašo Vokietija, kurioje

itin išplėtota pramonė, yra gana aukštai (11,1 t CO₂ ekv.), tačiau, pavyzdžiui, Prancūzija, kuri yra antra pagal gyventojų skaičių ir trečia pagal išmetamų ŠESD kiekį ES, yra žemiau nei Lietuva (6,87 t CO₂ ekv.).[11]

2. ORGANINĮ KURĄ DEGINANČIŲ JĖGAINIŲ POVEIKIS APLINKAI

Ekonominė pažanga, paremta šiuolaikine technika ir technologija, gerina mūsų materialinę gerovę, tačiau kartu auga neatsinaujinančių žaliavų bei energijos išteklių naudojimo mastas, daugėja ir į aplinką išmetamų atliekų kiekis. Žmogus vis labiau kišasi į biosferą – tą žemės rutulio dalį, kurioje egzistuoja gyvybė. Augančios apkrovos biosferai viršija dirvos, vandens ir oro savaiminio išsivalymo galimybes, todėl nuolat blogėja šių biosferos sudedamųjų dalių kokybė. Taigi aplinkos apsauga – mūsų laikmečio techninė, socialinė ir politinė problema.

Gamta turi didžiules galimybes atsistatyti, tačiau tai atlikti jai vis sunkiau. Žinomi tokie kiekybiniai ir kokybiniai žalingi antropogeninės kilmės procesai gamtoje:

- Oro baseino užterštumas, oro sudėties kitimas, ozono sluoksnio, saugančio gyvybę žemėje nuo ultravioletinio Saulės spinduliavimo, irimas.
- Vandens išteklių mažėjimas ir jo kokybės daugelyje pasaulio rajonų blogėjimas.
- Masinis miškų nykimas, žemės paviršiaus erozija, dirvos derlingumo mažėjimas, dykumų ploto didėjimas.
- Floros ir faunos nuskurdimas, vis didesnis jų rūšių išnykimas.
- Pasaulinio vandenyno užteršimas ir gyvybės jame mažėjimas.
- Medžiagų apykaitos gamtoje kitimas.

Keisdamas gamtines sąlygas, žmogus dažniausiai vadovaujasi principu – gauti gamyboje maksimalų ekonominį efektą. Tačiau kartais neatsižvelgiama į pagrindinę žmogaus reikmę – sveikatą. Juk vyksta ir atvirkščias procesas – gamta daro įtaką žmogaus fizinei ir psichinei būklei. Viena iš pagrindinių atmosferos teršėjų yra energetika, sunaudojanti daug organinio kuro ir išskirianti į aplinką daug toksiškų medžiagų. Kai energija gaminama deginant organinį kurą, visada susidaro šalutinių produktų - teršalų (pagrindiniai jų yra SO₂, NO_x, CO ir kietosios dalelės, sudarantys apie 90% visų teršalų) emisijos į atmosferą. [11]

Užteršta atmosfera savo ruožtu sąlygoja išlaidas, atsirandančias dėl pablogėjusios gyventojų sveikatos, darbingumo mažėjimu, sumažėjusio žemės ūkio kultūrų derlingumo, greitesnio ilgalaikio kapitalo nusidėvėjimo ir kt. Besikeičianti ekologinė aplinka paprastai daro neigiamą poveikį, pasireiškiantį žmonių sergamumo didėjimu, jų amžiaus trumpėjimu, darbingumo mažėjimu, gyvenamosios aplinkos sąlygų blogėjimu, biologinių išteklių produktyvumo mažėjimu, ilgalaikio materialaus turto greitesniu susidėvėjimu ir pan., taip pat pačios ekosistemos raidos stabilumo trikdymu.

Pastaruoju metu oro kokybės tyrimai įgavo labai svarbios reikšmės, išryškėjus akivaizdžiam neigiamam atmosferos užterštumo poveikiui žmonių sveikatai, žemės ūkio kultūrų derlingumui bei žmogaus sukurtos aplinkos komponentams (žala medžiagoms) ir ekosistemoms.

Net 98% visos žalos dėl atmosferos teršimo pagrindiniais teršalais (SO₂, NO_x, ir O₃ bei kietosiomis dalelėmis) sudaro žala žmonių sveikatai. 2.1 lentelėje pateikti duomenys, kurie atspindi atskirų teršalų sąlygojamos žalos struktūrą pagal žalos recipientus (žmonių sveikata, žemės ūkio kultūrų derlingumas ir medžiagos). [11]

2.1 lentelė. Žalos pasiskirstymas pagal poveikį. [11]

Teršalas	Poveikis	Struktūra, %
SO ₂	Sveikatai	98.0
	Medžiagoms	1.9
	Derlingumui	0.1
NO _x ir O ₃	Sveikatai	98.6
	Medžiagoms	0.3
	Derlingumui	1.1
Kietosios dalelės	Sveikatai	100.0
	Medžiagoms	-
	Derlingumui	-

Svarbiausios antropogeninės taršos, taip pat ir atmosferos taršos poveikis aplinkai yra susijęs su poveikiu žmonių sveikatai. Pagrindiniai atmosferos teršalai, darantys įtaką žmonių sveikatai, yra SO₂, ozonas, kietosios dalelės ir antriniai teršalai, susidarantys dėl SO₂ ir NO_x emisijų. 85% atmosferos taršos sąlygojamos žalos priskiriama žalai dėl žmonių mirties nuo šios taršos įtakos. Žala dėl gyventojų mirčių kietųjų dalelių ir antrinių teršalų poveikio yra 6 kartus didesnė nei žala dėl gyventojų sergamumo išaugimo nuo šių teršalų poveikio.

Didžiausią žalą dėl žmonių sveikatos pablogėjimo dalį (apie 80% visos atmosferos taršos sąlygojamos žalos) sudaro fizinis antrinių teršalų, tokių kaip sulfatai ir nitratai, poveikis bei atmosferos ozono sluoksnio lygis. Vietinėje zonoje antrinių teršalų poveikis nežymus (apie 2% viso jų poveikio). Čia didžiausia atmosferos taršos sąlygojamos žalos dalis priskiriama dėl kietųjų dalelių ir SO₂ emisijų.

Ekonominės žalos dėl gyventojų mirties dydis labai priklauso nuo gyventojų išsidėstymo vietinėje poveikio zonoje, t.y. nuo to, ar taršos šaltinis yra mieste, ar kaime. Priklausomai nuo gyventojų tankumo šaltinio vietovėje (iki 50 km spinduliu) taršos poveikis sudaro nuo 20% iki 75% visos žalos dėl kietųjų dalelių ir SO₂ emisijų į atmosferą. NO_x emisijų sąlygojama vietinė žala gali

būti ryški, jeigu gyventojų tankumas vietinėje teritorijoje labai didelis, tačiau ji vis tiek tesudaro nuo 5 iki 10% visos atmosferos taršos sąlygojamos žalos.

Nustatyta, kad žemės ūkio kultūroms ir statybinėms medžiagoms neigiamą poveikį daro tik SO₂ ir ozonas. Tų teršalų sąlygojamas poveikis šiems recipientams yra maždaug vienodas ir nežymus, palyginti su žala dėl sveikatos pablogėjimo, bei sudaro apie 2% visos žalos dėl atmosferos teršimo. Todėl Lietuvoje apskaičiuojant atmosferos taršos sąlygojamą žalą ir ją integruojant (kaip taršos mokesčius), pirmiausia reikia įvertinti didžiausių stacionarių atmosferos šaltinių dislokaciją ir nustatyti kietųjų dalelių bei antrinių teršalų (nitrato ir sulfato) poveikį gyventojų mirtingumui pirmiausia miesto vietovėse.

Pagrindinės priemonės, galinčios padėti iš esmės prisidėti prie pasaulinio klimato atšilimo sustabdymo yra organinio kuro deginimo mastų mažinimas, keičiant deginamo kuro struktūrą mažiau anglies turinčio kuro naudai, ekonominis skatinimas.

3. ELEKTROS ENERGIJOS GAMYBOS IŠORINIAI KAŠTAI

Išorinės energijai gaminti deginamo kuro sąnaudos apima socialines ir aplinkosaugines išlaidas, kurios neįskaičiuotos į energijos rinkos kainą. Į šias išlaidas įskaitomi nuostoliai dėl atmosferinių išlakų SO₂, NO_x, CO₂ ir KD įtakos visuomenės sveikatai ir globaliam atšilimui, veikiant energijos generavimo jėgainėms. Jėgainėse deginamas skirtingos cheminės sudėties kuras: naftos produktai, gamtinės dujos ar biokuras.

Energijos kaina – tai gamintojo kaštai, kuriuos tiesiogiai apmoka energijos vartotojas. Tačiau ši kaina neatspindi visų tų kaštų, kuriuos visuomenė patiria gamindama ir vartodama energiją. Priklausomai nuo kuro cheminės sudėties, valymo įrenginių efektyvumo jėgainėse kuro degimo produktuose kenksmingųjų išlakų ingredientai labai varijuoja.[12] Jėginių savininkai neatlygina ir tokių išlaidų neįtraukia į elektros generavimo kaštus. Taigi šios jėgainės sukuria išorinius kaštus. Išoriniai kaštai atsiranda tada, kai vienos grupės asmenų socialinė ar ekonominė veikla turi poveikį kitai grupei ir kai pirmoji grupė viso šio poveikio neatlygina ar nekompensuoja.

Išoriniai kaštai skirstomi į keturias dideles grupes [12]:

- ❖ *Socialiniai kaštai* – tai tiesioginė žala žmonių sveikatai bei gyvenimo trukmei, pastatų ardymas, derliaus nuostoliai;
- ❖ *Aplinkos kaštai* – ekosistemų nykimas ir atrofavimas, globalinis šiltnamio efektas, globaliniu mastu didėjančių gamtos stichijų sugriovimas, smogas;
- ❖ *Politiniai kaštai* – priėjimo prie žaliavos šaltinių politinės ir karinės apsaugos išlaikymas, kova dėl žaliavų rezervų, priklausomybė nuo pasaulinės rinkos kaip balastas politiniams sprendimams priimti.

Kad teisingai funkcionuotų rinka, išoriniai kaštai privalo būti įtraukti į energijos kainą, kad juos padengtų energijos vartotojas, o ne visa visuomenė. Elektros energijos gamybos šaltinių išoriniai kaštai yra itin svarbūs siekiant sukurti efektyvią politiką, mažinančią neigiamus elektros energijos gamybos ir vartojimo efektus. Reikia tiksliai nustatyti išorinius energijos šaltinių kaštus atsižvelgiant į jėgainės dislokacijos vietą ir meteorologines vietovės sąlygas. Panaudojant SIMFACTS modelį galima atlikti išorinių kaštų dėl teršalų emisijų į atmosferą analizę, o taip pat išorinių elektros energijos gamybos šaltinių kaštų Lietuvoje analizę.

Auga visuomenės poreikiai energijai, naudingiesiems ištekliams ir kitoms gamtos gėrybėms. Energija ir jos tiekimo stabilumas yra vienas iš esminių šiuolaikinės ekonomikos klausimų. Žmogaus veikla sukelia poveikius ekosistemoms ir kitiems gyvosios gamtos elementams bei sąlygoja galimos rizikos atsiradimą žmonėms. Tokios veiklos išoriniai poveikiai, neįvertinti kainoje. Būtina pabrėžti, kad elektros energija visuomenės gyvenime ir veikloje yra viena

svarbiausių ir patogių naudojimui prekių, todėl jos gamybos didėjimas yra neišvengiamas, o elektros energijos gamybos sukeltas neigiamas poveikis aplinkai turi būti įvertintas ir integruotas į bendruosius kaštus.

Neįvertinti išoriniai kaštai, pasak K. W. Kapp, B. Baarsma ir J. G. Lamboy [7] lemia, kad įmonė priima netinkamus sprendimus nustatant gamybos apimtis. Kitas svarbus veiksnys, pasak T. Tietenberg [7], neigiami išoriniai poveikiai sąlygoja, kad prekių, kurių gamybos rezultatas yra išoriniai kaštai, bus pagaminta per daug. Integravus išorinius kaštus, prekės kaina išaugtų, o jos paklausa ir kartu pasiūla sumažėtų.

P. Rafaj, S. Kypreos [7] teigia, kad išorinių kaštų integravimas į pilnus energijos gamybos kaštus yra labai svarbus siekiant mažinti neigiamą įtaką aplinkai dėl energijos gamybos ir vartojimo. Įmonės, dėl kurių veiklos susidaro išoriniai kaštai neturi paskatų integruoti išorinių kaštų ir mažinti prekių gamybos. Paprastai jiems užtenka neperžengti aplinkosauginių įstatymų numatytų teršalų emisijų limitų, nekreipiant dėmesio į tolimesnę riziką ir nuostolius. Išorinius poveikius būtina integruoti naudojant įvairius ekonominius instrumentus, t. y. reguliuojančios institucijos turi užtikrinti, kad išoriniai poveikiai būtų integruoti prekių kainose [7].

Neigiamų išorinių kaštų integravimas elektros kainoje yra labai svarbus elektros energetikos sektoriuje, nes leidžia padidinti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo elektros gamybai patrauklumą. A. Owen [7] teigia, kad rinkos „nematoma ranka“ negali užtikrinti darnios energetikos plėtros. A. Owen išorinius kaštus nurodo kaip pagrindinį rinkos barjerą atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo plėtrai, kuriam įveikti būtina elektros kainoje integruoti tradicinių elektros energijos gamybos šaltinių išorinius kaštus.

Elektros energijos šaltinių ciklo kaštai šiuo metu yra laikomi svarbiausiu kriterijumi priimant sprendimus elektros energetikos sektoriuje [7]. Vertinant elektros energijos šaltinių ciklo kaštus turėtų būti įvertintas elektros energijos šaltinių poveikis žmonių sveikatai bei aplinkai dėl atmosferos taršos ir klimato kaitos. Šis poveikis turi apimti visą elektros energijos gamybos šaltinių ciklą (nuo jėgainės pastatymo iki panaudoto kuro sutvarkymo), o ne tik išorinius kaštus, susijusius su elektros energijos gamybos stadija. Tokiu būdu labai svarbu įvertinti visus elektros energijos šaltinių ciklo metu susidarancius teršalus bei įvertinti išorinius kaštus dėl šių teršalų emisijos į atmosferą. Norint palyginti skirtingas elektros energijos gamybos technologijas būtina įvertinti išorinius kaštus dėl teršalų emisijos į atmosferą, gautus EUR/t, transformuoti į išorinius kaštus vienai elektros energijos kilovatvalandei pagaminti, EURct/kWh, atskiro tipo jėgainėse, deginančiose skirtingą kurą. Išoriniai kaštai dėl elektros energijos gamybos yra vertinami pagal šias pagrindines išorinių kaštų kategorijas [11]:

- 1) Poveikis žmogaus sveikatai:

- dėl tradicinių teršalų (NH₃; LOJ, NO_x, SO₂, kietųjų dalelių) emisijos;
 - dėl kitų teršalų, t. y. sunkiųjų metalų (Cd, As, Ni, Pb, Hg, Cr, Cr-IV) emisijų.
- 2) Poveikis aplinkai:
- dėl rūgštėjimo ir eutrofikacijos prarastos biologinės įvairovės;
 - poveikis pasėliams dėl ozono ir azoto nuosėdų bei SO₂ emisijų;
 - poveikis medžiagoms ir pastatams dėl SO₂ ir NO_x emisijų.
- 3) Radionuklidų poveikis žmonių sveikatai.
- 4) Klimato kaitos poveikis.

