



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominis vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Šarūnas Andriukaitis

Projekto autorius

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominis vertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Energijos technologijos ir ekonomika (6211EX073)

Šarūnas Andriukaitis

Projekto autorius

Doc. Inga Konstantinavičiūtė

Vadovė

Lekt. Eimantas Neniškis

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Šarūnas Andriukaitis

Energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominis vertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Šarūno Andriukaičio, baigiamasis projektas tema „Energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominis vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

Andriukaitis, Šarūnas. Energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominis vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Inga Konstantinavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Energijos inžinerija, inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: išoriniai kaštai, poveikis, aplinka, energijos gamyba, elektros energija, SIMPACTS;

Kaunas, 2020. 71 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame projekte yra analizuojamas energijos gamybos poveikis aplinkai. Darbe yra nagrinėjama mokslinė literatūra, aptariamos pagrindinės oro taršos ir klimato kaitos problemos susijusios su elektros energijos gamyba. Aprašomas oro teršalų poveikis aplinkai, kuomet yra gaminama elektros energija. Darbe analizuojama išorinių kaštų įvertinimo metodika. SIMPACTS modelio pagalba atliekamas skirtingą kurą deginančių elektrinių modeliavimas, skaičiuojami ir lyginami šių elektrinių energijos gamybos metu, dėl kuro deginimo poveikio aplinkai atsirandantys išoriniai kaštai, atliekama jautrumo analizė.

Andriukaitis, Šarūnas. Economic Assessment of Environmental Impact of Energy Production. Master's Final Degree Project / Supervisor doc. Inga Konstantinavičiūtė; Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Power engineering, Engineering science.

Keywords: external costs, impact, environment, energy production, electricity, SIMPACTS,

Kaunas, 2020. 71 p.

Summary

The final thesis aims at analysing environmental impact of energy production. In this paper scientific literature on air pollution and climate change effects related to electricity production is observed also several analysis on energy productions external costs are discussed. Work mainly focuses on describing methodology of evaluating external costs and modeling the process of energy production. In the final thesis a model using SIMPACTS is simulated, results of modeling are examined. A sensitivity analysis and a comparison between two different power plants is made.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Aplinkos apsauga energetikos sektoriuje	12
1.1. Klimato kaita ir šiltnamio efektą sukeliančios dujos.....	13
1.2. Oro tarša ir kiti teršalai	16
2. Išoriniai elektros energijos gamybos kaštai	19
3. Skirtingų elektros energijos gamybos technologijų išorinių kaštų palyginimas	24
4. Išorinių energijos gamybos kaštų vertinimo metodika	29
4.1. Poveikio įvertinimo metodas	34
4.1.1. Poveikio - reakcijos funkcija	35
4.1.2. Žalos vertinimo funkcija.....	35
4.2. <i>SIMPACTS</i> modelis	37
5. Biokuro ir gamtinių dujų elektrinių poveikio aplinkai ekonominis vertinimas	39
5.1. Vertinamų elektrinių modelio duomenys	39
5.2. Biokurą ir gamtines dujas deginančių elektrinių poveikio vertinimas	41
5.3. Vertinamų taršos šaltinių jautrumo analizė	50
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	62
1 priedas. Eksperimentiniu būdu nustatytos, skirtingą kurą deginančių katilų teršalų emisijos	62
2 priedas. Jautrumo analizė <i>SIMPACTS</i> modeliavimo rezultatų lentelė	63
3 priedas. Teršalų koncentracijų sklaidymasis aplinkoje, <i>SIMPACTS</i> modeliavimo rezultatai. Biokuras.....	68
4 priedas. Teršalų koncentracijų sklaidymasis aplinkoje, <i>SIMPACTS</i> modeliavimo rezultatai. Gamtinės dujos	70

Lentelių sąrašas

1.1.1 lentelė. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų GWP	14
3.1 lentelė. ŠESD emisijos skirtingoms elektros energijos generavimo technologijoms.....	24
3.2 lentelė. Elektros energijos gamybos technologijos ir susidaranti teršalų emisijos	25
3.3 lentelė. Vidutiniai skirtingų technologijų išoriniai elektros energijos gamybos kaštai.....	27
4.1 lentelė. Pagrindinės skirtingų teršalų poveikio žmogaus sveikatai sritys.....	33
4.2.1 lentelė SIMPACTS modeliavimo tikslumo tipai.....	37
5.1.1 lentelė Modeliuojamų elektrinių lokacija	40
5.1.2 lentelė Modeliuojamų elektrinių techniniai parametrai.....	40
5.1.3 lentelė. Oro teršalų emisijų rodikliai pagal skirtingas deginamas kuro rūšis	40
5.1.4 lentelė Lyginamosios kuro sąnaudos pagal kuro tipą.....	40
5.1.5 lentelė. Analizuojamų elektrinių oro teršalų emisijos	41
5.2.1 lentelė. Modeliavimo rezultatai, poveikis sveikatai ir daromos žalos kaina	42
5.2.2 lentelė. Energijos gamybos metu susidaranti išorinių kaštų palyginimas.....	48
5.2.3 lentelė. Modeliavimo metu nagrinėtų atvejų, oro taršos sukeliama išoriniai kaštai, atskirai pagal teršalus	49
5.3.1 lentelė. Jautrumo analizė. Modeliuojamų elektrinių techniniai duomenys	50
5.3.2 lentelė. Jautrumo analizė. Daromo poveikio žalos modeliavimo rezultatai	51
5.3.3 lentelė. Jautrumo analizė. Oro taršos sukeliama išoriniai kaštai, atskirai pagal teršalus	51

Paveikslų sąrašas

1.1.1 pav. CO ₂ emisijų kitimo tendencija tendencija, statistiniai IEA duomenys.....	14
1.1.2 pav. ŠESD emisijų kitimo tendencija, skirtingų dujų palyginimas	15
1.1.3 pav. CO ₂ emisija pagal ūkio sektoriuose	15
1.2.1 pav. Pagrindiniai oro teršalai ir jų procentinė dalis kylanti iš energetikos sektoriaus.....	17
2.1 pav. Išorinių kaštų susidarantių gaminant elektros energiją palyginimas su kitų kategorijos kaštais	19
2.2 pav. Išoriniai kaštai elektros energijos gamybos cikle, kaštų struktūra pagal keturis etapus.....	22
4.1 pav. Poveikio įvertinimo principas (keturi pagrindiniai etapai).....	30
4.2 pav. Detalizuotas IPA metodo algoritmas	31
4.3 pav. Teršalų per kaminą dispersija	32
4.4 pav. Atmosferos stabilumo įtaka dūmų sklaidai.....	33
4.1.1 pav. Poveikio reakcijos funkcijų tipai	35
5.1.1 pav. Modeliuojamų elektrinių lokacija	39
5.2.1 pav. Procentinis oro taršos žalos pasiskirstymas pagal kuro rūšį.....	47
5.2.2 pav. Poveikio bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės) palyginimas su visa žala ir likusiais kitais poveikiais.....	48
5.2.3 pav. Išoriniai kaštai tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, struktūra atskirai pagal teršalus.	49
5.3.1 pav. Išorinių kaštų tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos palyginimas.....	52
5.3.2 pav. Išorinių energijos gamybos metu susidariusių kaštų suma per metus, gamtinės dujos	52
5.3.3 pav. Išorinių kaštų tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, deginant gamtines dujas palyginimas.....	53
5.3.4 pav. Išorinių energijos gamybos metu susidariusių kaštų suma per metus, biokuras	53
5.3.5 pav. Išorinių kaštų tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, deginant biokurą, palyginimas	54
5.3.6 pav. Trijų skirtingų nagrinėtų atvejų palyginimas, išoriniai energijos gamybos kaštai tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos	55

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

B – biokuro elektrinė;
CO₂ - anglies dioksidas;
CO₂eq – CO₂ ekvivalentas, naudojamas įvertinant kitas šiltnamio efektą sukeliančias dujas;
GD – gamtinių dujų elektrinė;
GWP – globalinis šiltėjimo potencialas, šiltėjimo potencialo koeficientas;
IEA – Tarptautinė energetikos agentūra
IPA – poveikio įvertinimo metodas (*angl. Impact Pathway analysis*)
JTBKKK - Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija
KD – kietosios dalelės
kWh – kilovatvalandė elektros energijos
LCOE – svertinė elektros energijos kaina (*angl. Levelized cost of energy*)
MWh – megavatvalandė elektros energijos
NO_x – azoto oksidai
ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos
SO₂ – sieros dioksidas
SUWM – supaprastintas visuotinis modelis (*angl. Simple Uniform World Model*)

Terminai:

Aplinka - gamtoje funkcionuojanti sistema, kurią sudaro tarpusavyje susiję komponentai (žemės paviršius ir gelmės, oras, vanduo, dirvožemis, augalai, gyvūnai, organinės ir neorganinės medžiagos) bei juos vienijančios natūraliosios ir antropogeninės ekosistemos;

Aplinkos apsauga – aplinkos saugojimas nuo fizinio, cheminio, biologinio bei kitokio neigiamo poveikio, atsirandančio naudojant gamtos išteklius;

Emisija – teršalų patekimas (išmetimas) į aplinką;

Energijos gamyba – elektros energijos gamyba elektrinėse, tradicinėse - deginant iškastinį kurą, atsinaujinančiosios energijos elektrinėse generuojant elektros energiją kitais būdais;

Internalizacija - neigiamų reiškinių padarinių kompensavimas šį reiškinį sukėlusio dalyvio pastangomis ir / ar lėšomis;

Išoriniai kaštai - asmens arba įmonės veikla, kuri sukelia nekompensuojamus kaštus kitiems subjektams;

Išoriniai energijos gamybos kaštai – elektros energijos gamybos metu sukuriama papildomi kaštai, kurie nėra įvertinami bendruosiuose gamybos kaštuose;

Monetizavimas – veiklos, proceso, poveikio vertimas į atitinkamą pinigų vertę, piniginės vertės suteikimas, įvardinimas piniginiu vienetu;

Oro tarša – kenksmingų žmogui teršalų išmetimas į aplinką

Poveikis – veiksmas, kurio pasekmės akivaizdžios;

Poveikis aplinkai – veiksmai, turintys neigiamas pasekmes aplinkai, kurie atsiranda dėl oro taršos;

SIMPACTS – Tarptautinės energetikos agentūros sukurta modeliavimo programinė įranga, skirta išorinių energijos gamybos metu sukuriama kaštų vertinimui ir skaičiavimui. (*angl. SIMPACTS - Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation*);

Taršos šaltinis – veiksnys dėl kurio į atmosferą išmetami teršalai;

Teršalai – medžiaga ar medžiagų junginys, kurie dėl žmogaus veiklos patenka į aplinką ir ją teršia.