3.1 lentelė. Vidutiniai išoriniai kaštai dėl tonos teršalų emisijos ES-27 ir Lietuvoje 2010 ir 2020, EUR/t [10]

Išorinių kaštų kategorijos	2010, EUR/tm.		2020, EUR/t	
	ES-27	Lietuva	ES-27	Lietuva
Poveikis žmonių sveikatai				
NH ₃	9 482	4 348	5 837	2 371
LOJ	584	326	238	56
NO _x	5 591	3 966	6 620	4 653
Kietosios dalelės	1325	390	1381	397
Ypač smulkios kietosios dalelės	24410	10969	24191	11169
SO ₂	6070	4412	6673	5017
Bioįvairovės praradimas				
NH ₃	3266	2229	3295	2278
LOJ	-67	-28	-48	-25
NO _x	903	590	868	557
SO ₂	177	139	192	
Poveikis grūdinių kultūrų pasėliams				
NO _x	-183	-11	-183	-10
LOJ	189	35	103	16
NO _x	328	129	435	104
SO ₂	-27	-14	-41	-16
Poveikis medžiagoms ir pastatams				
NO _x	71	74	71	74
SO ₂	259	187	259	187

Poveikis žmonių sveikatai, bioįvairovės praradimui, grūdinių kultūrų pasėliams ir medžiagoms dėl tradicinių teršalų (NH₃, LOJ, NO_x, SO₂, kietųjų dalelių) emisijos yra nustatomas kiekvienai šaliai individualiai, kai įvertinamas taršos objektų geografinis išsidėstymas [12]. Kiti išoriniai elektros energijos gamybos kaštai (dėl sunkiųjų metalų ir radionuklidų poveikio žmonių sveikatai bei klimato kaitos) buvo įvertinti kaip vidutiniai visoms ES šalims narėms.

Pasauliniu mastu buvo atliktas išorinių kaštų tyrimas „Tvarios energijos sistemų kaštų vertinimas“ (angl. *Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, CASES*) meta-analizės metodu, tai sisteminis tyrimų apibendrinimo metodas, kai vertinant nepriklausomus tos pačios rūšies

tyrimus, jų metu gauti rezultatai apibendrinami, norint pateikti tikslesnę ir aiškesnę informaciją iš pakankamai didelės duomenų bazės.[13]

Meta-analizė remiasi metatyriniais, kurie apima plačią skirtingų tyrimų analizę, kurioje stengiamasi subalansuoti skirtumus ir išvesti apibendrinančias reikšmes. Medianos (50-ojo procentilio) reikšmės gali geriau atspindėti pagrindinę tendenciją, nei vidutinės reikšmės, kadangi medianos reikšmės nėra įtakojamos ekstremalių reikšmių. Sundkvistas ir Soderholmas (2002) palygino medianos reikšmes skirtinguose tyrimuose ir nustatė, kad anglies išoriniai kaštai buvo du kartus didesni nei gamtinių dujų ir biomasės bei aštuonis kartus didesni nei branduolinės energijos. Tuo tarpu naftos išoriniai kaštai buvo patys didžiausi. Vertinant absoliučius dydžius, 8 centų dydžio anglies išoriniai kaštai viršys privačius anglies generavimo kaštus ir bus panašūs arba šiek tiek mažesni nei dabartinės elektros energijos kainos (įskaitant perdavimo ir paskirstymo kaštus bei apimant privačius kaštus ir kaštus, atsirandančius dėl reguliavimo). Šie rezultatai yra labai geras atskaitos taškas.[14] 3.2 lentelė rodo, kad šis matavimas ignoruoja milžinišką išorinių kaštų variaciją, kuri labai priklauso nuo daugiasluoksnio išorinių nuostolių nustatymo. Labai svarbu, ar vertinant iškastinio kuro kaštus yra įtraukiamas klimato poveikis.[15]

Apibendrinant, galima pasakyti, kad egzistuojančioje mokslinėje literatūroje yra daug konceptualiai silpnų vietų. Tradicinio kuro ciklai yra išsamiai išanalizuoti daugelyje šaltinių, o atsinaujinančio kuro (pvz., saulės energijos) išoriniai kaštai sulaukia gana mažai dėmesio. Be to, yra atlikta nedaug tyrimų, kurie bandytų nustatyti išorinius elektros energijos gamybos kaštus besivystančiose šalyse. Pastarasis aspektas ypač svarbus, nes dėl pajamų, gyventojų tankumo ir aplinkos poveikio skirtumų skaičiavimo, rezultatai gali labai skirtis nuo skaičiavimų, atliktų išsivysčiusiose šalyse.

3.2 lentelė. Išorinių kaštų įvertinimo pateikto literatūroje apibendrinimas, centai/kWh

	Anglis	Nafta	Gamtinės dujos	Branduolinė energija	Hidro	Vėjo	Saulės	Biomasė
Reikšmių sk.	36	20	31	21	16	18	11	22
Min.	0,01	0,04	<0.01		0,00	0,00	0,00	0,00
Maks.	90,61	53,43	17,69	86,23	35,14	1,18	2,94	29,56
Vidurkis	18,75	16,48	6,17	9,53	4,50	0,41	1,12	6,62
Mediana	8,54	12,19	3,51	1,08	0,43	0,43	1,02	3,59

3.2 lentelėje pateiktus duomenis galima panaudoti sprendimų priėmimui. Priimančieji sprendimus informaciją apie tikruosius energijos kaštus gali panaudoti įvairiausiais tikslais. Ekonomikos teorija teigia, jog ši informacija gali būti tiesiogiai įtraukta į kainas, taikant išmetamųjų

emisijų apmokestinimą ir kitus mokesčius, kurie atspindi socialinius kaštus. Tačiau labiau tikėtina, jog praktikoje tokia informacija bus integruota į sprendimų priėmimą per teisinį reguliavimą. Nustatytas tikrasis kaštų dydis reguliavimo politikai gali turėti dvejopos įtakos: planuojant ir paskiriant naujas investicijas arba valdant jau egzistuojančią infrastruktūrą.

Planuodama ir paskirdama naujas investicijas, Vyriausybė gali reikalauti iš investuotojų pademonstruoti, kaip siūlomas investavimo sprendimas atsižvelgtų į socialinius kaštus ir užtikrintų mažiausius kaštus. Pagal šį scenarijų, pasirinkimas tarp iš pirmo žvilgsnio pigios anglies ir brangių gamtinių dujų generavimo gali tapti priešingu, jeigu, pavyzdžiui, elektros galios generavimo privatūs kaštai būtų atitinkamai 0,02 JAV dolerio už kWh ir 0,04 JAV dolerio už kWh, o išoriniai kaštai būtų atitinkamai 0,04 JAV dolerio ir 0,01 JAV dolerio už kWh. Šio metodo trūkumas yra tas, kad jis nereglamentuoja jėgainių eksploatacijos po to, kai jos jau yra pastatytos.[16]

Svarbesnis rezultatas yra gaunamas tada, kai tikrosios išlaidos yra įvertinamos ne tik planuojant investicijas, bet ir atsižvelgiant į jėgainių eksploatacijos išlaidas tam, kad būtų užtikrinamos minimalios išlaidos per visą jėgainių gyvavimo ciklą. Šis būdas turėtų įtakos tiek investicijoms, tiek ir sistemos eksploatacijai, nes būtų atsižvelgiama ir į investicijas ilgalaikėje perspektyvoje.

Kaip ši informacija galėtų būti naudinga sprendimų priėmimui? Tai priklauso nuo to, kas priima sprendimus, prisiima riziką ir atsakomybę. Priimantieji sprendimus yra tiesiogiai suinteresuoti atsižvelgti į socialinius kaštus. Privatūs investuotojai taip pat turėtų būti suinteresuoti atsižvelgti į socialinius kaštus, ypač jeigu jie ir bus statomų jėgainių operatoriai, nes praktika rodo, kad, bėgant laikui, nauji reglamentavimai dažnai atbuline data apmokestina egzistuojančių jėgainių teršalų emisijas. Jėgainės savininkas arba operatorius turėtų prisiimti riziką, jog išoriniai kaštai gali įgauti piniginę išraišką.

Tikrųjų išlaidų įvertinimas visame pasaulyje turi įtakos elektros gamybos planavimui ir sistemos eksploatacijai bei atspindi kokybiniuose ir kartais kiekybiniuose matavimuose, tačiau žymiai rečiau į juos yra formaliai atsižvelgiama, planuojant bendruosius sistemos modelius. Jungtinėse Amerikos Valstijose ir Jungtinėje Karalystėje sprendimų priėmėjai dažnai visapusiškai tiesiogiai ir formaliai įvertina išorinius kaštus bei ekonominę naudą. Jungtinėse Amerikos Valstijose dešimtam dešimtmetyje atsirado judėjimas, skatinantis naudoti tikrąsias išlaidas, vadinamuosius „aplinkosauginius priedus“ (*angl. environmental adders*), kurie formaliai apima elektros jėgainių apskaičiuotas investicijas į aplinkosauginius kaštus ir į eksploatacijos sprendimus.

Jungtinėse Amerikos Valstijose keletas valstybinių komunalinių reguliavimo komisijų įdiegė šį metodą, o Europos šalys taip pat rodė suinteresuotumą naudoti tikrųjų kaštų skaičiavimus. Tiesa, daugeliu atvejų šias pastangas sunaikino elektros pramonės dereguliacijos politika, kuri iš

komunalinių reguliavimo komisijų atėmė galimybę daryti įtaką investavimo sprendimams. Tokiais atvejais tikrųjų išlaidų skaičiavimai persikėlė į aplinkosauginius reikalavimus. Dar daugiau, egzistuoja įprastinė praktika, pagal kurią investicijų planuotojai turi atsižvelgti į „reguliavimo rizikas“, kadangi jos apima ir tai, kad išorinės išlaidos gali būti reglamentuojamos.

4. IŠORINIŲ KAŠTŲ ĮVERTINIMO METODIKA

Pasaulyje kol kas nėra bendros, visuotinai priimtos išorinių sąnaudų vertinimo metodikos. Per pastaruosius 25 metus buvo pasiūlyta nemaža skirtingų metodikų išoriniams aplinkos efektams vertinti. Plačiausiai paplitusi metodika sukurta ES finansuojamos programos ExternE rėmuose buvo skirta įvairių kuro rūšių ciklų išorinėms sąnaudoms vertinti. Ši metodika remiasi vadinamuoju poveikio įvertinimo metodu; jos esmė – atpažinti visus poveikius aplinkai, vartojant tam tikros rūšies kurą nuo jo gavybos iki palaidojimo. Pagrindinis tikslas yra įvertinti žalą fiziniiais vienetais dėl organinio kuro deginimo ir išreikšti ją piniginiiais vienetais.

ExternE sukurta metodika remiasi žalos funkcijos apskaičiavimu “iš apačios į viršų”, sekant taršos šaltinio įtaką aplinkai keturių žingsniu metodu. Pavyzdžiui, laikoma, kad, vertinant žalą dėl emisijų į atmosferą, poveikis aplinkai nustatomas, sekant teršalų sklaidos kelią atmosferoje, nors galimi ir kiti poveikio aplinkai sklaidos keliai dėl emisijų į atmosferą, pavyzdžiui, vandens telkinių, dirvožemio taršos, o ne vien tik užteršta atmosfera.

Praktiškai sunku surinkti visus reikalingus duomenis, kad būtų galima įvertinti poveikį aplinkai, tačiau daugeliui politinių sprendimų priimti užtenka apytikslių arba tipinių įverčių. Atmosferos taršos poveikiui įvertinti taikoma 4 žingsnių schema [14]:

1. Šaltinio charakteristika:

- Šaltinio dislokacijos vietovė (kaimas ar miestas);
- Kamino parametrai (aukštis, išleidžiamų dujų srautas ir temperatūra);
- Teršalų emisija.

2. Teršalų sklaida atmosferoje:

- Vietinė sklaida (vietinio poveikio zona iki 50 km spinduliu nuo šaltinio);
- Regioninė sklaida (regioninio poveikio zona iki 1000km spinduliu nuo šaltinio).

3. Poveikio vertinimas:

- Žmonių sveikata;
- Žemės ūkio kultūrų derlingumas;
- Statybinės medžiagos;
- Ekosistemos.

4. Piniginis poveikio aplinkai įvertinimas:

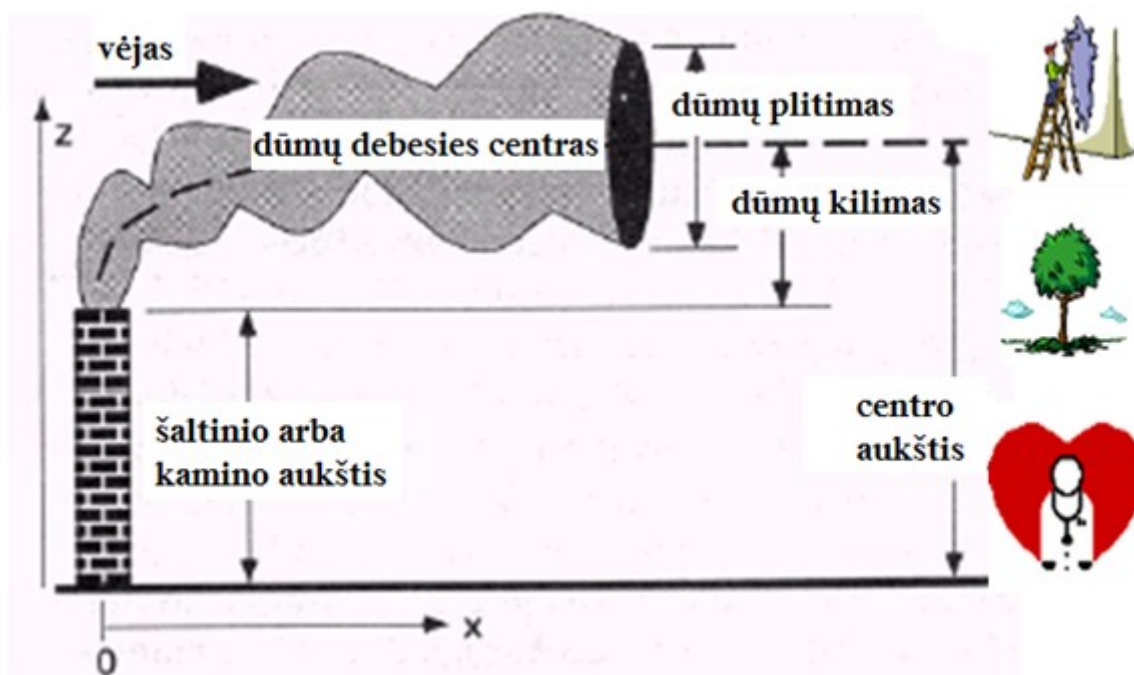
- Išorinės sąnaudos.

Šaltinio charakteristika – tai pirmasis įvertinimo žingsnis – taršos šaltinio charakteristikų identifikavimas. Svarbiausias veiksnys yra taršos šaltinio dislokacijos vietovė (miestas ar kaimas).

Kadangi didžiausia žala daroma žmonių sveikatai, tai esminę reikšmę visiems žalos apskaičiavimams turi gyventojų išsidėstymas taršos šaltinio teritorijoje. Kitos labai svarbios šaltinio charakteristikos - susijusios su kamino (aukštis, diametras) ir išleidžiamų dujų srauto (greitis, temperatūra) parametrais. Svarbus rodiklis, būtinas žalos funkcijoms apskaičiuoti, yra teršalų emisijų į atmosferą kiekliai, matuojami g/s arba t/metus. Šis rodiklis būtinas, norint apskaičiuoti teršalų koncentracijos atmosferoje padidėjimą, kuris ir sąlygoja žalos recipientams susidarymą bei įvertina žalos funkciją.

Teršalų sklaida atmosferoje – kitas žingsnis, apskaičiuojant žalos funkciją – nustatyti teršalų koncentraciją atmosferoje. Teršalų sklaida atmosferoje padalijama į vietinę ir regioninę. Vietinė sklaida apima teritoriją, esančią 50 km spinduliu nuo taršos šaltinio. Regioninė sklaida prasideda už 50 km nuo taršos šaltinio ir tęsiasi kelis tūkstančius kilometrų. [17]

Teršalų koncentracijoms skirtingose sklaidos zonose taikomi skirtingi teršalų sklaidos principai. Vietinėje zonoje teršalų sklaida priklauso visų pirma nuo meteorologinių parametru. Svarbiausi iš jų: vėjo greitis, kryptis ir atmosferos temperatūra. Sklaida vietinėje zonoje nustatoma, naudojant empirines formules pagal šešių atmosferos stabilumo klasių oro sąlygų klasifikaciją. 4.1 paveiksle pateikti teršalų išsisklaidymą atmosferoje sąlygojantys parametrai.



4.1 pav. Teršalų išsisklaidymas atmosferoje

Kadangi antriniai teršalai regioninėje zonoje susidaro, praėjus tam tikram laikui, jų koncentracija atmosferoje mažai priklauso nuo vietinių meteorologinių sąlygų ir kamino aukščio, nes pirminiai teršalai, nunešti toli nuo taršos šaltinio, vis labiau susimaišo su aplinkos oru dėl atmosferos turbulentiškumo. Taigi teršalų koncentracijos po truputį susivienodina. Todėl antrinių

teršalų koncentracijoms nustatyti naudojami regioniniai teršalų pernešimų modeliai, tokie kaip Vėjų rožės trajektorijos modelis, kuris yra supaprastintas Harwello trajektorijos dispersijos modelis. Šio modelio algoritmas paremtas Lagranžo pasiskirstymo modeliu. Modelis pasitelkia statistiškai apibendrintus regioninius meteorologinius duomenis ir yra plačiai naudojamas Europoje sulfatų ir nitratų koncentracijoms apskaičiuoti.

Poveikio įvertinimas – trečias žingsnis - įvertinti fizinį atmosferos teršalų poveikį recipientams. Taigi, poveikis žmogaus sveikatai, žemės ūkio kultūroms, ekosistemoms ir statybinėms medžiagoms (pastatams, tiltams ir kt. įrenginiams) įvertinamas pasitelkus ryšį tarp teršalų koncentracijos padidėjimo ir poveikio recipientams funkcijų, vadinamųjų žalos funkcijų.

Žala sveikatai įvertinama mirtingumo ir sergamumo rodikliais. Tradicinis mirtingumo įvertinimo metodas – įvertinti produkcijos nuostolius dėl mirties. Pastaruoju metu šį metodą pakeitė PM (Pasiryžimas mokėti)/PPK (Pasiryžimas priimti kompensaciją) koncepcija, kuri išmatuoja PM dėl sumažėjusios rizikos numirti.

$PM / (\text{rizikos pasikeitimas}) = \text{SGV}$ (Statistinė gyvenimo vertė).

SGV buvo nustatyta, remiantis automobilių avarijų tyrimais, hedonistiniais darbo užmokesčio tyrimais ir išlaidomis saugumui užtikrinti. Alternatyvus rodiklis yra prarastų gyvenimo metų vertė (PGMV). Pastaroji formulė susieja SGV ir PGMV:

$$SGV = PGMV \sum_{t=40}^{t=100} (1+r)^{-t} p_{40,t}$$

čia:

$p_{40,t}$ – tikimybė išgyventi iki t metų žmogui, kuris vyresnis nei 40 metų;

r – diskonto koeficientas.

SGV įvertiniai Europai priklauso nuo išgyvenimo tikimybės Europoje. Ji kiekvienoje šalyje skirtinga. Siekiant įvertinti staigų ir chronišką mirtingumą prarastais gyvenimo metais, reikia nustatyti, kiek prarandama gyvenimo metų per vieną mirties atvejį. Staigios mirties atveju tai būtų maždaug vieneri metai. Chroniško mirtingumo atveju apie 8 metus.

Ekonominis įvertinimas – paskutiniame etape ekonomiškai įvertinamos išorinės arba socialinės atmosferos taršos sąnaudos.

Sveikatos poveikio piniginiams sąnaudoms įvertinti paprastai taikomas kontingento įvertinimo metodas, paremtas individo pasiryžimu mokėti (PM) už tam tikrą gautą aplinkosauginę naudą arba individo pasiryžimu priimti kompensaciją (PPK) už tam tikrą žalą aplinkai. Ekonominio įvertinimo metodas paremtas individų apklausa, kiek jie pasirengę mokėti už tam tikrą ekologinių išteklių kokybę, arba kokio dydžio kompensacijos jie norėtų, jei prarastų dalį ekologinių išteklių ir

paslaugų. Tai būtų maksimalus aplinkos gėrybių įvertinimas, kai pasiruošimo mokėti už visuomenines gėrybes metodo vertės išraiška yra minimali.

Apklauskos rezultatų efektyvumas labai priklauso nuo respondentų gaunamos informacijos apie ekologines prekes bei paslaugas ir jų galimybes pasirinkti įvairius prioritetus. Kiekvieno individo pasirengimas mokėti arba gauti kompensaciją priklauso nuo daugybės veiksnių: pajamų, socialinio statuso, amžiaus, išsilavinimo, požiūrio į visuomenę ir kt. Apklauskos metu atsiranda vadinamieji „strateginiai nukrypimai“, kuriuos sąlygoja kuris nors dominuojantis įtakos veiksnys. Pavyzdžiui, individai, pripratinti prie tam tikro aplinkos kokybės lygio, instinktyviai priešinasi galimiems (nebūtinai neigiamiems) pokyčiams. Suteikus jiems daugiau informacijos, tokia strateginio nukrypimo forma sumažėja. [18]

Ekologinių išteklių vertinimo, kuriant numanomas rinkas, metodai vadinami hedonistinės kainos metodais. Tai kelionės išlaidų, nekilnojamojo turto kainų, atlyginimų skirtumo ir pavaduojančių rinkos prekių metodai. Hedonistinės kainos metodai remiasi idėja, kad ekologines gėrybes galima įvertinti jas vartojant papildančių gėrybių kainomis. Rinkos paklausa šioms prekėms leidžia spręsti apie paklausą neparduodamoms rinkoje prekėms. Taigi hedonistinės kainos metodo pagrindinė idėja yra ta, kad esama ryšio tarp rinkoje parduodamų prekių kainų ir nerinkinių prekių, įskaitant ekologines gėrybes, teikiamos naudos. Remiantis šia idėja, nustatomas ryšys tarp nuosavybės kainos ir ją sąlygojančių įvairių kintamųjų. Pvz., nekilnojamojo turto – žemės, namų – kainos skiriasi švairiuose ir užterštuose rajonuose, o tai atspindi aplinkos kokybės skirtumų vertę. Tyrimų, atliktų JAV miestuose duomenys rodo, kad, ore padidėjus sulfatų koncentracijai 1%, nuosavybės vertė sumažėjo apie 0,12%, o padidėjus kietųjų dalelių koncentracijai vienu procentu, nuosavybės vertė sumažėjo 0,05 - 0,14%.

4.1. Poveikio įvertinimo metodo pritaikymas matematiniuose modeliuose

Aprašytasis 4 žingsnių poveikio įvertinimo metodas reikalauja vietovės charakteristikos, informacijos apie recipientų pasiskirstymą, meteorologines sąlygas ir teršalų kompoziciją. Visi šie duomenys turi lemiamą įtaką poveikio įvertinimui. Siekiant įdiegti standartizuotas šio metodo pritaikymo procedūras, sukurta keletas modelių, tarp jų *EcoSense*, pasižymintis kompleksišku, bei supaprastinti poveikio įvertinimo metodo pritaikymo modeliai, tokie kaip *Uniform World*.

EcoSense apima suderintus oro kokybės ir poveikio vertinimo modelius. Jis reikalauja daugybės tikslių duomenų. Be to, šis modelis sudarytas tokiu principu, kad leidžia apskaičiuoti ekonominę žalą tik ES šalims, t. y. įvedami tik ES šalims tinkantys apribojimai ir bendri rodikliai. Šiuo metu ruošiamos įvairios *EcoSense* versijos, siekiant šį modelį pritaikyti ir kitoms šalims.

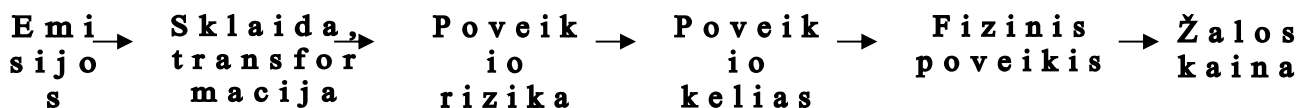
SIMPACTS elektros energijos gamybos išorinių kaštų įvertinimo supaprastintas metodas yra *EcoSense* metodologijos supaprastinimas. Šis modulis leidžia įvertinti taršos įtaką žmogaus sveikatai, žemės ūkiui ir visai supančiai aplinkai.

Nuolatinė tarša turi įtakos žmogaus sveikatai, žemės ūkiui ir visai supančiai aplinkai. Taršos įtakos padarinius galima įvertinti naudojant *SIMPACTS* programą. Taršos poveikis žmogaus sveikatai pasireiškia astmos priepuoliais, kitokiais sveikatos sutrikimais ir netgi mirtimi labiausiai pažeidžiamiesiems individams (pavyzdžiui, ligoti ir seni žmonės). Kalbant apie žemės ūkį, tarša sąlygoja tiek derliaus nuostolius, tiek derliaus kokybės sumažėjimą. Tuo tarpu poveikis pastatams pasireiškia konstrukciniais nuostoliais ir tam tikrų detalių suirimu dėl rūgščių poveikio. Nuostoliai dėl taršos turi būti įskaičiuojami į konkretaus produkto rinkos vertę. Jie vadinami išorinėmis sąnaudomis. *SIMPACTS* programoje naudojama supaprastinta poveikio įvertinimo metodologija, kuri yra aiški, lengvai panaudojama ir reikalauja nedidelio kiekio duomenų. Skaičiuojant taršos įtaką pagal šią metodiką, naudojama supaprastinta aproksimacija, nustatant gyventojų tankumą taršos šaltinio centre ir spindulyje nuo 50 iki 1000 km. Tuo tarpu detalioji aplinkos poveikių analizė reikalauja daug duomenų, išteklių ir laiko. Supaprastinti modeliai suteikia galimybę įvertinti taršos įtaką remiantis minimalia pradine informacija. [19]

4.1.1. Taršos poveikio įvertinimas

Naudojant *SIMPACTS* programą galima įvertinti poveikį žmogaus sveikatai ir su tuo susijusios žalos išlaidas dėl šių teršalų: kietųjų dalelių (PM_{10}), sieros dioksido (SO_2), azoto oksido (NO_x), anglies monoksido (CO) ir antrinių teršalų, tokių kaip nitratai ir sulfato aerosolio. Pirminiai teršalai (PM_{10} , SO_2 , NO_x , CO) išskiriami iš šaltinio buvimo vietoje. Jų poveikis ir žala labai priklauso nuo vietinių, ypač meteorologinių sąlygų (vėjo greičio ir krypties) bei gyventojų, pasėlių ir pastatų tankumo. Tuo tarpu antriniai teršalai susiformuoja atmosferoje dėl pirminių teršalų veikimo ir pasireiškia platesniu mastu.

Neigiamas poveikis žmogaus sveikatai, pasėliams ir konstrukcinėms medžiagoms nustatomas poveikio kelių analizės būdu (ang. IPA – *Impact Pathways Analysis*) (4.2 pav.). Pagal IPA metodą pirmiausia nustatomos fizinės šaltinių savybės ir paruošiama detali į aplinką išmetamų teršalų inventORIZACIJA.



4.2 pav. Poveikio kelių analizės principas

Atskiri atmosferinės sklaidos modeliai yra naudojami norint apskaičiuoti ribinę teršalų koncentracijos padidėjimą. Plačiu mastu (<1000 km nuo šaltinio), pirminių teršalų išsisklaidymui (taršos šaltinio išmetimo vietoje) turi įtakos kaminų parametrai ir meteorologinės sąlygos. Žalos kaina nustatoma dauginant poveikio (pvz. astmos atvejais) daugiklį iš poveikio kainos (pvz. EUR tenkantis astmos priepuoliui). Poveikio sveikatai kaina apima ligos išlaidos, uždarbio ir produktyvumo netekimo išlaidos bei ne rinkos išlaidos, kurios įvertina gyventojų pasiryžimą mokėti, kad būtų pasiekta atitinkama nauda aplinkai. Žala vertinama visiems receptoriams, kuriems turi įtakos aplinkos tarša. Erdvinės analizės ribos driekiasi iki 1000 km nuo klasikinių teršalų bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų.