Įvadas

Tyrimo aktualumas. Šių dienų pasaulyje energetika turi esminę reikšmę pramonės, prekybos ir visuomenės materialinei gerovei, taip pat ji užtikrina asmeninį patogumą bei mobilumą. Be energijos, praktiškai nėra įmanoma įsivaizduoti mūsų gyvenimus, tačiau šalia teigiamų naudų ir teigiamų savybių, jos gamyba turi neigiamų pasekmių. Energijos gamyba ir vartojimas kelia didelių problemų aplinkai. Pagrindinės jų: šiltnamio efektą sukeliančios dujos ir oro teršalų emisijos, taip pat žemės naudojimas, atliekų susidarymas ir naftos išsilyjeimai. Šios problemos prisideda prie klimato kaitos, kenkia natūralioms ekosistemoms, žmogaus sukurtai aplinkai ir turi neigiamą poveikį žmogaus sveikatai.

Aplinkos apsauga energijos gamybos procese dabar yra vienas iš svarbiausių veiksnių. Nepaisant to, tausoti aplinką ir rūpintis ne tik gamybos produktu, bet ir jo gamybos metu daroma žala pradėta sąlyginai neseniai. Būtina pabrėžti, kad elektros energija visuomenės gyvenime ir veikloje šiuo metu yra viena iš svarbiausių priemonių, be kurios jokia kasdienė įprasta veikla neįmanoma, todėl jos gamybos stabdymas ar mažinimas dėl aplinkos apsaugos yra tiesiog neįmanomas, o nuolatinis poreikio augimas – neišvengiamas.

Elektros energijos gamybos metu sukelti neigiami poveikiai aplinkai ar žmogui yra negrįžtami ir privalo būti įvertinti bei integruoti į bendras išlaidas, o poveikis išreikštas kaip išoriniai energijos gamybos kaštai. Išorinių gamybos sąnaudų įtraukimas į elektros energijos kainą dažnai nėra praktikuojamas, o padaryta žala ir susikurtos išorinės išlaidos yra visos visuomenės atsakomybė.

Oro taršos mažinimas ir klimato kaitos stabdymas šiandien yra du pagrindiniai bei neatsiejami kiekvienos šalies, taip pat ir Europos Sąjungos energetikos strategijos tikslai, o pati aplinkos apsaugos politika šiuo metu laikoma viena dinamiškiausių sričių.

Aplinkai daromą poveikį gaminant elektros energiją įvertinti yra svarbu, tai padaryti galima skaičiuojant ir analizuojant gamybos metu sukuriamus išorinius kaštus. Kaštų įvertinimo tikslumas, analizuojant energijos gamybos procesą bei proceso metu sukuriamą oro taršos poveikį aplinkai, yra svarbu, nes tai leidžia tinkamai naudoti resursus ir pastebėti „tikrąją“ energijos kainą.

Darbo tikslas – išanalizuoti energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominio vertinimo metodiką ir atlikti skirtingą kurą deginančių elektrinių poveikio aplinkai ekonominį vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. išanalizuoti skirtingų energijos gamybos technologijų daromą poveikį aplinkai;
2. atlikti energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominio vertinimo metodikų analizę;
3. įvertinti gamtines dujas ir biokurą deginančių elektrinių energijos gamybos metu daromą žalą aplinkai taikant *SIMPACT* modelį;
4. atlikti skirtingą kurą deginančių elektrinių palyginamąją bei jautrumo analizę vertinant gamybos poveikį aplinkai.

Tyrimo objektas. *SIMPACTS* programa modeliuotos gamtines dujas ir biokurą deginančios elektrinės.

Tyrimo metodai. Mokslinės literatūros analizė, statistinių duomenų analizė, išorinių kaštų vertinimo metodika, *SIMPACTS* modelis, pagrįstas poveikio vertinimo metodu, technologijų palyginamoji ir jautrumo analizė

Darbo struktūra. Darbo apimtis – 71 puslapis, darbe pateikiama 17 lentelių, 21 paveikslas ir 43 literatūros šaltiniai.

1. Aplinkos apsauga energetikos sektoriuje

Aplinkos būklė, jos saugojimas bei daroma žala gaminant energiją ilgą laiką mūsų visuomenėje nebuvo prioritetas. Anksčiau iškastiniu kuru bei kitais ištekliais naudodamiesi žmonės nesusimąstydavo apie pasekmes ir naudojamo kuro resursų pabaigą. Visa tai kardinaliai pradėjo keistis tuo metu, kai bendras energijos vartojimas pradėjo sparčiai augti, o kuriamos ir tobulinamos naujos technologijos reikalavo vis daugiau elektros energijos. Pirminės energijos poreikis pasaulyje per pastarąjį šimtmetį išaugo beveik dešimt kartų. Didžiausias jo augimas pastebimas paskutiniais dešimtmečiais. Augant poreikiui, atsirandant naujoms technologijoms ir mažėjant iškastinio kuro rezervui, susiduriama su naujais iššūkiais energijos sektoriuje, taip pat didėja aplinkos apsaugos svarba.

J.P. Holdren'o publikuotame straipsnyje „Global environmental issues related to energy supply: The environmental case for increased efficiency of energy use“ buvo akcentuojamos dvi pagrindinės energetikos sektoriaus problemos, tiesiogiai susijusios su energijos gamyba. Viena jų – didėjanti CO₂ emisija energetikos sektoriuje. Šios emisijos atsiranda deginant iškastinį kurą, o jų išmetimai energijos sektoriuje tiesiogiai proporcingi energijos gamybai. Straipsnyje minimas jų ryšys su klimato kaita. Antroji straipsnyje įvardinama problema – oro tarša, kurią sukelia energijos gamybos procesas. Gaminant energiją ir gamybos metu deginant iškastinį kurą, į aplinką išmetami degimo reakcijos produktai – dūmai, o kartu su jais į aplinką patenka oro teršalai: azoto oksidas, sieros dioksidas. Šių teršalų emisija straipsnyje siejama su rūgštiniais lietumis ir vandens užterštumu [1].

Pirmasis ir didelę svarbą turintis įvykis plėtojant tarptautinę klimato kaitos politiką buvo 1992 - ieji metai, JAV. Niujorke buvo priimta *Jungtinių Tautų Bendroji klimato kaitos konvencija* (toliau - JTBKKK). Svarbiausias šios Konvencijos tikslas – stabilizuoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją. JTBKKK buvo pasirašyta šiek tiek vėliau, tais pačiais metais, Jungtinių Tautų Aplinkos apsaugos ir plėtros konferencijoje Rio de Žaneire. Šią konvenciją Lietuvos Respublikos Seimas ratifikavo 1995 metais [2]. Po Konvencijos pasirašymo Jungtinių Tautų organizacija inicijavo *Kioto* protokolo parengimą ir įgyvendinimą. 1997 metais Japonijoje, Kioto mieste, vykusioje Jungtinių Tautų klimato kaitos konvencijoje protokolą pasirašė per 150 šalių. Pagrindinis *Kioto* protokolo tikslas – parengti konkrečius valstybių įsipareigojimus ir pristatyti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo sumažinimo mechanizmus. Faktiškai *Kioto* protokolas, nors ir buvo pasirašytas 1997 metais, įsigaliojo tik 2005 – ūjų metų vasario 16 d., po to, kai jį ratifikavo Rusija [3].

Oro tarša dėl išmetamų į aplinką teršalų taip pat yra svarbi bendros pasaulinės aplinkos apsaugos politikos dalis. Oro teršalai išmetami iš taršos šaltinių neapsiriboja valstybių sienomis ir dažnai, oro srovėmis, nuo šaltinio keliauja didelius atstumus. Jungtinių Tautų Europos ekonomikos komisijai (UNECE) priklausančios valstybės 1979 – aisiais metais pasirašė teisiškai jas įpareigojančią sutartį – *JT Tolimųjų oro teršalų pernašų konvenciją*. Pagal šią Konvenciją tuo metu 32 dvi šalys, tarp kurių ES valstybės ir Šiaurės Amerika, sutarė bendradarbiauti siekiant sumažinti oro taršą ir į aplinką išmetamų oro teršalų kiekius. Šiuo metu Konvenciją yra ratifikavusi 51 valstybė [4].

JTBKKK, *Kioto* protokolas bei kiti svarbūs susitarimai gali būti laikomi padidėjusio dėmesio aplinkos apsaugai pradžia. Jungtinių Tautų vaidmuo indikuoja apie oro taršos ir klimato kaitos problemų globalumą. Laikantis Konvencijų metu numatytų kryptių ir įsipareigojimų, pasaulio šalys

gali planuoti tolesnius veiksmus ir procesus energetikos sektoriuje, atsižvelgiant į aplinkos apsaugą. Žala aplinkai šiais laikais išlieka didžiausia energijos gamybos problema.

Globalios problemos ir iššūkiai, JT Konvencijos ir susitarimai, bei Europos Sąjungos pirmavimas aplinkos apsaugos srityje paliečia kiekvieną iš šalių. Lietuvos Respublikos Nacionalinė energetikos strategija patvirtinta 2018 metais taip pat yra nukreipta į aplinkos apsaugą bei taršos mažinimą. Viena iš kryptių strategijoje yra nurodoma įtakos klimato kaitai ir aplinkos oro taršai mažinimas (energijos taupymas ir žalioji energetika). Nacionalinė energetikos strategija nurodo valstybės energetikos sektoriaus politikos gaires. Šios strategijos gairės apima šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir aplinkos oro teršalų kiekių mažinimą, o tai valstybė planuoja daryti per skatinimą finansinėmis ir nefinansinėmis priemonėmis, švietimu ir energijos vartojimo efektyvumu [5].

1.1. Klimato kaita ir šiltnamio efektą sukeliančios dujos

Klimato kaita, kaip globalus reiškinys, yra laikomas vienu svarbiausių šių dienų iššūkių. Šio klausimo aktualumas pastaruoju metu sąlygojo daugybę mokslinių tyrimų ir studijų [6,7]. Tyrimai leidžia apibrėžti pagrindines moksliskai pagrįstas sąsajas, aprašančias klimato kaitą:

- šiltnamio efektą sukeliančių dujų (toliau ŠESD) koncentracija mūsų planetos atmosferoje yra tiesiogiai susijusi su vidutine temperatūra ir jos pokyčiais;
- nuo industrinės revoliucijos pradžios ŠESD koncentracija nuolat didėja, o tai koreliuoja su vidutine temperatūra;
- apie du trečdalius visų ŠESD sudaro anglies dvideginis (CO₂), daugiausiai jo išskiriama deginant iškastinį kurą.