Žalos kaina D vertinama atsižvelgiant į receptoriaus tankumą $\rho(r)$, ERF $f(r,C(r,Q))$ ir poveikio kainą $U_v(r)$, įvertinant visus taršos paveiktus receptorius:

$$D = \int_{\text{Poveikio_zona}} \rho(r) f(r, C(r, Q)) U_v(r) dr \quad ; \quad (1)$$

čia:

$\rho(r)$ - receptorių paplitimas, žmonių skaičius tenkantis vienam kvadratiniam metrui;

$f(r,C(r,Q))$ - Poveikio Reakcijų Funkcijas, kasmetiniai atvejai tenkantys žmogui dėl mg/m^3 teršalų;

$C(r,Q)$ - teršalų koncentracijos lygio padidėjimas žemės paviršiuje, mg/m^3 ;

Q - cheminių medžiagų išsiskyrimo greitis, mg/s ;

r - šaltinio pavėjinė kryptis, m.[20]

4.1.2. Poveikio įvertinimai *SIMPACTS* programoje

Poveikio aplinkai įvertinimas

Poveikio aplinkai įvertinimas, pasitelkus funkciją (1). Supaprastinus funkciją, priimant, kad vienas ar daugiau parametrų yra pastovūs poveikio zonoje, gauname lygtį, pritaikyt:

$$I = (\rho \cdot f_{ER} \cdot Q) / k; \quad (2)$$

čia:

Q - teršalų emisijos apimtys;

f_{ER} - ryšio funkcija taikoma atitinkamoms gyventojų rizikos grupėms;

ρ - vienodas recipientų tankis poveikio zonoje (1500 km spinduliu);

k - teršalų sklaidos greitis, įvertinantis teršalų pašalinimą iš atmosferos.

Siekiant pagrįsti pateiktuosius supaprastinimus, daromos šios prielaidos:

- Rizikos grupės recipientai yra vienodai pasiskirstę aplink taršos šaltinį. Tai rodo, kad rezultatai priklauso nuo vietovės;

- Atmosferos dispersijos parametrai laikomi pastoviais visoje poveikio zonoje. Todėl dispersijos kintamieji geografiškai nepriklauso nuo taršos šaltinio ir recipientų išsidėstymo teritorijoje;
- Visi teršalai yra atmosferoje gerai išsimaišę, todėl taršos šaltinio parametrai neturi įtakos dispersijai;
- Paviršinio pašalinimo iš atmosferos srautas (teršalų, pašalintų iš horizontalios atmosferos srities vieneto) yra proporcingas teršalų koncentracijai vietinėje poveikio zonoje;
- Ryšio tarp teršalų koncentracijos padidėjimo ir poveikio recipientams funkcija yra tiesinė ir turi nulinę reikšmę, kai koncentracijos padidėjimas lygus nuliui. Tai rodo, kad ryšio funkcija yra linijinė be slenksčio, t. y. kad bet koks foninės teršalų koncentracijos atmosferoje pasikeitimas turi teigiamą įtaką paveiktam recipientui. Poveikio recipientams dydis priklauso tik nuo ryšio funkcijos pasvirimo kampo, kuris nepriklauso nuo foninės koncentracijos absoliutaus dydžio;
- Atskiro teršalo emisijos arba susidarymo apimtys yra identiškos jo pašalinimo iš atmosferos tempams (cheminė transformacija + sausas ar drėgnas nusėdėjimas). Kitaip tariant, teršalų koncentracijos atmosferoje yra pastovios.

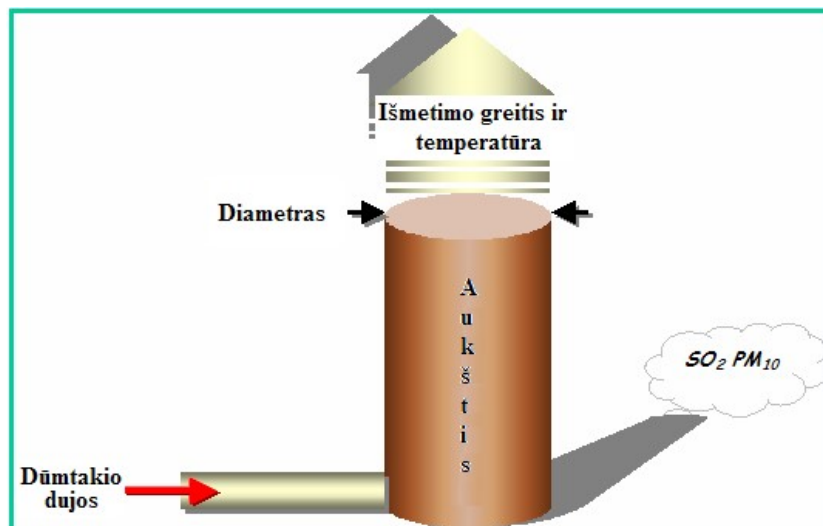
Poveikio aplinkai įvertinimas turi du svarbius apribojimus dėl savo prielaidų, kad poveikis recipientams nepriklauso nuo gyventojų tankumo vietinėje poveikio zonoje bei nuo taršos šaltinio parametrų, tokių kaip kamino aukštis. Šie apribojimai gali sąlygoti žymius rezultatų iškraipymus, kaip, pavyzdžiui, nagrinėjant taršos šaltinius, turinčius žemus kaminus ir išleidžiančius į aplinką mažus SO₂ kiekius, kurie kaip tik sąlygoja didžiausią poveikį recipientams regioninės įtakos zonoje (didesniu nei 1000 km spinduliu nuo taršos šaltinio).

Pirminių teršalų poveikio įvertinimas

Pirminių teršalų poveikio įvertinimo rezultatai labai priklauso nuo atmosferos parametrų, recipientų pasiskirstymo vietinėje poveikio zonoje bei kamino parametrų. Todėl, siekiant pagerinti poveikio aplinkai įvertinimo apskaičiavimo rezultatus, taikomas pirminių teršalų poveikio įvertinimas, kuriame vietinė (p_L) ir regioninė (p_R) poveikio zonos traktuojamos atskirai, tačiau recipientų pasiskirstymas laikomas vienodu.

PTPI leidžia įvertinti fizinį poveikį žmogaus sveikatai ir taršos žalos kainą, dėl pirminių ir antrinių teršalų. Priešingai nei pirminių teršalų poveikio įvertinime naudojamos kitokios supaprastintos prielaidos, siekiant išspręsti analitiškai žalos funkcijos lygtį. Daroma prielaida, kad vietinė ir regioninė populiacija yra tolygiai pasiskirsčiusi atitinkamoje poveikio srityje. Vietiniai meteorologiniai duomenys apibrėžia vidutines ar tipines sąlygas.

Pirmasis šio PTPĮ#1 įvertis pakoreguoja pirmąjį PAĮ apribojimą, susijusį su taršos šaltinio kamino aukščiu. Apskaičiuojant šį įvertį, daroma prielaida, kad taršos šaltinio kamino aukštis svyruoja nuo 100 iki 125 m. Tačiau daugelis taršos šaltinių turi visai kitokio aukščio kaminus, pavyzdžiui, dujas kūrenančios jėgainės gali turėti 35 m aukščio kaminus, o anglį kūrenančios jėgainės net 200 m aukščio kaminus. Taigi PTPĮ teiktų klaidingus žalos įverčius.



4.3 pav. Šaltinio savybės

Antrasis įvertis - PTPĮ#2 pataiso pirmojo įverčio apribojimus, leisdamas įvertinti tikrą taršos šaltinio kamino aukštį. Būtina pažymėti, kad PTPĮ#2 vis dar neįvertina tikro poveikio, nes įvertinimas remiasi prielaida, jog ir atmosferos būklė, ir gyventojų tankumas vietinio bei regioninio poveikio zonose yra pasiskirstęs tolygiai. Nepaisant šių apribojimų nustatyta, kad šio įverčio žalos įvertinimo reikšmių tikslumas svyruoja apie 2 kartus.

Taigi supaprastintą (1) formulės išraišką galima užrašyti kaip (3) formulę:

$$UWM = \frac{Qx f_{ER} x \rho}{k} ; \quad (3)$$

čia:

Q - teršalų emisijos dydis;

ρ - tolygus recipientų tankis poveikio zonoje (1500 km spinduliu nuo šaltinio);

f_{ER} - ryšio funkcija, taikoma gyventojų rizikos grupėms (vaikams, vyresniems nei 3 metų ir kt.);

k - teršalų sklaidos greitis, įvertinantis teršalų pašalinimo iš atmosferos tempus.

Tipinės k reikšmės Europai yra šios:

PM_{10} – 0,67 cm/s;

SO_2 – 0,73 cm/s;

NO_x – 1,47 cm/s;

Sulfatams – 1,73 cm/s;

Nitratams – 0,71 cm/s.

Fizinis poveikis žmogui

Fizinis poveikis žmogui įvertinimas per sveikatą ir taršos žalos kainą, dėl pirminių (kietųjų dalelių SO₂, NO_x, CO) ir antrinių (nitratai ir sulfatai, aerosoliai) teršalų. Poveikio įvertinimui naudojama taršos poveikio kelių (IPA) metodologija, įvertinant egzistuojančių IPA stadijų rezultatus.

Įvertinamas taršos fizinis poveikis žmogaus sveikatai ir žalos kaina dėl teršalų iš šaltinių, esančių šalia miesto. Gali būti apskaičiuojama tarša dėl pirminių ir antrinių teršalų. Vietinio masto meteorologiniai duomenys atitinka vidutines sąlygas. Vietiniai populiacijos duomenys gali būti nustatyti naudojant faktines reikšmes (5x5 km²) arba gali būti apskaičiuoti naudojant *Gauso* funkciją.

5. BIOKURO IR GAMTINIŲ DUJŲ JĖGAINIŲ IŠORINIŲ KAŠTŲ ĮVERTINIMAS

5.1. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių išorinių kaštų techninės charakteristikos ir kiti duomenys

Energijos gamybos išorinių kaštų dydžiui ženkliai įtaką daro deginama kuro rūšis, todėl kaštų vertinimas atliekamas pagal dvi jėgaines, deginančias biokurą ir gamtines dujas. Energijos gamybos išorinių kaštų vertinimas atliktas taikant SIMPACTS modelį, atliktas biokuro ir gamtinių dujų jėgainėms, kurių techniniai duomenys pateikti 5.1 lentelėje. Šių jėgainių pavyzdžiu atliktas ne tik esamos padėties išorinių kaštų įvertinimas, bet ir jautrumo analizė, atsižvelgiant į svarbiausius išorinius kaštus įtakojančius parametrus.

5.1 lentelė. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių techninės charakteristikos

Biokuro jėgainės duomenys			
	I variantas (esama padėtis)	II variantas (didinamas kamino aukštis, skersmuo ir dūmų greitis)	III variantas (neįdiegus dūmų kondensacinio ekonomizerio 2,5 MWš)
Bendra galia, MW	20 MWš	20 MWš	17,5 MWš
Statybos metai	2017	2017	2017
Kuras	biokuras	biokuras	biokuras
Altitudė	32 m	32 m	32 m
Kamino aukštis	45	100	45
Kamino skersmuo (m)	1,2	3	1,2
Dūmų sklidimo iš kamino greitis (m/s)	12	10	17
Dūmų temperatūra (K)	350	350	450
Gamtinių dujų jėgainės duomenys			
	I variantas (esama padėtis)	II variantas (didinimas kamino aukštis, skersmuo ir dūmų greitis)	III variantas (neįdiegus dūmų ekonomizerio 1,5 MWš)
Bendra galia, MW	15 MWš	15 MWš	13,5 MWš
Statybos metai	2015	2015	2015
Kuras	dujos	dujos	dujos
Altitudė	32 m	32 m	32 m
Kamino aukštis	30	100	30
Kamino skersmuo	1,1	3	1,1
Dūmų sklidimo	15	10	17

iš kamino greitis (m/s)			
Dūmų temperatūra (K)	350	350	424

Energijos gamyboje, deginant organinį kurą ir biokurą atsiranda šalutinis produktas – oro teršalų emisijos, kurios patenka į atmosferą. 2017 m. oro teršalų emisijų duomenys, pateikti 5.2 lentelėje.

5.2 lentelė. Biokuro ir gamtinių dujų jėgainių teršalų emisijos 2017 m.

Teršalas	Biokuro jėgainė	Gamtinių dujų jėgainė
Kietosios dalelės (PM ₁₀)	0.72	0
Azoto oksidai (NO _x)	9,594	12.852

Biokuro ir dujinės jėgainių geografinės koordinatės: ilguma – 24.0031 laipsniai, platuma – 54.8999 laipsniai, 68 m virš jūros lygio.

Biokuro ir dujinės jėgainių geografinė padėtis bei sritis apibrėžiama 5 km. spinduliu nuo taršos šaltinio, kuri pavaizduota 5.1 pav. Į 5 km. spindulio sritį papuola penki Kauno gyvenamieji rajonai (Dainava, Žaliakalnis, Eiguliai, Petrašiūnai, Šančiai), kurių tankumas sudaro 1584 žm./km². Atsižvelgiant į gyventojų tankumo rodiklį, jėgainių lokacijos vieta priskiriama miesto tipui.



5.1 pav. Biokuro ir dujinės jėgainių geografinė padėtis ir vietinė sritis

Išorinių kaštų dydžiui įtakos turi ir meteorologiniai duomenys. Modeliavimas atliktas remiantis meteorologiniais duomenimis pateiktais 5.3 lentelėje.

5.3 lentelė. Meteorologiniai duomenys

Anemometro aukštis (m)	68
Oro temperatūra (K)	279,2
Vėjo greitis (m/s)	29

5.2. Biokuro ir dujinės jėgainių išorinių kaštų įvertinimas ir jautrumo analizė

Biokuro ir dujinės jėgainių energijos gamybos išoriniai kaštai dėl poveikio žmogaus sveikatai įvertinti naudojant *SIMPACTS* modelį ir remiantis 5.1 skyriuje pateiktais duomenimis.

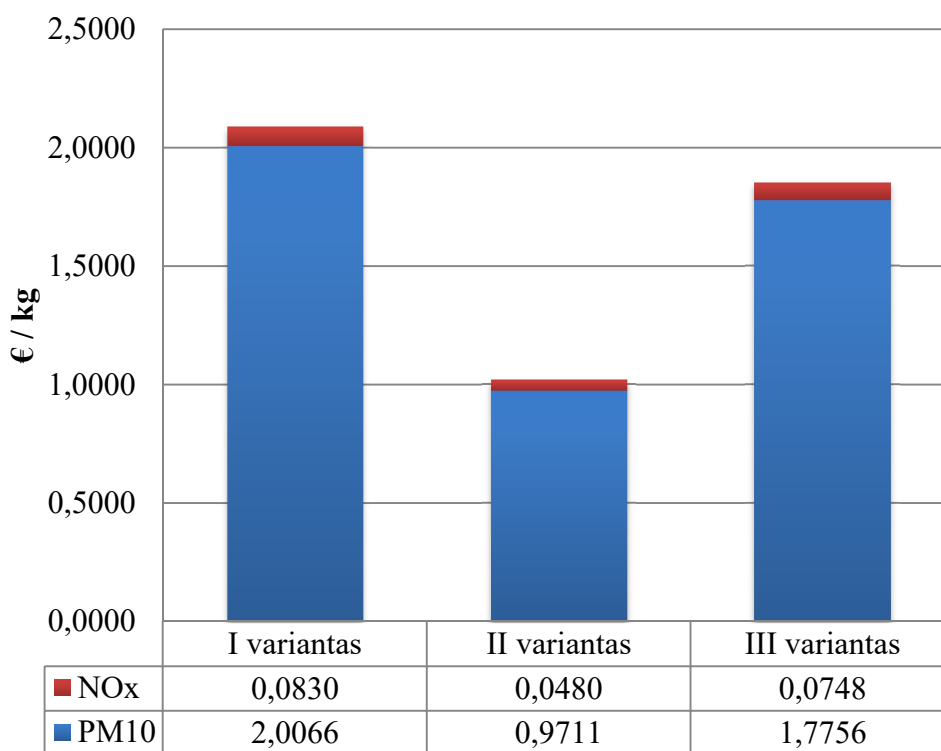
Poveikis žmonių sveikatai (atvejai/metus) ir bendrų išorinių kaštų (bendroji žalos kaina) įvertinimas pateiktas žemiau esančiose lentelėse.