Šiltnamio efektą sukeliančios dujos (ŠESD) – tai bet kokios dujos atmosferoje, kurios sugeria ir išspinduliuoja šilumą, todėl planetos atmosfera išlaikoma šiltesnė nei būtų be jų. Prie pagrindinių žemės atmosferoje esančių šiltnamio efektą sukeliančių dujų yra priskiriamas anglies dioksidas – CO₂, metanas – CH₄, azoto oksidas – N₂O, Hidrofluorangliavandeniliai – HFCs, Perfluorangliavandeniliai – PFCs, Sieros heksafluoridas - SF₆, Azoto trifluoridas – (NF₃).

Siekiant išvengti negrįžtamų pasaulio klimato kaitos padarinių, svarbu palaikyti bendrosios pasaulinės vidutinės temperatūros pastovumą. Lyginant šių dienų vidutinę pasaulinę temperatūrą su ankstesniais duomenimis pastebimas temperatūros augimas. Tai yra pagrindinė pasaulinio atšilimo sąlyga. Mokslininkų duomenimis šiuo metu yra svarbu, jog atšilimas neviršytų, iki dar pramoninių laikų buvusios, vidutinės temperatūros daugiau kaip 2 °C. Kaip teigiama Europos Komisijos dokumente „Pasaulio klimato kaitos apribojimas iki 2 °C. Gairės 2020 metams ir vėliau“, išmetamųjų ŠESD koncentraciją stabilizavus 450 ppmv (ppmv – dalelių skaičius 1-ame milijone oro dalelių) CO₂ ekvivalentu (CO₂eq), atsirastų 50 % tikimybė neviršyti 2°C ribos. Išmetamųjų ŠESD koncentracija jau dabar siekia beveik 394 ppmv ir kiekvienais metais padidėja maždaug 2 ppmv. Pagal pagrindinį dokumente aprašomą scenarijų viso pasaulio išmetamųjų ŠESD kiekis iki 2050 m. turėtų padidėti 86 proc., lyginant su 1990 m. lygiu [8].

ŠESD Žemės atmosferoje atsiranda natūraliai, tačiau dėl žmogaus veiklos, tokios kaip iškastinio kuro deginimas, šių dujų kiekis atmosferoje didėja. Skirtingos dujos turi skirtingą poveikį, gyvavimo trukmę ir gali sugerti skirtingus šilumos kiekius. Remiantis šiais duomenimis yra išvedamas globalinio atšilimo potencialo koeficientas (*angl. Global Warming Potential – GWP*), kuris indikuoja ŠESD sukliamą atšilimo kiekį per duotą laiko tarpą (įprastai tai yra 100 metų). Šis koeficientas

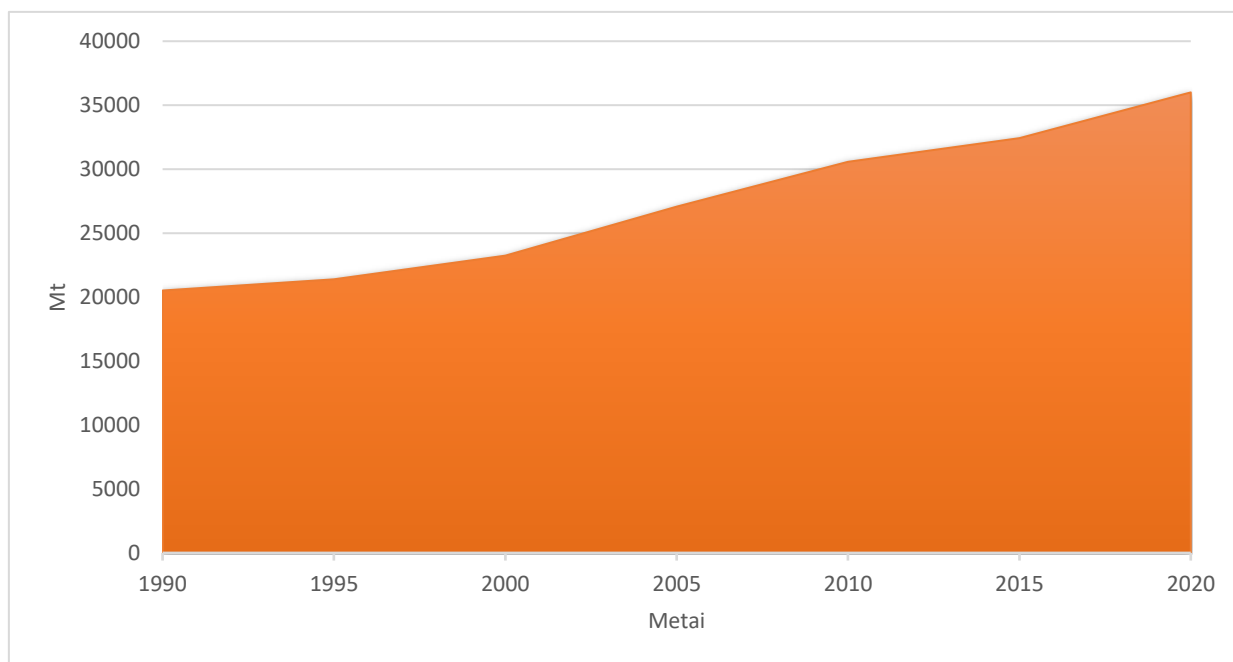
paremtas anglies dioksido – CO₂ pagrindu, kuris yra prilyginimas 1 GWP, o visos kitos dujos vertinamos atitinkamai CO₂. Pvz., jei metano GWP yra lygus 25, tai 1kg metano dujų 25 kartus daugiau prisideda prie pasaulinio temperatūros atšilimo nei CO₂ dujos šimto metų perspektyvoje [9]. Toliau pateikiama 1.1.1 lentelė su šiltnamio efektą sukeliančių dujų GWP vertėmis.

1.1.1 lentelė. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų GWP [9]

Eil.nr	ŠESD	GWP
1.	Anglies dioksidas (CO ₂)	1
2.	Metanas (CH ₄)	25
3.	Azoto oksidas (N ₂ O)	298
4.	Hidrofluorangliavandeniliai (HFCs)	124–14 800
5.	Perfluorangliavandeniliai (PFCs)	7 390–12 200
6.	Sieros heksafluoridas (SF ₆)	22 800
7.	Azoto trifluoridas (NF ₃)	17 200

Taikant šias vertes galima geriau įsivertinti ŠESD daromą įtaką ir stebėti skirtingų dujų poveikį. Tačiau vertinant tai, jog CO₂ emisijos yra didžiausios, toliau apžvelgiamas tik anglies dioksidas – kaip pagrindinis klimato kaitos veiksnys.

CO₂ emisijos bendrasis kiekis pasaulyje nuolatos auga. Pastovus CO₂ išmetimų į aplinką augimas matomas 1.1.1 paveiksle.



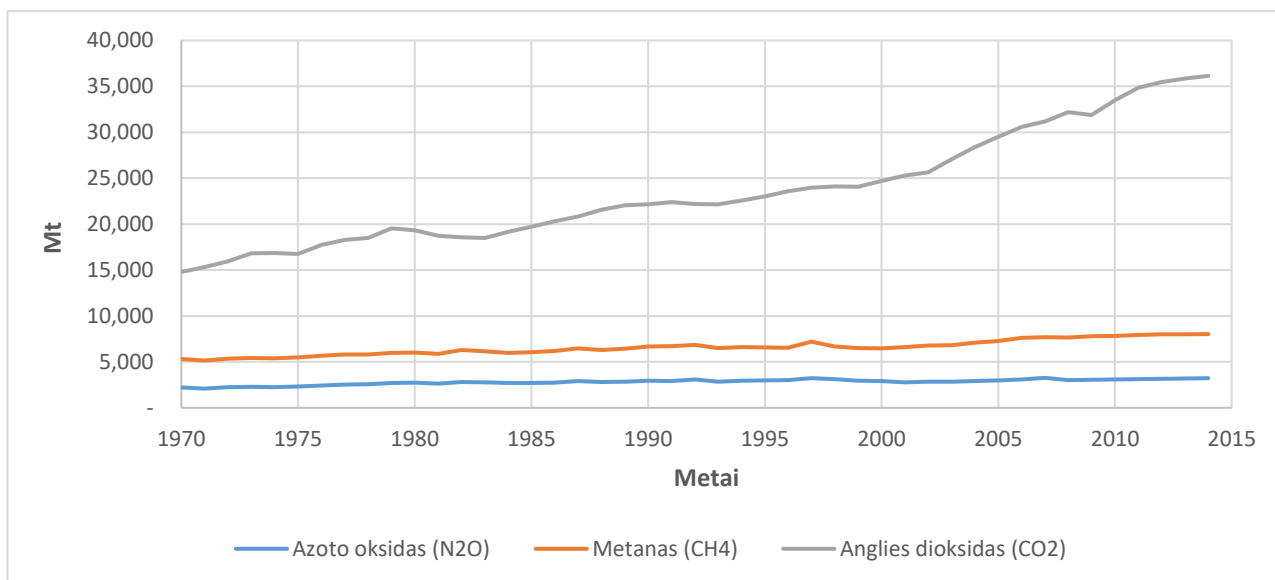
1.1.1 pav. CO₂ emisijų kitimo tendencija, statistiniai IEA duomenys [10]

Remiantis tarptautinės energetikos agentūros IEA statistiniais duomenimis galima pastebėti bendrąjį augimo tendenciją ir daryti išvadą, kad toks ar panašus augimas yra tikėtinas ir ateityje.