5.4 Lentelė. Biokuro jėgainės poveikis žmonių sveikatai ir žalos kaina.

Teršalas	Poveikio tipas, būdas	I variantas		II variantas		III variantas	
		Poveikis sveikatai	Žalos kaina	Poveikis sveikatai	Žalos kaina	Poveikis sveikatai	Žalos kaina
		[atvejai/metai]	[€/metus]	[atvejai/metai]	[€/metus]	[atvejai/metai]	[€/metus]
PM10	Lėtinės mirtys – visas gyventojų skaičius	0,170	7914,37	0,082	3830,12	0,151	7003,27
PM10	Kūdikių mirtingumas – vaikai iki 12 metų amžiaus	7,655E-05	71,23	3,705E-05	34,47	6,774E-05	63,03
PM10	Mirtys nuo ūminių ligų – visas gyventojų skaičius	1,225E-03	85,47	5,928E-04	41,36	1,084E-03	75,63
PM10	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys suaugę asmenys, 20+	1,340	1,35	0,648	0,65	1,185	1,20
PM10	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys vaikai, 5-14	0,156	0,16	0,075	0,08	0,138	0,14
PM10	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – suaugę su chroniniais kvėpavimo takų simptomais	13,080	464,33	6,330	224,71	11,574	410,88
PM10	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – vaikai su chroniniais kvėpavimo takų simptomais, 5-14	8,748	310,55	4,234	150,29	7,741	274,80
PM10	Riboto aktyvumo dienos – dirbantys suaugę asmenys, 15-64	10,053	1213,28	4,865	587,16	8,896	1073,61
PM10	Riboto aktyvumo dienos – nedirbantys suaugę asmenys, 15-64	1,139	48,51	0,551	23,48	1,008	42,93
PM10	Kardiologijos skyriaus paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,002	3,35	8,644E-04	1,62	0,002	2,96

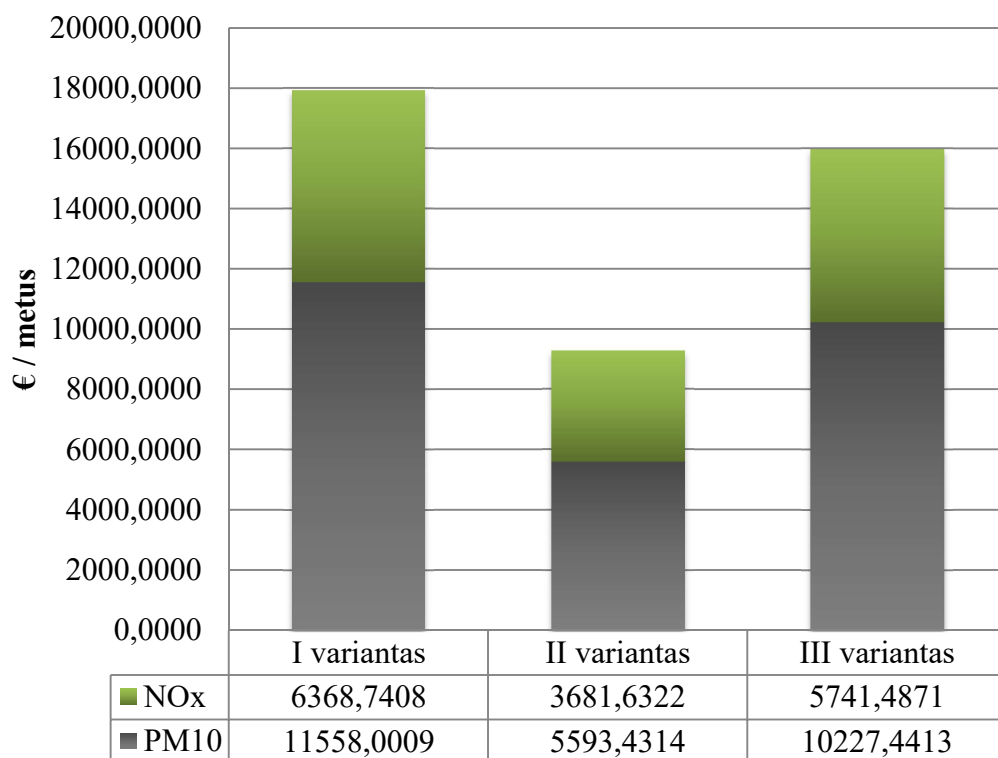
PM10	Kvėpavimo sistemos paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,003	5,44	0,001	2,63	0,003	4,81
PM10	Lėtinis bronchitas – suaugę asmenys, 27+	0,008	1439,96	0,004	696,86	0,007	1274,19
PM10 žalos kaina:			11558,00		5593,43		10227,44
NOx	Lėtinės mirtys – visas gyventojų skaičius	0,094	4369,65	0,054	2526,00	0,085	3939,28
NOx	Kūdikių mirtingumas – vaikai iki 12 metų amžiaus	4,227E-05	39,33	2,443E-05	22,73	3,810E-05	35,45
NOx	Mirtys nuo ūminių ligų – visas gyventojų skaičius	6,763E-04	47,19	3,909E-04	27,28	6,096E-04	42,54
NOx	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys suaugę asmenys, 20+	0,740	0,75	0,428	0,43	0,667	0,67
NOx	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys vaikai, 5-14	0,084	0,08	0,049	0,05	0,076	0,08
NOx	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – suaugę su chroniniais kvėpavimo takų simptomais	7,101	252,09	4,105	145,73	6,402	227,26
NOx	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – vaikai su chroniniais kvėpavimo takų simptomais, 5-14	4,830	171,46	2,792	99,12	4,354	154,57
NOx	Riboto aktyvumo dienos – dirbantys suaugę asmenys, 15-64	5,359	646,77	3,098	373,89	4,831	583,07
NOx	Riboto aktyvumo dienos – nedirbantys suaugę asmenys, 15-64	0,607	25,86	0,351	14,95	0,547	23,31
NOx	Kardiologijos skyriaus paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,001	1,85	5,701E-04	1,07	0,001	1,67
NOx	Kvėpavimo sistemos paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,002	18,68	0,001	10,80	0,001	16,84
NOx	Lėtinis bronchitas – suaugę asmenys, 27+	0,004	795,02	0,002	459,59	0,004	716,72
NOx žalos kaina:			6368,74		3681,63		5741,49
PM10 ir NOx žalos kaina:			17926,74		9275,06		15968,93

Sklaida ir koncentracija matuojama 1,5 metro lygyje. Kaip matyti iš gautų rezultatų žalos kaina dėl PM₁₀ ir NO_x teršalų kiekvienu variantu skiriasi. Padidinus kamino aukštį 2,2 karto, t.y. nuo 45 iki 100 m bei skersmenį 2,5 karto, t.y. nuo 1,2 iki 3 m, energijos gamybos kaštai biokuro jėgainėje dėl NO_x ir PM₁₀ teršalų sumažėja 51,2% (5.2 pav.). Tačiau vertinant ilguoju laikotarpiu, padidinto kamino aukščio kaina išaugina išauga net 3 kartus, todėl ekonomiškai efektyvesnis būtų I variantas, kuomet kamino aukštis – 45 m. III variante yra pateiktas išorinių kaštų vertinimas kuomet nėra diegiamas dūmų kondensacinis ekonomizeris, dėl ko padidėja išmetamųjų dūmų greitis ir temperatūra, nekeičiant kamino aukščio, tačiau tai nežymiai sumažina išmetimus, o ir jėgainės šilumos galia sumažinama, mažėja jėgainės efektyvumas. Neįdiegus dūmų kondensacinio ekonomizerio, išorinių kaštų dydis sumažėja – 11,4%.



5.2 pav. Biokuro jėgainės žalos kaina tenkanti 1 kg NO_x ir PM₁₀ teršalų

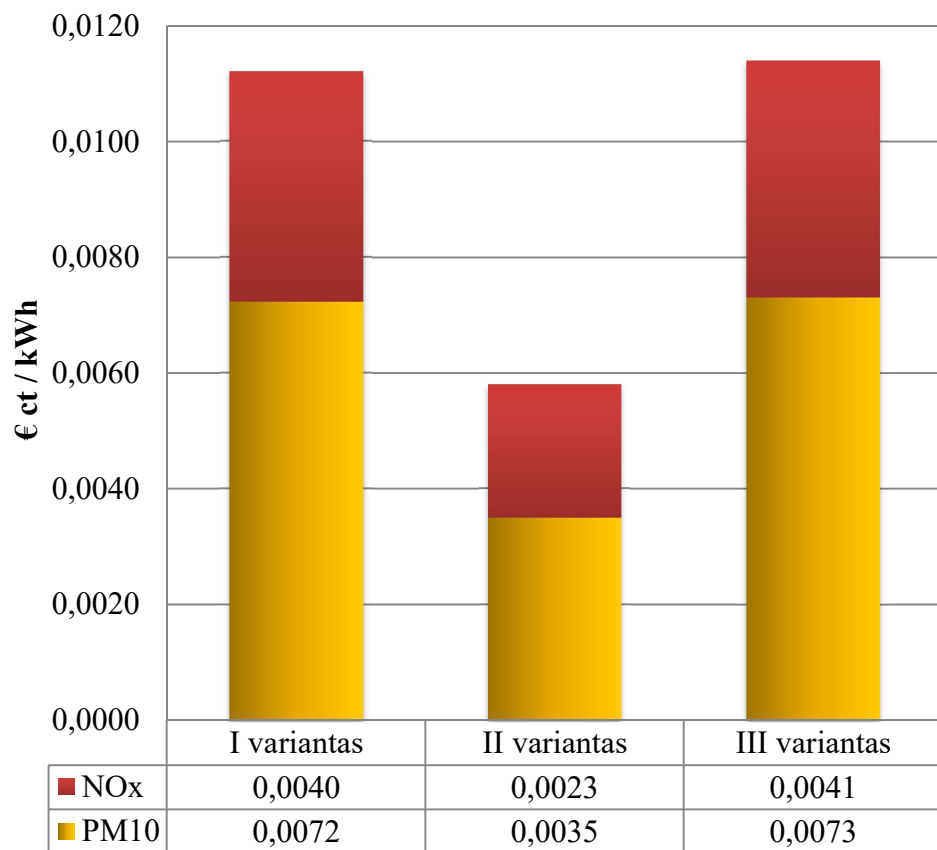
Didžiausią žalą žmonių sveikatai daro kietųjų dalelių išmetimai, kurie susidaro deginant biokurą. Kietųjų dalelių susidarymą degimo metu nulemia nepilnai sudegusi kuro dalis, kuri susidaro iš organinės kuro dalies nesudegusių angliavandenilių, kokso dalelių, kitų anglies darinių tokių kaip suodžiai. Jų mažinimui statomi filtrai, tačiau jie didina benrus jėgainės įrengimo kaštus. Žvelgiant į ateitį NO_x ir PM₁₀ teršalų koncentracijos išmetimų ribos bus toliau mažinamos, todėl turės atsirasti naujų technologijų, kurios neišvengiamai privalės atpiginti filtrus, kad būtų ekonomiškai naudinga juos įrengti jėgainėse.



5.3 pav. Biokuro jėgainės žalos kaina € per metus dėl NOx ir PM10 teršalų

5.3. paveiksle pateiktas žalos kainos per metus įvertinimas, kurios didžiąją dalį sudaro žala dėl kietųjų dalelių susidarantių veikiančioje jėgainėje. Esamos biokuro jėgainės atveju žalos kaina sudaro 17926,74 €/metus, padidinus kamino aukštį bei skersmenį žalos kaina sumažėja 48,3%, o neįdiegus ekonomizerio – 10,9%.

Žalos kaina tenkanti 1 kWh, kuomet biokuro jėgainės eksploatacijos laikas 8000 h, pateikta 5.4 paveiksle. Kaip matyti, trečiojo varianto žalos kaina tenkanti 1 kWh yra didžiausia. Tai lemia mažesnis jėgainės galingumas, bet neženkliai pakitę teršalų išmetimai. Dūmų kondensacinis ekonomizeris prisideda prie oro taršos mažinimo, kuomet purkštukų pagalba papildomai sugaunamos kietosios dalelės. Matyti, kad neįdiegus ekonomizerio bei sumažinus jėgainės galingumą žalos kaina tenkanti 1 kWh padidėja iki 0,0114 € ct/kWh.