Šiuo metu pasaulyje į atmosferą išleidžiamų CO₂ dujų apimtys svyruoja apie 37 milijardus tonų per metus. Remiantis Europos Komisijos ir Jungtinių Tautų duomenimis CO₂ emisijos 2017 m. Lietuvoje siekė 15,3 Mt. Lyginant su kitomis pasaulio šalimis, Lietuvos indėlis į globalinį klimato kaitos

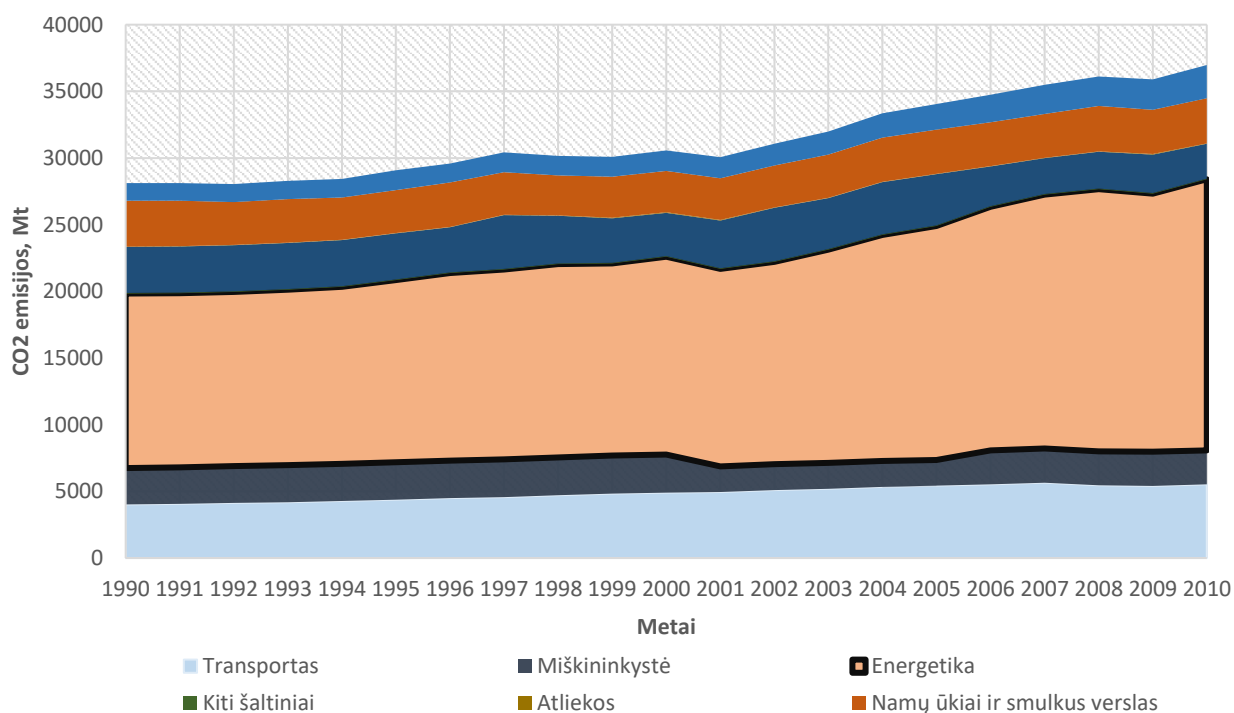
procesą yra labai mažas. CO₂ emisijos 2017 m. Lietuvoje sudarė 5,3 t/gyventojui. Šis rodiklis yra panašus į kitų Europos šalių, kurios išleidžia 3–7 t ŠESD, išreikštų CO₂ ekvivalentu vienam gyventojui [11]. Daugiausiai ŠESD išleidžiama Japonijoje, Vokietijoje. JAV per metus į atmosferą išleidžiama apie 5 mlrd. t. CO₂, Kinijoje – 10 mlrd.t., Rusijos Federacijoje – 1,7 mlrd. t.

Paveiksle 1.1.2 pateikiamos pagrindinių ŠESD emisijos ir jų istoriniai duomenys pasaulyje. Iš grafiko matomas nuolatinis CO₂ emisijos augimas, taip pat ir nežymus metano ir azoto oksido, kaip svarbių ŠESD sudedamųjų dalių, augimas bei emisijų kiekiai.



1.1.2 pav. ŠESD emisijų kitimo tendencija, skirtingų dujų palyginimas [12]

Energijos gamybos sektorius yra pagrindinis ŠESD šaltinis. Remiantis statistiniais duomenimis pateikiama CO₂ emisija pasaulio mastu, vertinant atskirai pagal ūkio sektorius (žr. 1.1.3 pav.).



1.1.3 pav. CO₂ emisija pagal ūkio sektorius [12]

Nagrinėjant statistinius duomenis galima pastebėti, kad energetikos sektorius sudaro didžiausią dalį į atmosferą išmetamų CO₂ emisijų. Jei analizuotume kitas ŠESD emisijas, pastebėtume panašią tendenciją. Išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiai, kaip ir anglies dioksido, nuolat auga. Be energetikos sektoriaus, didelėmis metano ir azoto oksidų emisijomis taip pat pasižymi žemės ūkio sektorius. Didžiausios CO₂ emisijos yra išskiriamos energetikos sektoriuje, metano ir azoto iš žemės ūkio veiklų, energetikos bei transporto.

Jei energetikos sektorių vertintume atskirai sritimis, iš jų išsiskirtų elektros energijos gamyba deginant iškastinį kūrą. Elektros energijos gamyba yra laikoma pagrindiniu CO₂ emisijos šaltiniu, šios sektoriaus veiklos dalis sudaro beveik 40 % visų anglies dvideginio emisijų pasaulyje [13].

1.2. Oro tarša ir kiti teršalai

Nagrinėjant ir vertinant aplinkai daroma žalą svarbu atskirti CO₂ emisijas ir oro teršalus. Energetikos sektoriuje tiek CO₂, tiek oro teršalai yra iškastinio kuro deginimo proceso pašalinis produktas, kuris su kuro deginimo metu išmetamais dūmais patenka į aplinką. Tačiau pagal savo poveikį aplinkai šie du privalo būti atskiriami ir nagrinėjami atskirai.

Analizuojamą aplinkos žalą bei klimato atskirtį savo straipsnyje akcentuoja John Englander. CO₂ dažnai suprantamas klaidingai ir yra priskiriamas prie teršalų. Čia, pasak autoriaus, dauguma daro klaidą, nes anglies dioksidas pagal savo poveikį nėra žalingas žmogui, nepaisant to, kad šio junginio dideli kiekiai bei koncentracijos turi įtakos klimato kaitai, jis netgi yra gyvybiškai svarbus kiekvienam augalui ar gyvūnui. Gyvūnai deguonį verčia į anglies dioksidą, o augalams jo reikia tam, kad galėtų deguonį generuoti. Teršalais reikėtų laikyti tokias medžiagas, kurios tiesiogiai teršia, kenkia ar gadina, taip pat tokias, kurios savyje turi nuodų, toksinų ar medžiagų, kurios reaguodamos su oru ar vandeniu gali tapti kenksmingomis mums ar aplinkai [14]. Esminis atskyrimo matavimo vienetas tarp to kas yra laikoma teršalu ir kas ne, turėtų būti poveikis ir žala žmogaus sveikatai.

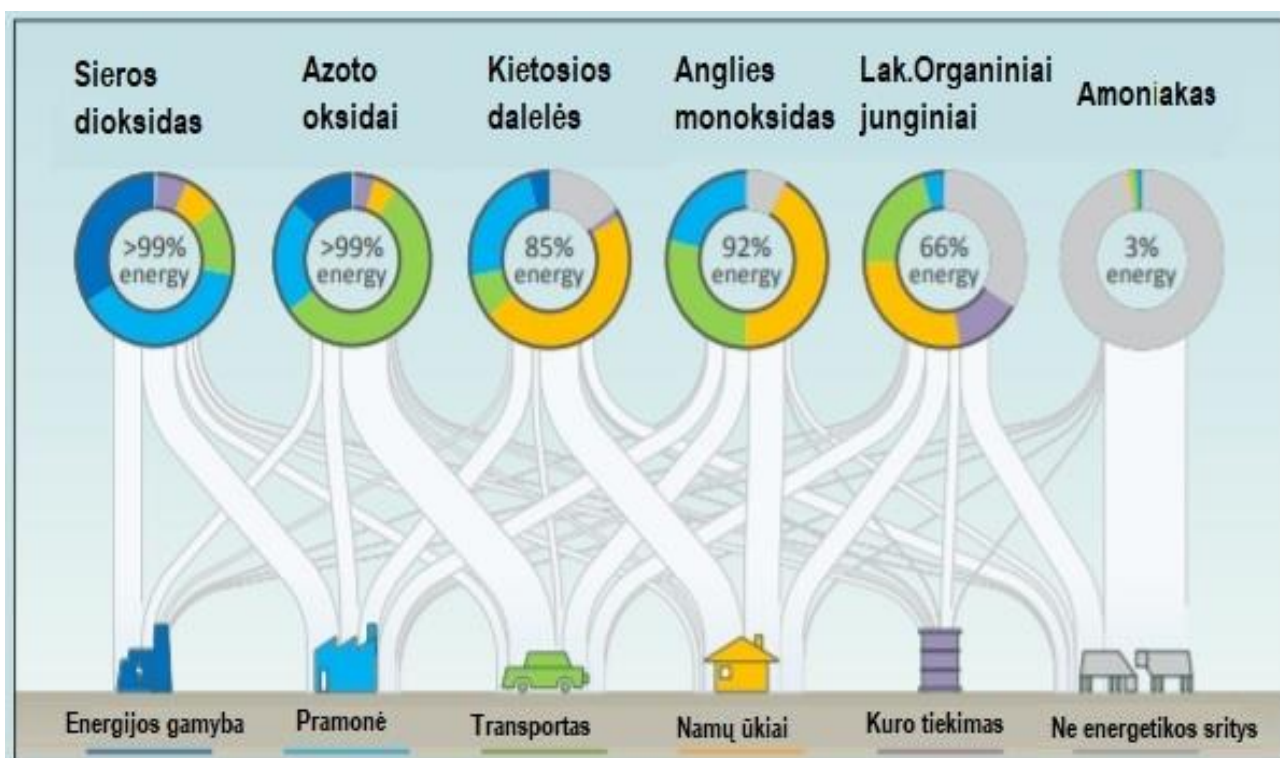
Oro tarša – tai tam tikras neigiamas poveikis aplinkai ar žmonėms, kurį sukelia kietosios, skystosios ar dujinės medžiagos, medžiagų dalelės ar jų koncentracija ore. Teršalai gali būti susidarantys natūraliai bei dėl žmogaus veiklos, jie gali skleisti tam tikrą kvapą arba būti bekvapiai, matomi ar nematomi. Teršalų gyvavimo trukmė atmosferoje yra labai įvairi, čia jie gali užsilikti nuo kelių minučių iki kelių metų. Pagal teršalų kiekį, rūšį ir tipą tarša gali būti skirstoma į vietinę, nacionalinę, regioninę ar pasaulinę, dažniausiai yra apsiribojama regionine ir vietine sklaida. Teršalai skirstomi į pirminius ir antrinius. Pirminiai teršalai yra tie, kurie į aplinką patenka tiesiogiai dėl žmogaus ar gamtos procesų. Antriniai susidaro pirminiams reaguojant su įvairiais kitais išoriniais veiksniais (pvz. saulės spinduliai ar kiti komponentai, esantys atmosferoje) [15].

Energetika, o dar konkrečiau, elektros energijos gamyba, šiais laikais yra viena iš pagrindinių dėl žmogaus veiksmų sukurtų ir išmetamų oro teršalų priežasčių. Energijos gamybos procesas susideda ne tik iš iškastinio kuro ar biokuro deginimo elektrinėje, nes į procesą įeina ir kuro išgavimas, transportavimas, gryninimas bei kiti industriniai procesai.