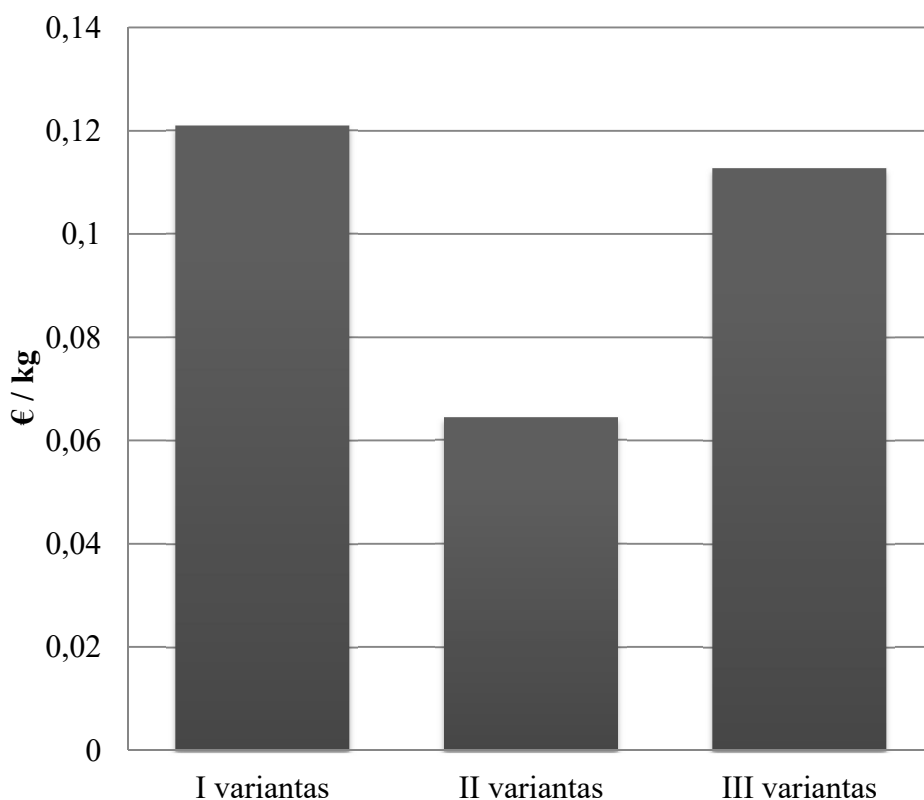
5.4 pav. Žalos kaina € ct / kWh, kuomet biokuro jėgainė veikia 8000 h per metus ir sugeneruoja 120 GWh energijos

5.5 Lentelė. Gamtinių dujų jėgainės poveikis žmonių sveikatai ir žalos kaina

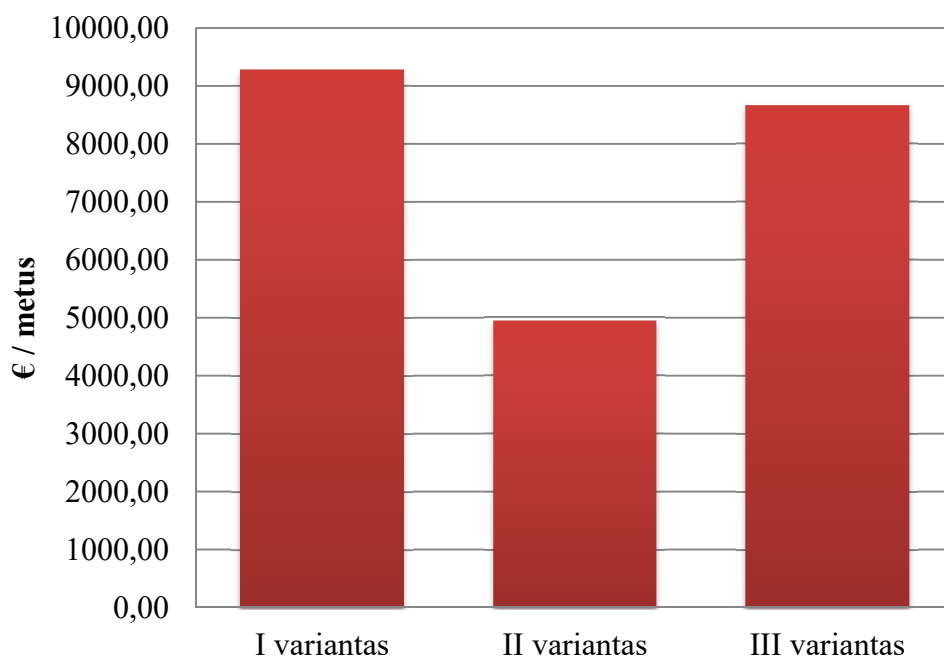
Teršalas	Poveikio tipas, būdas	I variantas		II variantas		III variantas	
		Poveikis sveikatai	Žalos kaina	Poveikis sveikatai	Žalos kaina	Poveikis sveikatai	Žalos kaina
		[atvejai/metai]	[€/metus]	[atvejai/metai]	[€/metus]	[atvejai/metai]	[€/metus]
NOx	Lėtinės mirtys – visas gyventojų skaičius	0,137	6370,93	0,073	3391,40	0,128	5939,45
NOx	Kūdikių mirtingumas – vaikai iki 12 metų amžiaus	6,162E-05	57,34	3,280E-05	30,52	5,745E-05	53,45
NOx	Mirtys nuo ūminių ligų – visas gyventojų skaičius	9,860E-04	68,81	5,249E-04	36,63	9,192E-04	64,15
NOx	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys suaugę asmenys, 20+	1,078	1,09	0,574	0,58	1,005	1,02
NOx	Bronchodilatatoriaus naudojimas – astma sergantys vaikai, 5-14	0,123	0,12	0,065	0,07	0,114	0,12
NOx	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – suaugę su chroniniais kvėpavimo takų simptomais	10,354	367,55	5,512	195,66	9,653	342,66
NOx	Apatinių kvėpavimo takų simptomas – vaikai su chroniniais kvėpavimo takų simptomais, 5-14	7,042	249,99	3,749	133,07	6,565	233,06
NOx	Riboto aktyvumo dienos – dirbantys suaugę asmenys, 15-64	7,813	942,99	4,159	501,98	7,284	879,13
NOx	Riboto aktyvumo dienos – nedirbantys suaugę asmenys, 15-64	0,885	37,70	0,471	20,07	0,825	35,15
NOx	Kardiologijos skyriaus paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,001	2,69	7,654E-04	1,43	0,001	2,51
NOx	Kvėpavimo sistemos paslaugų suteikimas žmonėms – visas gyventojų skaičius	0,002	27,24	0,001	14,50	0,002	25,40
NOx	Lėtinis bronchitas – suaugę asmenys, 27+	0,006	1159,14	0,003	617,04	0,006	1080,64
NOx žalos kaina:			9285,59		4942,95		8656,71

Gamtinių dujų jėgainė neišmeta kietųjų dalelių (PM10), kuris labai kenkia žmonių sveikatai, todėl tai vienas iš dujinių jėgainių privalumų, tačiau jos išskiria azoto oksidus. Esant saulės šviesai NOx reaguoja su kitais aktyviais atmosferos komponentais, dažniausiai anglivandeniliais ir sudėtingų reakcijų metu sudaro fotocheminius oksidantus (tame tarpe ir ozoną). Šie itin nestabilūs junginiai žaloja augalus ir erzina žmogaus kvėpavimo bei regėjimo organus. Patekęs į kraują per plaučius, sudaro metaglobiną, kuris, panašiai kaip anglies monoksidas, trukdo deguonies transportavimui kraujyje. Sveikatos pablogėjimas atsiranda esant koncentracijai ore nuo 140 mg/m³.

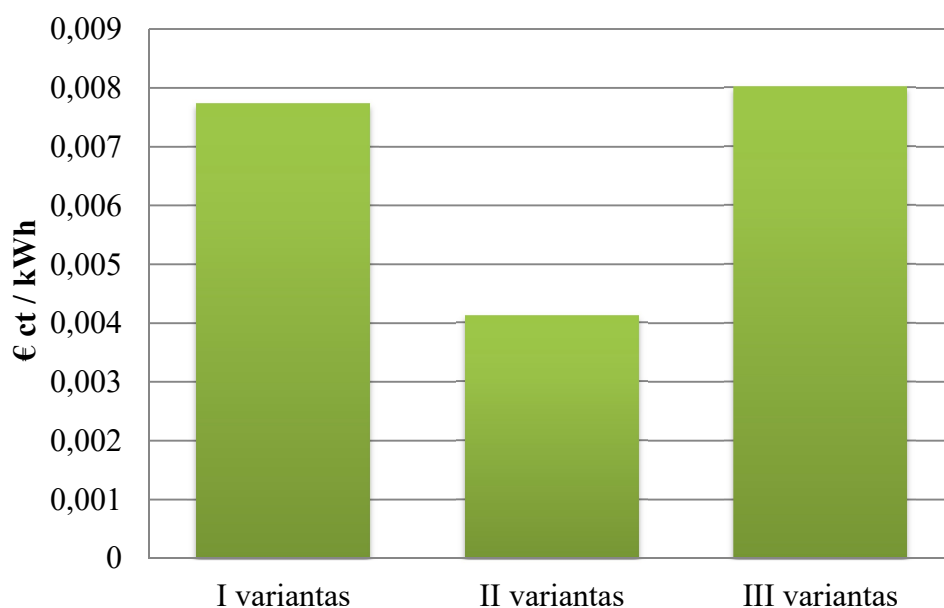
Sklaida ir koncentracija matuojama analogiškai 1,5 metro lygyje. Kaip matyti iš gautų rezultatų žalos kaina dėl NOx teršalų kiekvienu variantu taip pat skiriasi. Padidinus kamino aukštį 3,3 karto, t.y. nuo 30 m iki 100 m bei skersmenį 2,7 karto, t. y. 1,1 m iki 3 m energijos gamybos kaštai dujinėje jėgainėje dėl NOx teršalų sumažėja 46,8% (5.5 pav.). Tačiau vertinant ilguoju laikotarpiu, padidinto kamino aukščio kaina išaugina išaugą net 3,3 kartus, todėl ekonomiškai efektyvesnis būtų I variantas, kuomet kamino aukštis – 30 m. III variante yra pateiktas išorinių kaštų vertinimas kuomet nėra diegiamas dūmų ekonomizaizeris, dėl ko padidėja išmetamų dūmų greitis ir temperatūra, nekeičiant kamino aukščio, tačiau tai nežymiai sumažina išmetimus, o ir jėgainės šilumos galia sumažinama, mažėja jėgainės efektyvumas. Neįdiegus dūmų ekonomizaizerio išorinių kaštų dydis sumažėja – 6,8%.



5.5 pav. Gamtinių dujų jėgainės žalos kaina tenkanti 1 kg NOx teršalų



5.6 pav. Gamtinių dujų jėgainės žalos kaina € per metus dėl NOx teršalų .

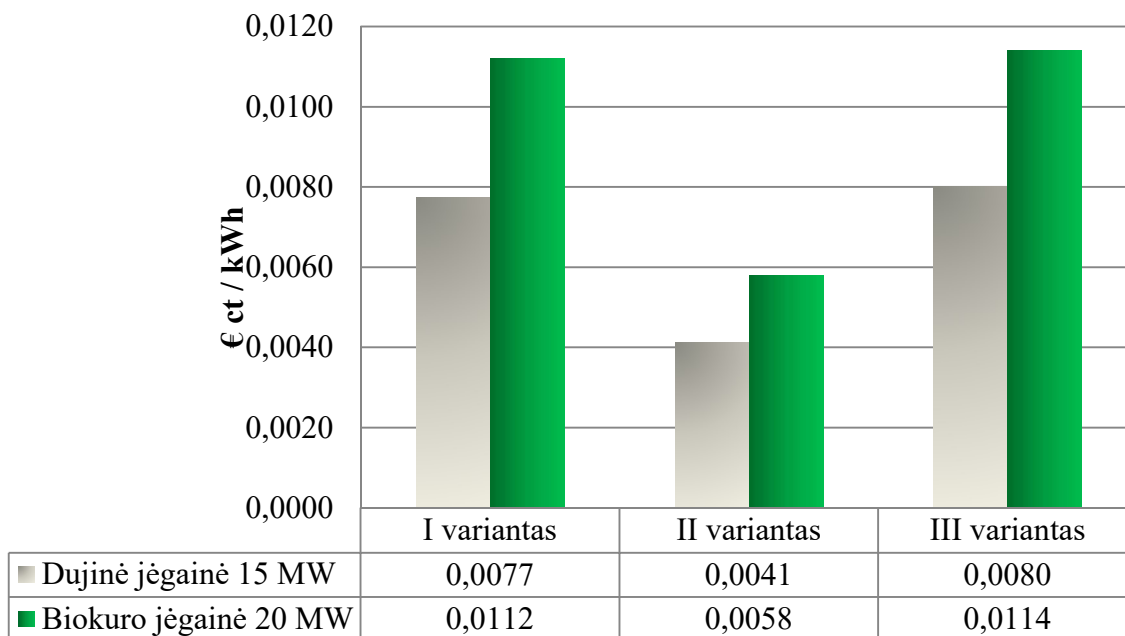


5.7 pav. Žalos kaina € ct / kWh, kuomet gamtinių dujų jėgainė veikia 8000 h per metus ir sugeneruoja 120 GWh energijos.

5.6. paveiksle pateiktas žalos kainos per metus įvertinimas, kuriame didžiąją dalį sudaro žala dėl NOx susidarymo veikiančioje jėgainėje. Esamos dujų jėgainės atveju žalos kaina sudaro 9285,59 €/metus, padidinus kamino aukštį bei skersmenį žalos kaina sumažėja 46,8%, o neįdiegus ekonomizerio – 6,8%.

Žalos kaina tenkanti 1 kWh, kuomet biokuro jėgainės eksploatacijos laikas 8000 h, pateikta 5.7 paveiksle. Kaip matyti, trečiojo varianto žalos kaina tenkanti 1 kWh yra didžiausia, tai lemia

mažesnis jėgainės galingumas, bet neženkliai pakitę teršalų išmetimai. Dūmų ekonomazeris prisideda prie oro taršos mažinimo. Matyti, kad neįdiegus ekonomazerio bei sumažinus jėgainės galingumą žalos kaina tenkanti 1 kWh padidėja iki 0,008 € ct/kWh.



5.8 pav. Gamtinių dujų ir biokuro jėgainių žalos kainos € ct / kWh palyginimas, kuomet jėgainės veikia 8000 h

Kaip matyti iš 5.8 paveikslo ir 5.6 lentelės, biokuro jėgainės išmetimų žalos kaina yra vidutiniškai didesnė 30% lyginant su gamtinių dujų jėgaine.

5.6 Lentelė. Gamtinių dujų ir biokuro jėgainių žalos kainos € ct / kWh procentinis palyginimas.

	Dujinė jėgainė 15 MWš	Biokuro jėgainė 20 MWš	Procentinis skirtumas
I variantas	0,008	0,011	30,94%
II variantas	0,004	0,006	28,94%
III variantas	0,008	0,011	29,73%

Didesnę žalos kainą iš esmės lemia kietųjų dalelių išmetimai, todėl gamtinių dujų jėgainių eksploatacija sąlygoja mažesnius išorinius kaštus ir mažesnę poveikį žmonių sveikatai. Jėgainių statybos kaštai taip pat skiriasi, biokuro jėgainę pastatyti yra brangiau ir jos gabaritas didesnis, tačiau ekonominę efektyvumą užtikrina kuro kaina, išteklių prieinamumas ir šaltinis, todėl šiuo metu biokuras Lietuvoje yra plačiai paplitęs. Gamtinės dujos priskiriamos prie neatsinaujančių energijos išteklių bei prie CO₂ teršėjų, o biokuro naudojimas yra skaitomas kaip atsinaujantis. Todėl atliekant detalų išorinių kaštų vertinimą reikėtų atsižvelgti ne tik į poveikį žmonių sveikatai, bet ir į poveikį klimato kaitai.