Iškastinis kuras yra laikomas vienu populiariausių kūrų gaminant elektros energiją. Pasaulyje didėja susidomėjimas aplinkos apsauga ir netaršiomis arba mažai taršaus kuro rūšimis. Į iškastinio kuro deginimą yra žiūrima griežčiau, taip yra dėl su šio kuro deginimo metu atsirandančia tarša. Nepaisant to, procentaliai iškastinis kuras jau 25 metus yra dominuojantis energijos gamybos sektoriuje. Remiantis pasauline sunaudojamo kuro rūšių statistika, Bendroji naftos, anglies ir gamtinių dujų dalis

bendrame energijos suvartojime per paskutiniuosius 25 metus išliko pastovi. Šių kurų suvartojimo procentas 1989 metais buvo 81 %, toks pat jis liko ir 2014 metais. Per šiuos metus naftos dalis sumažėjo nuo 37 % iki 31 %, tačiau išaugo gamtinių dujų (nuo 19 % iki 21 %) ir anglies (nuo 25 % iki 28 %) suvartojimas. Biokuras ir bioenergija liko pastovūs ir siekia 10 % suvartojimą [16].

Tarptautinės energetikos agentūros – IEA atlikta studija „Energy and Air Pollution“ teigia, jog dėl žmogaus veiklos į aplinką išmetami oro teršalai daugiausiai kyla dėl energetikos sektoriaus veiklos. Remiantis tyrimo rezultatais šis sektorius yra atsakingas už trijų pagrindinių teršalų emisijas. Tai apima beveik visą (daugiau nei 99 %) ore esanti azoto oksidų (NO_x) ir sieros dioksido (SO₂) koncentraciją bei 85 % kietųjų dalelių emisijos yra siejama su energijos gamyba energetikos sektoriuje ar kitokia sektoriuje vykdoma veikla. 1.2.1. pav. išvardinti pagrindiniai oro teršalai ir procentinė teršalų dalis, už kurią yra atsakingas energijos sektorius [16].



1.2.1 pav. Pagrindiniai oro teršalai ir jų procentinė dalis, kylanti iš energetikos sektoriaus [16]

Energetikos sektorius apima daugybę sričių, dalis jų stipriai prisideda prie oro taršos ir teršalų poveikio žmogaus sveikatai. Šiame sektoriuje dideliu oro teršimu pasižymi elektros energijos gamybos sritis, todėl toliau darbe atliekamas tyrimas apims tik šią sritį.

Zihua Wang savo knygoje „Energy and Air Pollution“ kalba apie nuolat augantį pirminės energijos poreikį bei energijos šaltinių svarbą. Iškastinis kuras: anglis, nafta ir gamtinės dujos vaidina svarbiausią vaidmenį visame mūsų pasaulio energijos gamyboje ir vartojime. Autorius savo knygoje skiria penkis pagrindinius oro teršalus kaip šalutinis produktas atsirandančius deginant iškastinį kurą, kuris reikalingas energijos gamybai [17].

Pagrindiniai oro teršalai: Kietosios dalelės (*angl. particulate matter – PM*), sieros dioksidas (SO₂), azoto oksidai (NO_x), sunkieji metalai ir lakieji organiniai junginiai (*angl. Volatile Organic*

Compounds -VOC's), taip pat anglies monoksidas (CO). Šie penki teršalai yra įvardinami ir tarptautinės energetikos agentūros – IEA, kaip pagrindiniai [16].

Kietosiomis dalelėmis dažniausiai laikomos kietosios dalelės ir skysti lašeliai, kurių diametras yra mažesnis nei 100 mm. Prie kietųjų dalelių priskiriami suodžiai, dulkės, purvas, dūmai ir kt. Tokio tipo teršalai daugiausiai kenkia žmogaus sveikatai: kenkia kvėpavimo takų, širdies ir kraujagyslių sistemoms, gali sukelti plaučių vėžį, išvystyti astmą ir t.t.

Sieros dioksidas – SO₂ išskiriamas deginant iškastinį kurą, kuriame yra sieros. Teršalas yra žalingas žmogui, gali dirginti jutiminius organus, būdamas didelės koncentracijos dusinti, turėti įtakos kvėpavimo takų ligomis sergantiems žmonėms. Didelę SO₂ koncentraciją atmosferoje sukelia rūgštinis lietus, kuris kenkia sveikatai, augalams ir pastatams. Rūgštinio lietaus ir rūgštinio rūko sukeliama SO₂ dujų žala labai stipriai jaučiama ilgalaikėje perspektyvoje, kuomet šie veiksniai daro žalą dirvožemiui ir vandeniui.

Azoto oksidai – NO_x atmosferoje atsiranda degimo proceso metu, azoto oksidai dažniausiai yra randami išmetamosiose dujose iš automobilių, autobusų, jėgainių ir t.t. NO_x yra priskiriami prie labai toksiškų medžiagų, jis gali sukelti sunkias kvėpavimo takų ligas bei kenkti ozono sluoksniui. NO₂ kontaktuojant su vandeniu gaunama azoto rūgštis, kuri yra korozinė. Azoto oksidas reaguodamas su vandeniu gali sukelti rūgštinį lietų, kuris yra žalingas augalams, pastatams, tiltams. Taip pat jis teršia vandenį, naikina gyvybę vandens telkiniuose, pasėlius.

Sunkieji metalai – tai santykinai tankūs metalai ar metaloidai, tokie kaip gyvsidabris Hg (dažniausiai sunkieji metalai), kurie yra toksiški ir kenkia aplinkai. Dideli kiekiai sunkiųjų metalų kaupiasi ore, o per jį gali pasiekti vandenį, pasėlius, dirvožemį ir t.t. Taip jie daro žalą žmonių sveikatai ir aplinkai.

Lakieji organiniai junginiai – tai daugybė įvairių organinių junginių, kurie gali būti išskiriami kaip dujos iš tam tikrų kietų ar skystų medžiagų esant žemai temperatūrai. Kvėpavimas šiomis medžiagomis, ypač ilgalaikis, gali pakenkti žmogaus sveikatai.

Anglies monoksidas gali sukelti galvos skausmus, svaigimą, dusimą, didelės CO koncentracijos organizme gali pasibaigti mirtimi [17].

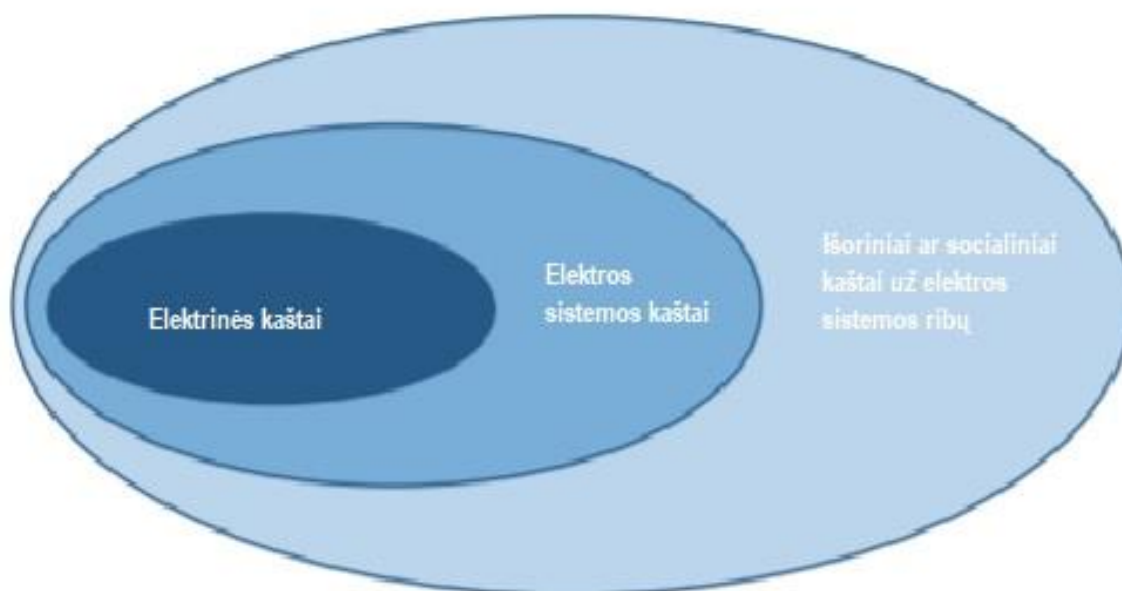
Z. Wang knygoje nėra minimas Pažemio ozonas (O₃), tačiau tai taip pat svarbus oro taršos elementas. Jis tiesiogiai veikia gamtą ir žmogų. Azoto dioksidas ir pažemio ozonas vadinami didžiausią poveikį žmonių sveikatai darančiais teršalais.

Elektros energetika yra vienas iš dinamiškiausių sektorių, kuris nusipelno didžiausio dėmesio dėl savo milžiniškos įtakos prisidedant prie klimato kaitos ir nuolatos energijos gamybos metu teršiamo oro. Keičiantis laikams ir atsiradus naujoms mažiau orui taršioms ir minimalių anglies dvideginio emisijų turinčioms technologijoms, sektoriuje atsiranda konkurencija anksčiau nepakeičiamu laikytam iškastiniam kurui. Iškastinis kuras vis dar yra svarbus, tačiau keičiantis požiūriui į aplinką ir bandant mažinti žalą, svarbu atsižvelgti į tai, kaip sumažinti teršalų emisijas, susidarancias generavimo metu, net jei tai reiškia keisti kuro rūšį ar įpročius iš kardinaliai. Labai svarbu efektyvinti energijos vartojimą ir suskaičiuoti teršalų padarytą žalą. Aplinkosauga dabar yra laikoma didžiausiu energetikos sektoriaus prioritetu, o galimybė sumažinti oro teršalus ir ŠESD emisiją – didžiųjų globalių problemų sprendimu.