IŠVADOS

1. Vienas svarbiausių darnios energetikos plėtros aspektų yra energijos gamybos bei vartojimo efektyvumo didinimas, atsinaujinančių energijos išteklių skatinimas ir tinklų patikimumas, integruojant elektros sistemą į Europos tinklus. Atlikus darnios plėtros rodiklių analizę nustatyta, kad energijos intensyvumo pokyčius, vertinant energijos vartojimo efektyvumo ir energetinio saugumo požiūriu, reikia laikyti reikšmingais. Tiek pirminės, tiek galutinės energijos sąnaudos, tenkančios vienam šalyje sukurto BVP vienetui Lietuvoje, nuosekliai artėja prie vidutinių ES šalių rodiklių.
2. Išanalizavus organinį kurą deginančių jėgainių poveikį aplinkai buvo nustatyti kiekybiniai ir kokybiniai žalingi antropogeninės kilmės procesai gamtoje. Energijos gamybos metu, sudegęs organinis kuras į aplinką išskiria didelę oro teršalų, kurių pagrindiniai jų yra SO₂, NO_x, CO ir kietosios dalelės, sudarantys apie 90% visų teršalų, emisiją.
3. Išanalizavus energijos gamybos išorinių kaštų įvertinimo metodiką buvo nustatyta, kad pasaulyje kol kas nėra bendros, visuotinai priimtose išorinių sąnaudų vertinimo metodikos. Per pastaruosius 25 metus buvo pasiūlyta nemaža skirtingų metodikų išoriniams aplinkos efektams vertinti. Šiame darbe pasirinktas *SIMPACTS* energijos gamybos išorinių kaštų įvertinimo metodas, kuris remiasi vadinamuoju poveikio įvertinimo metodu.
4. Įvertinus biokurą ir gamtines dujas deginančių jėgainių išorinius kaštus, taikant *SIMPACTS* modelį, nustatyta, kad biokuro jėgainės taršos dėl PM₁₀ ir NO_x bendra žalos kaina yra apie 18 tūkst. €/metus, o dujų jėgainės – apie 9 tūkst. €/metus.
5. Atlikus išorinių kaštų jautrumo analizę nustatyta, kad padidinus kamino aukštį bei skersmenį biokuro jėgainės žalos kaina sumažėja 48,3%, o neįdiegus ekonomazerio – 10,9%. Analogiškai dujų jėgainės, padidinus kamino aukštį bei skersmenį žalos kaina sumažėja 46,8%, o neįdiegus ekonomazerio – 6,8%. Pašalinant dūmų kondensacinį ekonomazerį sumažėja oro teršalų išmetimų keikis, tačiau tuo pačiu sumažėja ir jėgainės efektyvumas, todėl efektyvesnis būdas mažinti NO_x ir PM₁₀ koncentraciją yra filtrų diegimas bei kamino aukščio didinimas. Tačiau šios priemonės yra brangios, todėl prailgėja jėgainės atsipirkimo laikotarpis. Nustatyta, kad biokuro jėgainės išmetimų žalos kaina yra vidutiniškai didesnė 30% lyginant su gamtinių dujų jėgaine, t.y. biokuro jėgainės – 0,0112 €/kWh, o gamtinių dujų – 0,0077 €/kWh. Didesnę žalos kainą iš esmės lemia kietųjų dalelių išmetimai, todėl gamtinių dujų jėgainių eksploatacija sąlygoja mažesnius išorinius kaštus ir mažesnę poveikį žmonių sveikatai.

LITERATŪRA

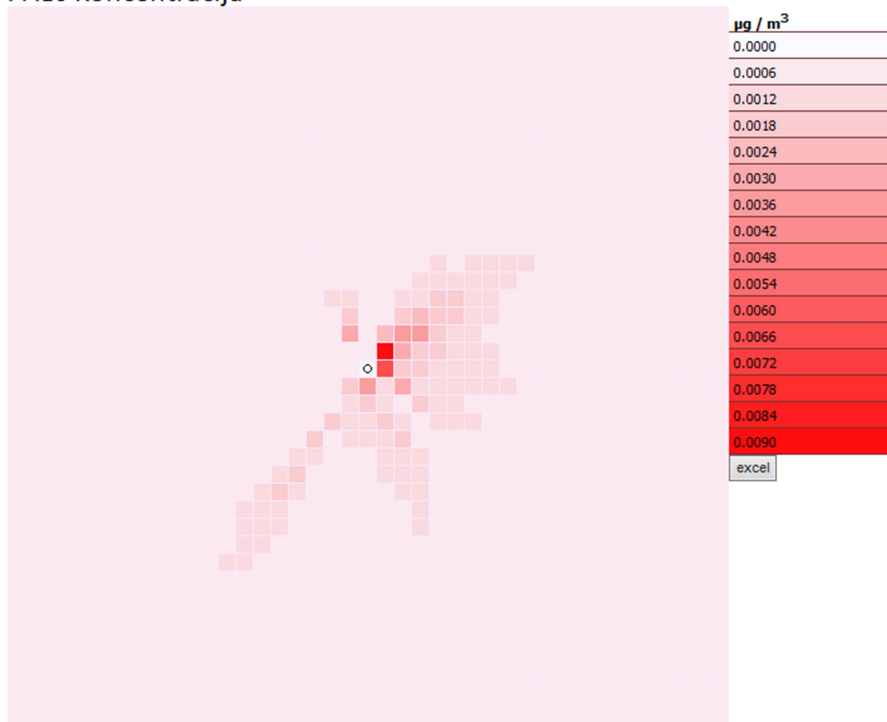
1. Nacionalinė 2014-2020 strategijos pristatymas – lietuvis energija [žiūrėta 2018 m. gruodžio 01 d.]. Prieiga per internetą:
https://gamyba.le.lt/sites/default/files/media/dynamic/files/480/nacionalineenergetinesnepriklausomybesstrategija_lt.pdf
2. 2030 m. klimato ir energetikos politikos strategija [žiūrėta 2018 m. gruodžio 01 d.]. Prieiga per internetą:
http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/2016/NES/NES_projektas_%28Versija_viesoms_diskusijoms%29-2015.12.16.pdf
3. Bendrieji energetikos plėtros darnumo rodikliai [žiūrėta 2018 m. gruodžio 01 d.]. Prieiga per internetą:
http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222_web.pdf
4. Lietuvos energetikos plėtros prioritetai ir subalansuotumo rodikliai. [žiūrėta 2018 m. gruodžio 01 d.]. Prieiga per internetą:
https://www.researchgate.net/publication/267963437_Lietuvos_energetikos_plėtros_prioritetai_ir_subalansuotumo_rodikliai
5. E. Norvaiša; A. Galinis. Išorinių energijos gamybos kaštų įtaka Lietuvos energetikos sistemos funkcionavimui ir darniai plėtrai. Energetika. 2004. Nr. 2. P.1-8.
6. Lietuvos respublikos energetikos ministerijos 2017–2019 metų strateginis veiklos planas. žiūrėta 2018 m. gruodžio 01 d.]. Prieiga per internetą:
<https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/2017%2001%2018%20EnMin%202017-2019%20strateginis.pdf>
Elektros energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų Lietuvoje vertinimas. [žiūrėta 2018 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą:
<http://maleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/2615/1451>
7. Energetikos statistika 2016 m. [žiūrėta 2018 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą:
<https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?articleId=5146928>
8. ŠESD kiekis Lietuvoje ir jos tendencijos [žiūrėta 2018 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą:
http://klimatas.gamta.lt/files/Tendencijos_2017.pdf
9. Elektros energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų vertinimas [žiūrėta 2018 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą:
www.maleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/download/2615/1451
10. Prieiga per internetą, [žiūrėta 2018 m. balandžio 10 d.]: <http://www.vadovelis.lt/darbai>

11. J. Burneikis; D. Štreimikienė. Atmosferos teršimas ir energetikos plėtra Lietuvoje. MG 1999/2. Prieiga per internetą: <http://ausis.gf.vu.lt/mg/nr/99/2/2burn.html>.
12. The True Cost of Electric Power. Dallas Burtraw and Alan Krupnick. Center for Energy Economics and Policy, Resources for the Future [žiūrėta 2018 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick.TrueCosts_Summary_web.pdf
13. Nacionalinė darnaus vystymosi strategija [žiūrėta 2018 m. 10 d.]. Prieiga per internetą: https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.EAC62D7F8C15/TAIS_396083
Asta Mikalauskiene; Dalia Štreimikienė; Integruotų rodiklių taikymas Nacionalinės energetikos strategijos [žiūrėta 2018 m. 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://mokslozurnalai.lmaleidykla.lt/publ/0235-7208/2009/3/158-166.pdf>
14. Kuro ir energijos balansas 1990-2016 // Statistikos departamentas prie LR Vyriausybės. [žiūrėta 2018 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.stat.gov.lt/>
15. D. Štreimikienė; I. Konstantinavičiūtė. Lietuvos energetikos plėtros prioritetai ir subalansuotumo rodikliai. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, 2003. Nr. 1(23)
16. Aplinkos tarša, mokomoji knyga Vida Marija Rutkoviene, Nomedas Sabiene: http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/548/1/Aplinkos%20tarsa.%20Rutkoviene%2C%20Sabiene_1.pdf
17. National greenhouse gas emission inventory report 2007 of the Republic of Lithuania. Annual report under the UN Framework Convention on Climate Change // Vilnius, 2007 March.
18. Dalia Štreimikienė; Remigijus Čiegis. Ekonominės žalos vertinimas stacionariems atmosferos taršos šaltiniams Lietuvoje. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, 2001 m. Nr. 1(15), P. 12-22.
19. Dalia Štreimikienė, Inga Konstantinavičiūtė. Bendrosios Klimato Kaitos Konvencijos įsipareigojimų įgyvendinimo galimybės atsižvelgiant į ŠESD emisijų Lietuvoje mažinimo priemones. // Energetika. 2003. Nr. 1. P. 28 – 37.
20. Paskaitų konspektas iš studijų modulio „Aplinkosauga energijos gamyboje“

Priedas Nr.1

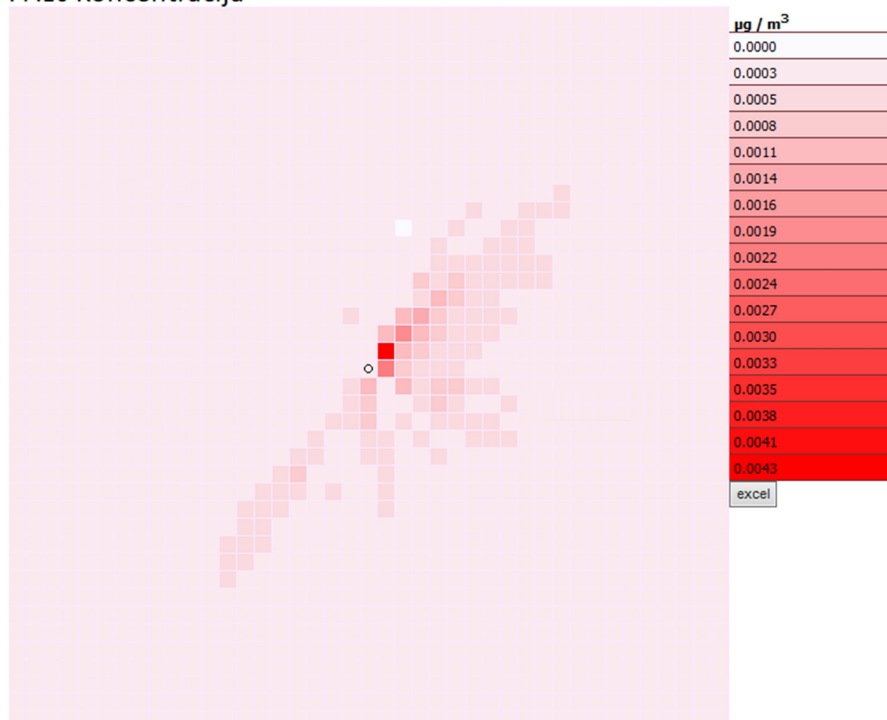
Biokuro jėgainės NOx ir PM10 koncentracijos iš SIMPACTS programos žemėlapis:

PM10 Koncentracija



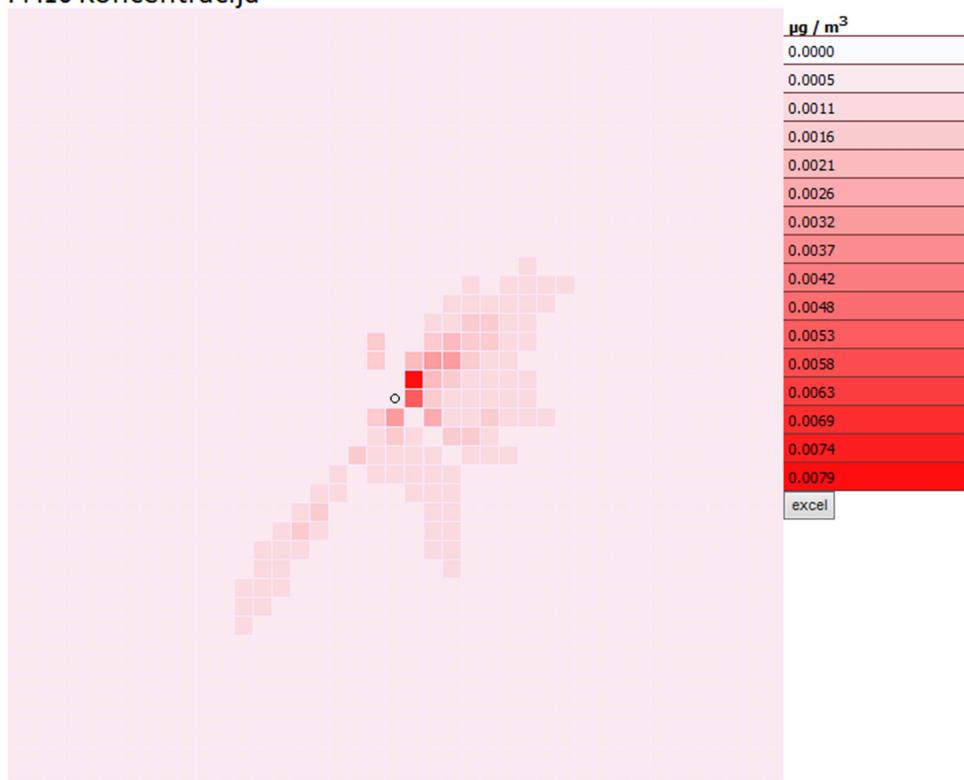
1 pav. I Varianto PM10 koncentraciją.

PM10 Koncentracija



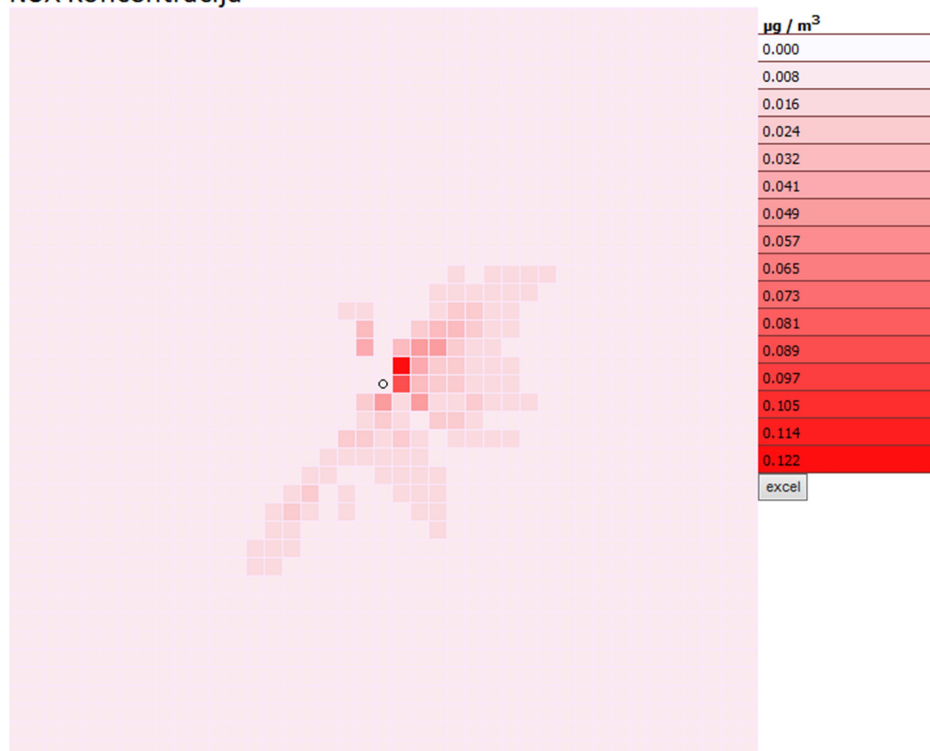
2 pav. II Varianto PM10 koncentraciją.