2. Išoriniai elektros energijos gamybos kaštai

Energetikos sektoriaus pagrindinis tikslas yra aprūpinti vartotoją energija. Vartotojo aprūpinimas elektros energija yra brangus procesas, kuris susidaro iš kelių skirtingo tipo išlaidų. Tokios išlaidos sektoriuje dar vadinamos elektros energijos kaštais. Yra skiriamos trys skirtingos kaštų kategorijos (žr. 2.1 pav.):

- pirmoji kategorija susideda iš elektrinės, kuri generuoja elektros energiją, kainos. Šią kainą sudaro viskas, kas buvo reikalinga pastatyti šią elektrinę (betonas, plienas, katilai), taip pat į pirmąją kaštų kategoriją yra įtraukiami kuras ir žmogiškieji išteklių, kurie yra reikalingi tam, kad elektrinė galėtų dirbti;
- antroji kategorija apibrėžia elektros (energetinės) sistemos kaštus. Šie kaštai yra susiję su elektros energijos perdavimo ir skirstymo tinklu. Į kaštų kategoriją įtraukiami taip pat ir tinklo balansavimas bei elektros energijos rezervo išlaikymas. Šiai kategorijai priskiriamos elektrinių prijungimo prie tinklo išlaidos, sistemos plėtros ir eksploataciniai kaštai. Jei prie tinklo yra prijungtų atsinaujinančiosius išteklius naudojančių elektrinių, tokių kaip fotovoltinės ar vėjo, yra įskaičiuojami joms skirti papildomo sistemos rezervo kaštai;
- trečioji kategorija yra labai plati, nes jai priklauso visi žmonės ir visuomenė, esanti už elektros energijos sektoriaus ribų, kuriai dėl elektros energijos generacijos ir sektoriaus veiklos yra daromas poveikis. Jiems priskiriama visa oro tarša: vietinė ir regiono mastu. Socialiniai kaštai, kurie taip pat liečia ir skirtingų elektros energijos generavimo technologijų pasirinkimą užtikrinant tiekimo saugumą ir patikimumą. Be to žemės naudojamas, įtaka žmogaus sveikatai ir gyvenimo kokybei [18].



2.1 pav. Išorinių kaštų, susidarančių gaminant elektros energiją, palyginimas su kitų kategorijų kaštais [18]

Elektros energijos kaštus, priskiriamus pirmajai kategorijai, jaučia tik elektrinės savininkas, o šie kaštai yra tiesiogiai susiję su energijos gamyba. Antrosios ir trečiosios kategorijų kaštai apima daugiau nei vieną išlaidas patiriančią sritį. Išoriniai energijos kaštai dažniausiai yra patiriami visuomenės, o ne energijos gamintojo. Už išorinių kaštų ribojimą ir kompensavimą yra atsakingos

valdžios institucijos, sistemos operatorius ir reguliatorius. Šių energijos sektoriaus dalyvių pagrindinis tikslas yra internalizuoti išorinius kaštus bei užtikrinti, kad jie nebūtų perdėti generuojami [18]. Šiam siekiui įgyvendinti yra sukurti instrumentai, kurių pagalba kompensuojami išoriniai elektros energijos kaštai atsirandantys dėl poveikio aplinkai: gamybos standartai, techniniai reguliavimai, taršos mokesčiai, emisijų biržos bei visuomenės švietimas.

Energijos gamybos metu patiriami kaštai yra detalizuojami ir skirstomi į kategorijas. Šios kaštų kategorijos įvardinamos taip: elektrinės kaštai, sistemos kaštai, išoriniai kaštai [19]. Kaštų kategorijas sudarančios subkategorijos padeda geriau atpažinti ir skirstyti kaštus:

1. Elektrinės kaštai:
 - a. kapitaliniai kaštai;
 - b. kuro kaštai;
 - c. regioniniai taršos mokesčiai;
 - d. ne su kuru susijusios elektrinės darbo ir išlaikymo išlaidos, darbuotojų darbo kaina.
2. Sistemos kaštai:
 - a. tinklo išlaidos (skirstomasis, perdavimo);
 - b. balansavimo kaštai;
 - c. rezervo ir per didelio generavimo kaštai.
3. Išoriniai kaštai:
 - a. socialiniai kaštai dėl ŠESD (nevertinant regioninių taršos mokesčių);
 - b. oro teršalų (ne ŠESD) poveikis;
 - c. kraštovaizdžio pokyčiai ir garso poveikis;
 - d. poveikis ekosistemoms ir biologinė įvairovė;
 - e. su radionuklidų emisija susiję išoriniai kaštai.

Elektrinės kaštai dažnai yra vertinami per svertinę elektros energijos kainą – LCOE (*angl. Levelized cost of energy*). LCOE arba svertinės energijos sąnaudos yra energijos vieneto (kilovatvalandės – kWh) ir gamybai reikalingo turto grynosios vertės santykis. Šios sąnaudos vertinamos skirtingomis technologijomis remiantis turto ir įrangos rinkos kainomis.

Lyginant technologijas pagal elektrinės kaštus, įvertinamos yra ir kapitalinės jų išlaidos, apkrovos valandos, kuro kaštai bei gyvavimo trukmė. Tokio tipo kaštų lyginime pirmauja taršiausi, pigų iškastinį kurą, ypatingai anglį, deginančios elektrinės. Kapitaliniai elektrinių kaštai dažnai yra atvirkščiai proporcingi kitiems, su energijos gamyba susijusiems, kaštais, nes pigaus kuro technologija dažnai būna pati taršiausia [19].

Sistemos kaštai pagal savo pobūdį skiriasi nuo elektrinės kaštų ir yra individualūs, o ne technologiniai. Kaštai gali skirtis vertinant skirtingų šalių elektros tinklus ir energetines sistemas. Perdavimo ir skirstymo operatoriai, dirbantys kiekvienos šalies viduje, vertina šiuos kaštus ir remdamiesi savo tinklo eksploatacinėmis galimybėmis juos įvertina. Įtakos sisteminiams kaštams turi ir elektrinės tipas ir galingumas [19].

Išoriniai energijos kaštai iš čia išvardintų kategorijų yra apibrėžiami sunkiausiai. Kaštus įvertinti yra sunku dėl jų neapibrėžtumo, poveikio masto. Jų apskaičiavimas susideda iš įvairių vertinimui įtakos turinčių sąlygų ir metodikų. Yra skiriamos penkios pagrindinės išorinių kaštų subkategorijos.

Socialiniai kaštai dėl ŠESD (nevertinant regioninių taršos mokesčių). Šie kaštai arba žala ir su ja susijusios išlaidos atsiranda dėl iškastinio kuro deginimo. Šio kuro degimo produktų emisijos prisideda prie globalinio atšilimo ir vandenynų bei vandens rezervų rūgštėjimo. Tam, kad būtų įvertinta šio tipo daroma žala yra taikomi integruoto vertinimo modeliai – IAM'as. (*angl. Integrated Assessment Models*). IAM kombinuoja visuotinį ekonominį modelį su esama fizine klimato sistema ir anglies ciklu. Šiuo modeliu remiantis atliekami skaičiavimai ir vertinimas, rezultatai siejami vertinant klimato pokytį, o poveikis monetizuojamas naudojant žalos funkcijas.

Oro teršalų (ne ŠESD) poveikis. Į orą (kaip degimo produktai) išleidžiami elektros energijos gamybos metu susidarantys teršalai, labiausiai kenkiantys orui, vandeniui ir dirvožemiui. Neigiamas aplinkos poveikis daugiausiai turi įtakos žmogaus sveikatai, taip pat pasėliams, pastatų konstrukcijoms bei bendrai gamtai. Žala žmogaus sveikatai yra laikoma pagrindiniu oro teršalų poveikiu, o tai lemia ir didžiausią skiriamą dėmesį šiai poveikio grupei. Vertinant šiuos išorinius kaštus ir remiantis poveikio – žalos funkcijomis yra apskaičiuojama daroma žala visoms poveikio grupėms.

Kraštovaizdžio pokyčiai ir garso poveikis. Elektros energijos gamybos metu elektrinė žmogui gali daryti neigiamą poveikį ir dėl savo vizualumo ar padarinių kraštovaizdžiui. Gaminant elektros energiją elektrinėse, gamybos metu yra skleidžiamas garsas, kuris taip pat gali neigiamai veikti žmogų. Atliekant įvairaus tipo studijas ir tyrimus tiksliai šio poveikio vertės nustatyti nėra įmanoma, tačiau galima preliminariai įvertinti žmonių savijautą ir požiūrį. Tai yra daroma apklausomis, kurių principas paremtas žmogaus susitaikymu su esama situacija ar papildoma pinigų suma, kurią jis skirtų, ar atvirksčiai sutiktų sutaupyti, gyvenant tokiomis sąlygomis, kurias sukelia šalia esanti elektrinė.

Poveikis ekosistemoms ir biologinė įvairovė. Plečiant energetikos infrastruktūrą yra sukuriama išoriniai poveikio ekosistemoms ir biologinei įvairovei kaštai. Šių kaštų principas remiasi tinko plėtra ir naujų vietų, kuriose statomos elektrinės, įkūrimu. Dažnu atveju statant naują elektrinę yra sunaikinama viskas, kas toje vietoje augo ir gyveno, o tai pasižymi tam tikrų gyvūnų ar augalų rūšių naikinimu ar gyvenimo sąlygų apsunkinimu. Ši išorinių kaštų subkategorija ypatingai yra aktuali biokurą deginančioms elektrinėms.

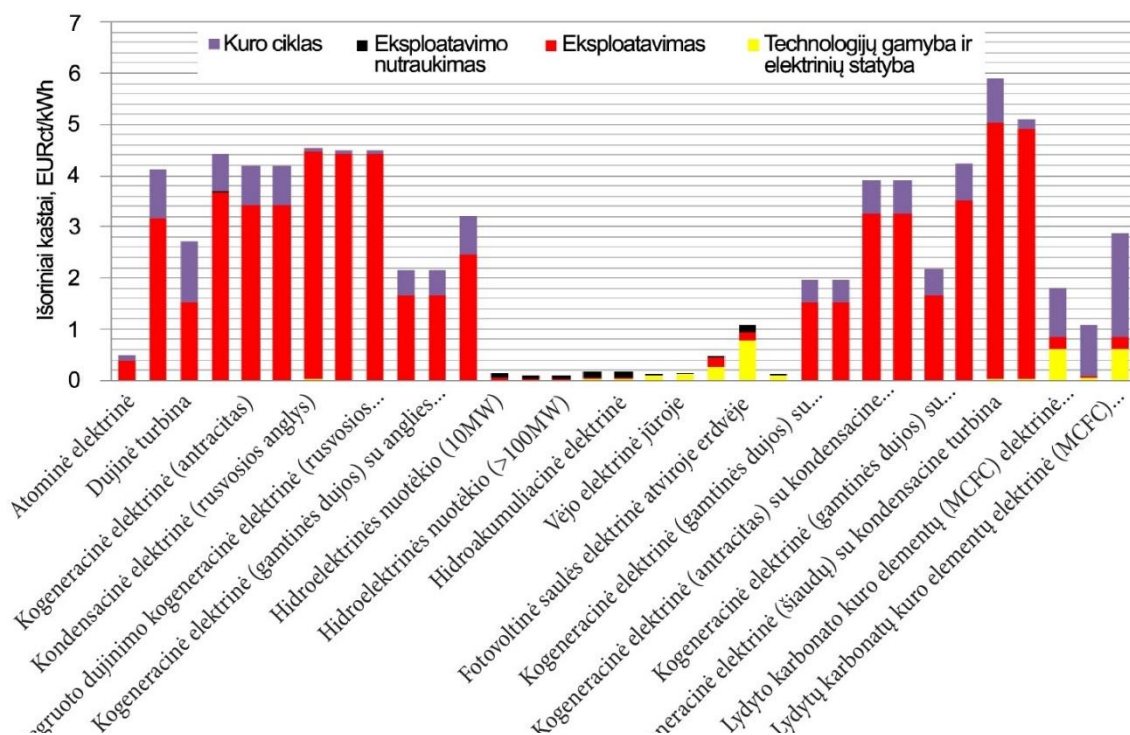
Su radionuklidų emisija susiję išoriniai kaštai. Su radionuklidų emisija susiję išoriniai kaštai būdingi tik branduolinėse elektrinėse. Skaičiuojant šio poveikio žalą yra įvertinama poveikio dėl nelaimingų nutikimų galimai sukurta žala, taip pat panaudoto kuro laidojimo ir šalinimo išlaidos. Šie kaštai unikalūs ir yra taikomi tik vieno tipo elektrinėse [19].