PM10 Koncentracija



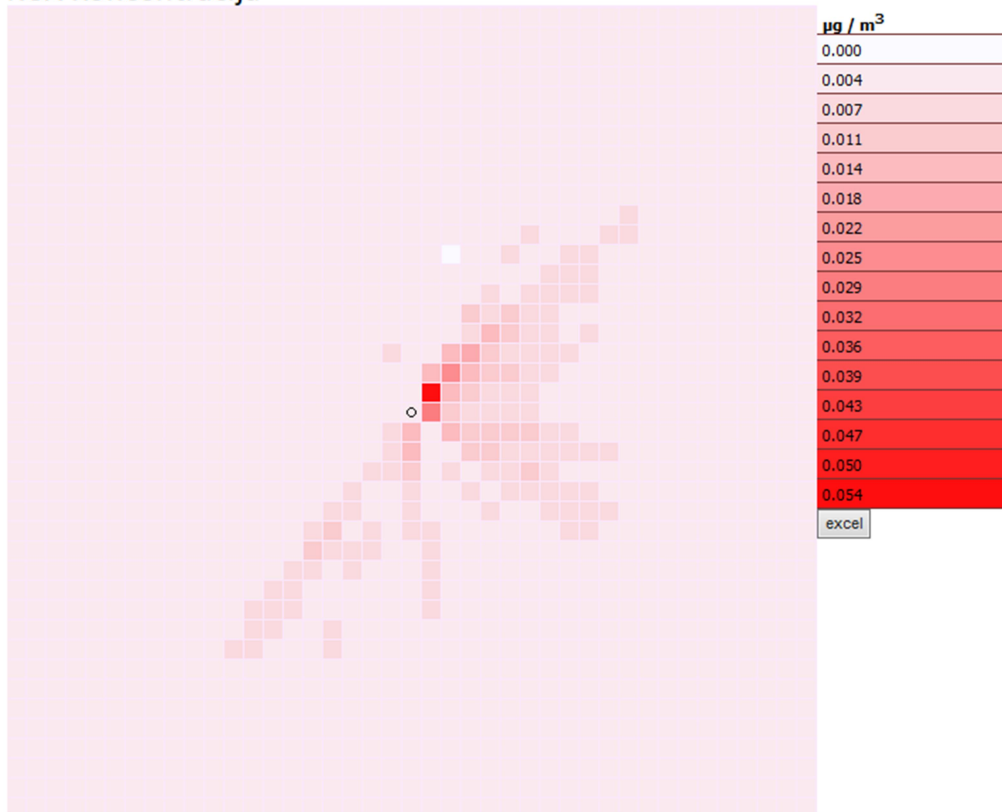
3 pav. III Varianto PM10 koncentracija.

NOx Koncentracija



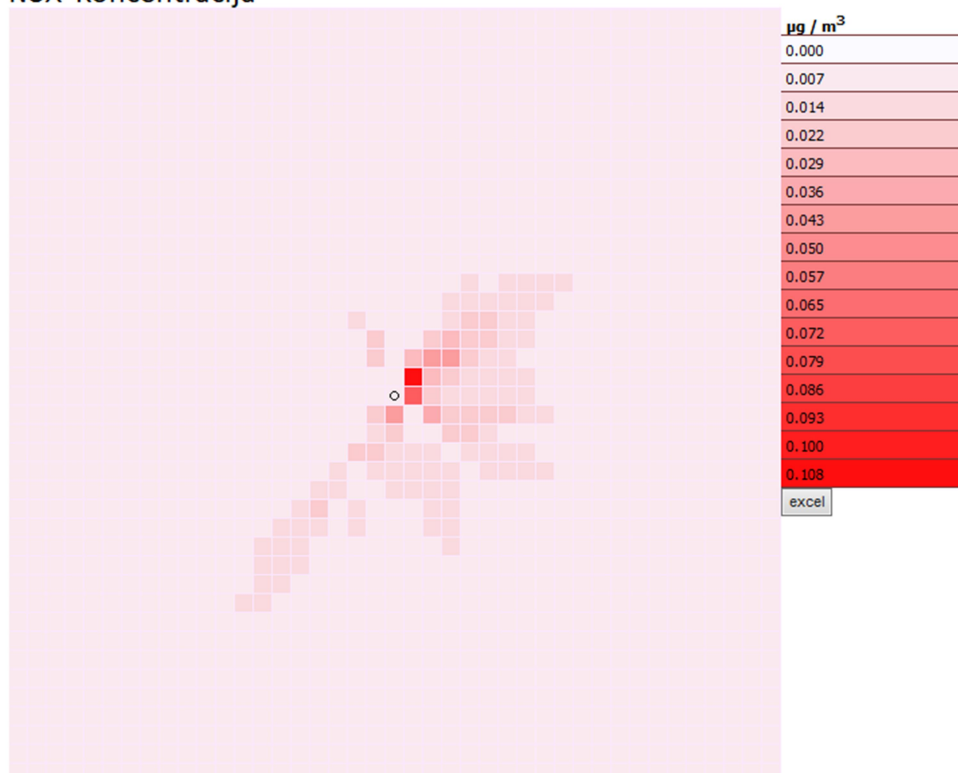
4 pav. I Varianto NOx koncentracija.

NOx Koncentracija



5 pav. II Varianto NOx koncentracija.

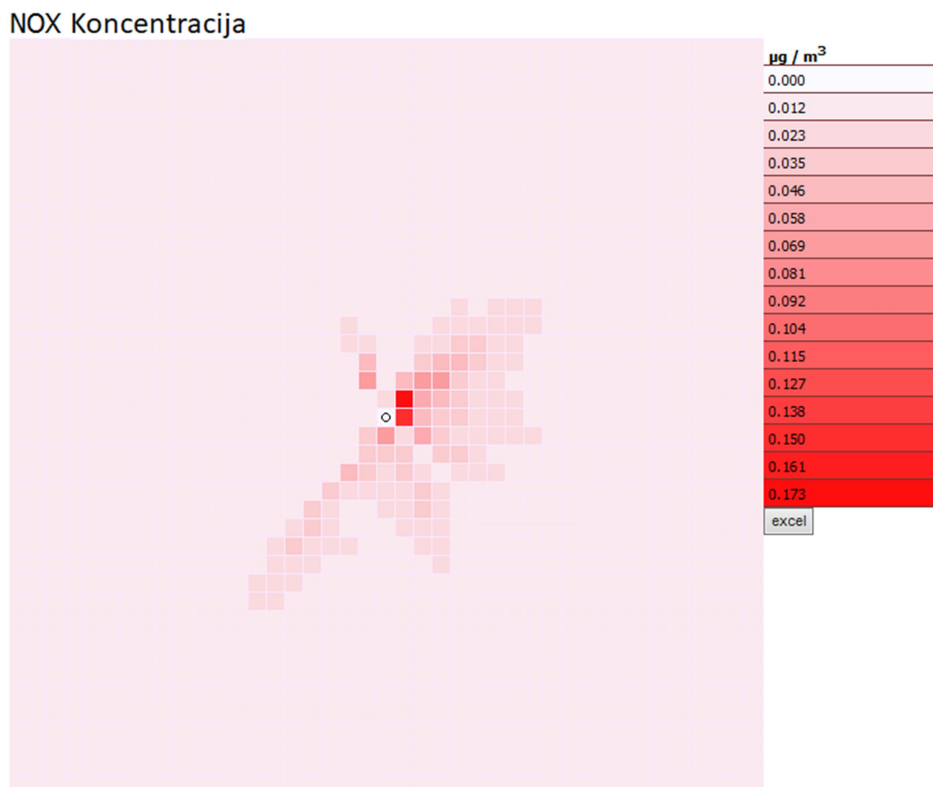
NOx Koncentracija



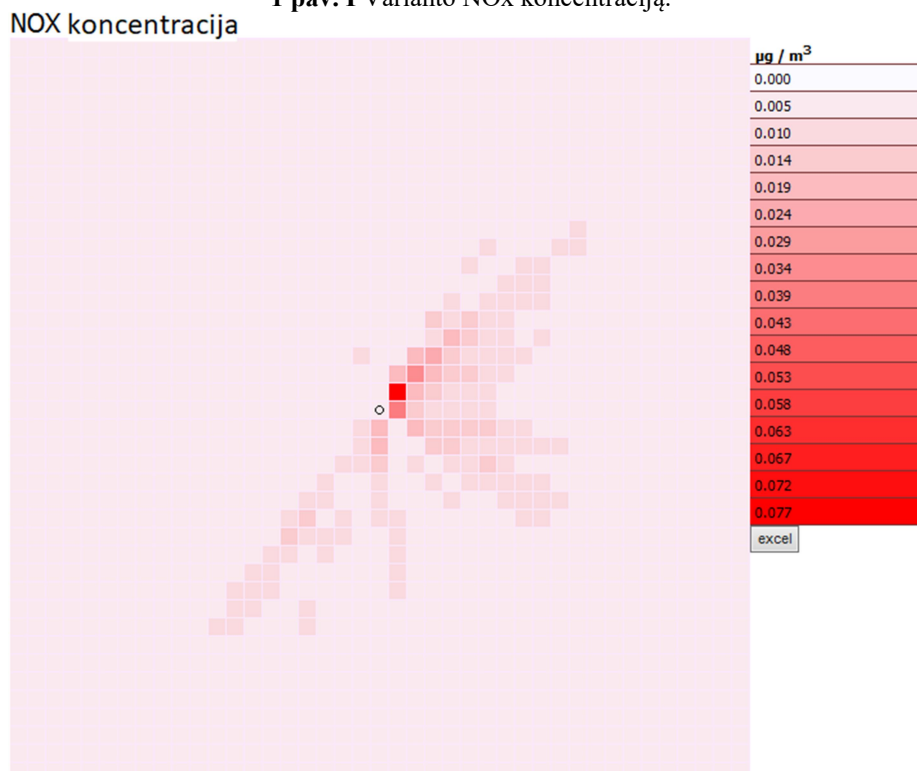
6 pav. III Varianto NOx koncentracija.

Priedas Nr.2

Dujinēs jēgainēs NO_x koncentrācijas iš SIMPACTS programos žemėlapis:

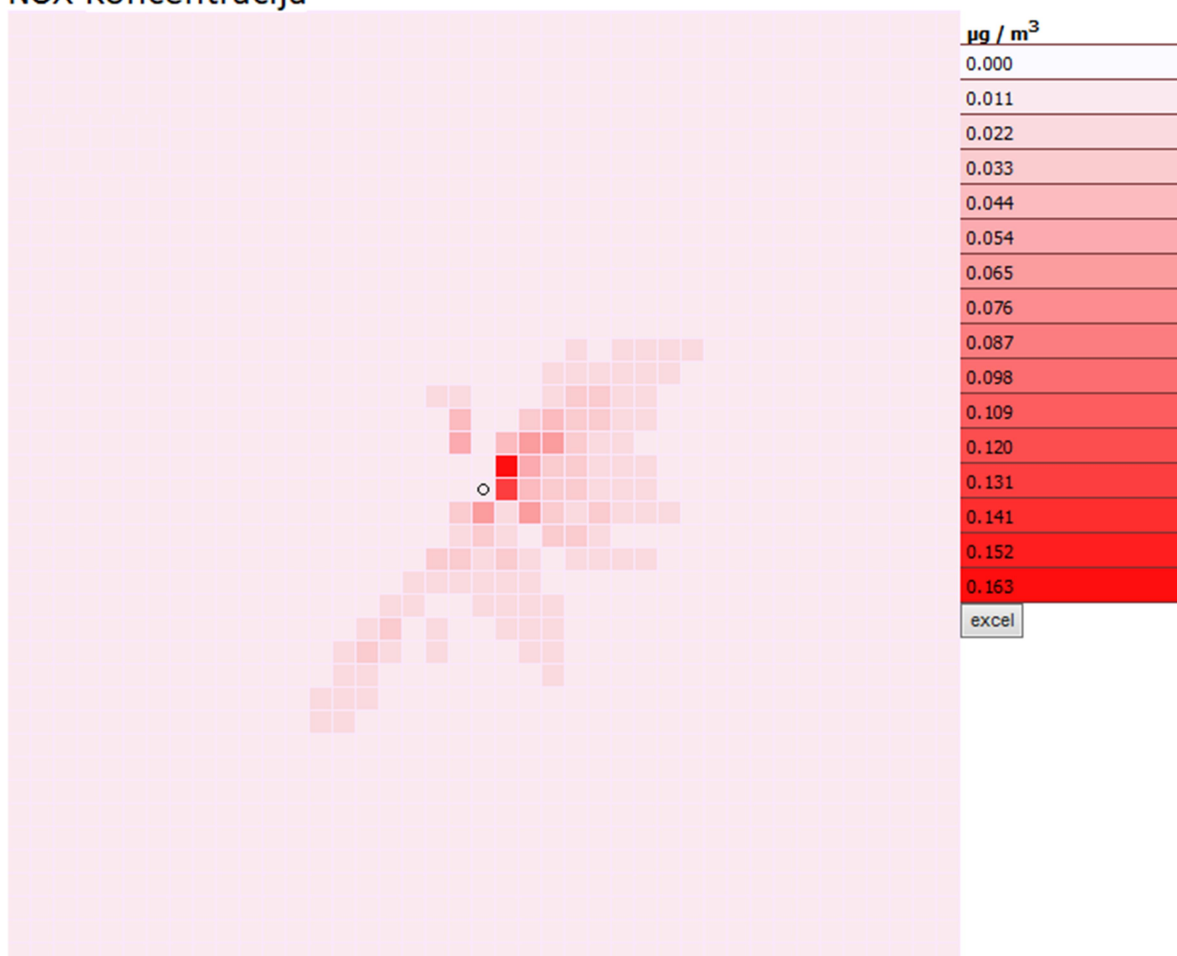


1 pav. I Varianto NO_x koncentracija.



2 pav. II Varianto NO_x koncentracija.

NOX Koncentracija



3 pav. III Varianto NOx koncentracija.