K.W. Kapp, B. Barsma ir J.G. Lamboy teigia, kad išorinius kaštus energijos gamyboje bei pramonėje įvertinti yra būtina. Netinkamas šių kaštų įvertinimas gali lemti netinkamus įmonės ar energijos gamintojo priimamus sprendimus nustatant gamybos apimtį [20,21]. Pasak T.Tietenberg'o, gamybos metu susidarantys neigiami išoriniai poveikiai sąlygoja bei jų netinkamas įvertinimas lemia, kad prekių ar produktų, kurių gamybos rezultatas yra išoriniai kaštai, bus pagaminta per daug. Jei tokio tipo išorinius kaštus, būtų įmanoma integruoti į gamybos procesą, prekės kaina išaugtų, o jos paklausa ir pasiūla atitinkamai sumažėtų [22]. Svarbu yra įvertinti išorinį poveikį, nes dėl šio poveikio atsirandantys kaštai turi įtakos įmonės sprendimams. Jei įmonė šių kaštų neįvertins, jos sprendimai visuomenės atžvilgiu gali būti neteisingi ir nuostolingi.

Apie išorinių kaštų integravimą į pilnus energijos gamybos kaštus kalba P.Rafaj ir S.Kypreos. Šių mokslininkų požiūriu remiantis galima suprasti, koks svarbus tai yra procesas norint sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, atsirandantį dėl energijos gamybos ir vartojimo. Gamintojai ir įmonės, atsakingos už išorinių kaštų generavimą, neturi paskatų integruoti šiuos kaštus ar įtraukti juos į savo gamybos kaštus. Taip pat šie kaštai neturi įtakos jų gamybos kiekio mažinimui. Išorinius kaštus generuojančiai įmonei svarbu neperžengti aplinkosauginių įstatymų bei numatytų emisijų limitų. Įmonė dažnu atveju nevertina tolimesnės rizikos ir daromų nuostolių dėl poveikio į aplinką. Tokio tipo poveikius ir dėl jų sukuriamus išorinius kaštus yra svarbu įvertinti bei naudojant ekonominius instrumentus svarbu kaštus integruoti į prekių kainą. Šį procesą turėtų prižiūrėti ir užtikrinti sektorių reguliuojančios institucijos [23].

Elektros energijos gamybos metu atsirandančių išorinių kaštų integravimas į elektros energijos kainą išlieka dideliu iššūkiu. Šių neigiamų poveikių kompensavimas ar išvengimo galimybė leistų padidinti atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo elektros energijos gamybai patrauklumą. Noras ar galimybė išvengti šių kaštų gali skatinti keisti kurą ar technologijas gaminant elektros energiją. A.Owen'as teigia, kad jei energetikoje šimtu procentų vadovautumėmės rinkos principu, literatūroje sutinkamu principu įvardinama rinkos „Nematoma ranka“ negali užtikrinti darnios energetikos plėtros. Mokslininkas išorinius kaštus įvardina kaip pagrindinį rinkos barjerą, kuris stabdo atsinaujinančių išteklių naudojimą ir plėtrą. Šis barjeras gali būti pašalintas ir įveiktas integruojant išorinius kaštus į didelį poveikį aplinkai darančių tradicinių energijos gamybos būdų elektros energijos kainą [24].

Elektros energijos šaltinių ciklo kaštai šiuo metu yra laikomi svarbiausiu kriterijumi priimant sprendimus elektros energetikos sektoriuje. Vertinant elektros energijos šaltinių ciklo kaštus, turėtų būti įvertintas elektros energijos šaltinių poveikis žmonių sveikatai bei aplinkai dėl atmosferos taršos ir klimato kaitos. Pagal ExternE metodiką, kurią apibrėžė Europos Sąjunga, buvo vertinami vidutiniai išoriniai kaštai elektros energijos gamybos metu skaičiuojant teršalų emisijas ir jas monetizuojant [25].



2.2 pav. Išoriniai kaštai elektros energijos gamybos cikle, kaštų struktūra pagal keturis etapus [25]

Vertinant išorinius kaštus pagal pagrindines poveikio sritis bei skirstant gamybos šaltinių išorinius kaštus pagal šių kaštų struktūrą, palygintos skirtingos technologijos. Skiriami keturi pagrindiniai energijos šaltinio ciklo etapai: kuro ciklas, eksploatavimo nutraukimas, eksploatavimas ir elektrinės statyba. Šių kaštų lyginamoji apžvalga pateikta 2.2 paveiksle.

Lyginant išorinius elektros energijos šaltinių kaštus pagal keturis pagrindinius ciklo etapus matoma, kad mažiausiai išoriniais kaštais pasižymi atsinaujinančius energijos išteklius naudojančios elektrinės: hidroelektrinės bei vėjo elektrinės. Jų išorinius kaštus daugiausiai sudaro technologijų gamybos ir eksploatavimo nutraukimo kaštai. Aukščiausiai išoriniais kaštais pasižymi kogeneracinės elektrinės su kondensacine turbina, deginančios šiaudus bei medienos drožles ar elektrinės, deginančios anglį. Tokio tipo elektrinių kaštus sudaro eksploatavimo metu susidarantys išoriniai kaštai – daugiausiai dėl į aplinką išmetamų teršalų. Atominių elektrinių išoriniai kaštai yra mažesni už visų organinių kurą deginančių elektrinių, tačiau aukštesni už tradicinių atsinaujinančių elektrinių kaštus.

Poveikio aplinkai įvertinimas elektros energijos gamyboje išlieka vienu svarbiausiu, tačiau sudėtingiausiu apibrėžti ir įvertinti procesu. Neįvertinti kaštai didina našą visuomenei ir elektros energijos vartotojams, o pagrindiniai šių kaštų sukėlėjai šių kaštų neįvertina kaštų kompensavimą palikdami visos visuomenės atsakomybėje. Didžiausias iššūkis dabartinės energetikos sektoriuje yra tiksliai įvertinti išorinius kaštus naudojant jau išbandytas metodikas. Svarbiu iššūkiu išlieka šių kaštų integravimas į elektros energijos kainą bei kaštų padengimo atsakomybės klausimas. Nuolat tobulėjanti technologija turi įtakos išorinių kaštų mažėjimui ir tikslesniam įvertinimui. Tinkamai įvertinti kaštai gali prisidėti prie aplinkos apsaugos nuo teršalų emisijų gamybos metu mažinimo, naujų gamybos būdų skatinimo.

3. Skirtingų elektros energijos gamybos technologijų išorinių kaštų palyginimas

Elektros energijos gamybos metu susidarantys išoriniai kaštai, kurie turi įtakos klimato kaitai, susidaro dėl ŠESD emisijų. Elektros energijos gamybos metu išmetamų kitų ŠESD teršalų intensyvumas matuojamas gramais CO₂ ekvivalento. Matavimo vienetas (gCO₂eq)/MWh tinka matuojant ir lyginant skirtingų dujų emisijas. 3.1 lentelėje pateiktos skirtingų elektros energijos gamybos technologijų ŠESD emisijos. Emisijų duomenys pateikiami kiekvienai iš technologijų, vertinant atskirais technologijos gyvavimo etapais ir bendroju ciklo gyvavimo emisijos dydžiu.

3.1 lentelė. ŠESD emisijos skirtingoms elektros energijos generavimo technologijoms [26]

Technologija	Tiesioginė teršalų emisija (gamybos metu)	Infrastruktūros ir tiekimo grandinės emisijos	Biogeninės CO ₂ emisijos	Metano emisijos	Gyvavimo ciklo emisijos
	Min/Mediana/Max	Reikšmės			Min/Mediana/Max
Anglies deginimas	670/760/870	9,6	0	47	740/820/910
Gamtinių dujų deginimas	350/370/490	1,6	0	91	410/490/650
Biomasė (bendrasis deginimas)	-	-	-	-	620/740/890
Biomasė (tiesioginis deginimas)	-	210	27	0	130/230/420
Geotermija	0	45	0	0	6/38/79
Hydroenergija	0	19	0	88	1/24/2200
Atominė energija	0	18	0	0	3,7/12/110
Koncentruota saulės energija	0	29	0	0	8,8/27/63
Saulės energija (ant stogo)	0	42	0	0	26/41/60
Saulės energija (pramoninė)	0	66	0	0	18/48/180
Vėjo energija (žemyninė)	0	15	0	0	7/11/56
Vėjo energija (jūrinė)	0	17	0	0	8/12/35

Remiantis 3.1 lentelės duomenimis galima pastebėti, jog iškastinio kuro deginimo elektrinės vienintelės pasižymi tiesiogine ŠESD emisija, kuri atsiranda energijos gamybos metu. Taip pat tokio tipo elektrinės turi didžiausias emisijas per visą gyvavimo ciklą. Atsinaujinančios energijos šaltiniai, tokie kaip vėjas ir saulė, turi mažas gyvavimo ciklo ŠESD emisijas, o didžiausią turimų emisijų dalį sudaro infrastruktūros ir tiekimo grandinės emisijos, kuriomis pasižymi visos skirtingos technologijos.

Skirtingos elektros energijos technologijos, turi skirtingą poveikį aplinkai. Roberto Turconi, Alessio Boldrin ir Thomas Astrup savo analizėje pateikia įvairių skirtingų energijos generavimo technologijų viso gyvavimo ciklo daromos žalos aplinkai įvertinimą. Pats elektrinių gyvavimo ciklas vertinamas iš trimis etapais:

- 1) kuro išgavimo etapas (nuo kuro išgavimo iki jo patiekimo iki elektrinės);
- 2) elektrinės darbas (visas eksploatavimas ir priežiūra įskaitant ir atliekų šalinimą);
- 3) infrastruktūros etapas (paleidimas ir eksploatavimo nutraukimas).

Skirtingų technologijų gyvavimo ciklo oro teršalų ir CO₂eq išmetimai pateikiami 3.2 lentelėje. Emisijos pateikiamos, kilogramais vienai, ta technologija pagaminamos elektros energijos megavatvalandei (kg/MWh).

3.2 lentelė. Elektros energijos gamybos technologijos ir susidarančių teršalų emisijos [27]

Energijos šaltinis	CO ₂ -eq	NO _x	SO ₂
Elektros energijos gamyba [kg/MWh]			
Akmens anglis	660-1050	0,3-3,9	0,03-6,7
Lignitas (Rusvoji anglis)	800-1300	0,2-1,7	0,6-7
Gamtinės dujos	380-1000	0,2-3,8	0,01-0,32
Nafta	530-900	0,5-1,5	0,85-8
Atominė energija	3-35	0,01-0,04	0,003-0,038
Biomasė	8,5-130	0,08-1,7	0,03-0,94
Hydroenergija	2-20	0,004-0,06	0,001-0,03
Saulės energija	13-190	0,15-0,40	0,12-0,29
Vėjo energija	3-41	0,02-0,11	0,02-0,09

Iš pateiktų atliktos analizės (*Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations* [27]) duomenų galima dar detaliau apžvelgti skirtingas technologijas ir remiantis jų teršalų emisijomis tiesiogiai sieti jas su išoriniais energijos gamybos kaštais.

Akmens anglis ir lignitas (rusvoji anglis) laikomi vienais pagrindinių teršalų. Remiantis atliktu tyrimu akcentuojama, jog šių technologijų didžiausios emisijos yra fiksuojamos kuro deginimo etape. Dalis visos teršalų emisijos kiekio yra anglies išgavimo bei transportavimo etapuose. NO_x ir SO₂ emisijos vertinant skirtingas studijas rodė skirtingus rezultatus, todėl sunku tiksliai įvertinti oro taršą, nes pačios elektrinės yra labai skirtingos: senųjų elektrinių emisijos didesnės, naujesnių – mažesnės. Didelė dalis vertintų elektrinių išmetė didžiulius kiekius šių medžiagų. Emisijos siekia 2 – 4 kg NO_x/MWh ir 2 – 7 kg SO₂/MWh per visą gyvavimo ciklą, nors praktiškai beveik visas kiekis išmetamas kuro degimo metu.

Vertinant gamtines dujas kaip kurą, verta paminėti, kad kuro tiekimas sudaro virš 30 % visų technologijos išmetamų ŠESD. Šiam skaičiui įtakos turi metano dujos, kurių emisijos atsiranda išgavimo ir transportavimo etapuose. Apie 10 % gamtinių dujų yra sunaudojama degalų gavybai ir transportavimui. Suskystintos gamtinės dujos turi didesnes teršalų emisijas nei nesuskystintos. Taip yra dėl suskystinimo proceso, kuris leidžia transportuoti kurą dideliais atstumais. NO_x ir SO₂ emisijos daugiausia pasireiškia kuro transportavime, o NO_x ir kuro deginimo – elektrinės darbo etape. SO₂ išmetimas dujų tiekimo etape gali siekti 80 – 90 % viso elektros energijos gamybos ciklo išmetimų. Gamtinės dujos pasižymi dideliu NO_x ir sąlyginai mažu SO₂ teršalų išmetimu į aplinką kuro deginimo metu.

Analizuojant naftą ir jos produktus kaip energijos šaltinį, kuris naudojamas elektros energijos gamyboje, ŠESD ir NO_x emisijos daugiausiai siejamos su pačios elektrinės darbo etapu. Šio etapo metu kuras yra deginamas, o degimo produktuose randami dideli kiekiai šių teršalų. Kuro tiekimo (išgavimas, paieška, transportavimas t.t.) etape išskiriama SO₂ emisija, kuri ji sudaro apie 20 % viso gyvavimo ciklo SO₂ išmetimų. Energijos panaudojimo koeficientas yra vienas svarbiausių parametru

elektros energijos generavima vertinant ŠESD emisijas iš naftos. Didesnio efektyvumo elektrinės išmeta sąlyginai mažesnį kiekį ~530 kg CO₂eq/MWh, kai dažniau pasitaikančios, mažai efektyvios elektrinės išmeta daug didesnius kiekius 750 – 900 kg CO₂eq/MWh. NO_x ir SO₂ emisijos elektrinės darbo metu daugiausiai priklauso nuo to, kiek moderni ir kokiomis oro išmetimo valymo sistemomis (skruberiais) yra aprūpinta jėgainė. Be šių sistemų senųjų elektrinių emisijos gali siekti 1,5 kg/MWh NO_x ir 6 – 8 kg/MWh SO₂.

Atominė energija pasižymi sąlyginai maža NO_x ir SO₂ emisija, kuri daugiausiai pasireiškia kuro – urano išgavimo procese. Didžiausios emisijos elektros energijos generacijos iš atominės energijos pasireiškia per ŠESD. Priklausomai nuo urano sodrinimo metodo ŠESD emisijos gali svyruoti nuo 3,1 – 35 kg CO₂eq/MWh. Taip pat ŠESD emisijos, susijusios su infrastruktūra, privalo būti vertinamos, nes pastarosios, pasak atliktos analizės autorių, sudaro 20 – 30 % visų ŠESD emisijų elektros energijos gavyboje, kai NO_x ir SO₂ čia gali būti visai nevertinamos.

Analizuojant hidroenerziją ir elektros gamybą naudojančias hidroelektrines, išskiriami du pagrindiniai elektrinių tipai: bėgančių upių sistemos ir sistemos su užtvankomis – rezervuarais. Atitinkamai ŠESD emisijos abiem šioms technologijoms yra 2 – 5 kg CO₂eq/MWh ir 11 – 20 kg CO₂eq/MWh. Didesnis ŠESD emisijos, ypač metano, yra pastebimos elektrinėse su užtvankomis – rezervuarais. Tam įtakos turi aneorobinis užtvanktų organinių medžiagų dekompostavimas. Šios emisijos stipriai priklauso nuo klimato, užtvankos dydžio, vandens gylio. Tokio tipo emisijos gali siekti vos 30 kg CO₂eq/MWh šiaurės šalyse, pvz. Suomijoje – iki 340 kg CO₂eq/MWh, taip pat Brazilijoje. SO₂ ir NO_x emisijos elektros energijos gamyboje naudojant hidroenerziją labai mažos ir siejamos su užtvankų ir elektrinių statyba, infrastruktūra.

Elektros energijos gamyba iš saulės energijos pasižymi labai įvairiu ir svyruojančiu ŠESD išmetimu. Pastarasis svyruoja nuo 13 – 130 kg CO₂eq/MWh. Toks svyravimas atsiranda dėl elektros energijos naudojamų elektrinių gamybos procese, skirtingų modulių tipų bei klimato sąlygų, kuriose elektrinės yra montuojamos. Panašiai galima vertinti ir SO₂ bei NO_x emisijas, kurios, priklausomai nuo vietos ir gamybos subtilybių, gali svyruoti nuo 0,15 – 0,40 kg NO_x/MWh ir 0,12 – 0,29 kg SO₂/MWh. Bendrai vertinant ir lyginant, saulės energetika, kaip ir kitos atsinaujinančių elektros energijos šaltinių gamybos technologijos, turi mažas teršalų ir ŠESD emisijas.

Vėjo energetika pasižymi dar mažesnėmis emisijomis nei saulės energetika, šiuo atveju daugiausia ŠESD išmetama vėjo turbinų medžiagų gamyboje ir pačių turbinų statybose. Emisijos svyruoja 3 – 28 kg CO₂eq/MWh, priklausomai nuo elektros energijos, naudojamos gamybos procese. SO₂ ir NO_x emisijos yra ganėtinai mažos ir atsiranda iš pačių elektrinių gamybos proceso. Jos svyruoja nuo 0,02 iki 0,04 kg SO₂/MWh bei 0,02 – 0,06 kg NO_x/MWh [27].

Iš visų technologijų labiausiai išsiskiria atsinaujinančio energetikos technologijos, kurios pasižymi ypatingai maža tarša per visą gyvavimo ciklą lyginant su kitais energijos gamybos šaltiniais. Atsinaujinanti energetika, remiantis atliktos technologijų analizės duomenimis, beveik neišmeta ŠESD, o dalis, kuri yra išmetama, yra sukuriama elektrinių gamybos ar eksploatavimo pabaigos (uždarymo) etapų metu. Taip pat elektros energija iš atsinaujinančių energijos šaltinių, tokių kaip vėjas ar saulė, turi mažą NO_x ir SO₂ emisiją, kuri kitų tipų elektrinėse, ypač iškastinį kurą deginančiose elektrinėse, yra didelė. Biokuras laikomas taip pat vienu iš švarių energijos gamybos rūšių. Energijos gamybos metu sukuriama CO₂ emisija yra nevertinama ir, o skaičiuojant biokuro taršą, emisiją visada laiko lygia nuliui. Oro teršalų emisijos taip pat nėra didelės. Atsinaujinančių

energijos gamybos technologijų spartaus plitimo stabdymas yra paremtas technologijos naujumu, taip pat esamų iškastinio kuro infrastruktūrų išplitimu bei sąlyginai didesniais energijos gamybos kaštais (nevertinant išorinių kaštų).

Apibendrinant skirtingų energijos generavimo šaltinių gyvavimo ciklo analizę galima teigti, kad nėra vieningos nuomonės ar vieno tikslaus emisijos skaičiaus, kurį galima būtų taikyti kiekvienai iš technologijų. Tai apsunkina išorinių kaštų įvertinimą. Tradiciniai iškastinio kuro ir atsinaujinantys elektros energijos generavimo šaltiniai yra analizuojami ir lyginami skirtingai. Dauguma šalių vertina kaštus savo šalies viduje, o jei atliekamas išorinių kaštų vertinimas, ne visada įvertinami visi kriterijai. Rezultatai taip pat stipriai priklauso nuo šalių pažangos ir išsivystymo lygio, tinklo efektyvumo, geografinės padėties ir klimato sąlygų.

Dallas Burtaw ir Alan Krupnick savo apibendrinamojoje studijoje – „Tikroji elektros energijos kaina“ (angl. „True cost of electric power“ [28]) vertina įvairių elektros energijos gamybos technologijų išorinius kaštus. Juos vertina analizuodami kitų šalių patirtį, atliktas studijas šalių viduje bei stebėdami kitų mokslininkų vertintus išorinius kaštus. Apibendrinimą jie atlieką skaičiuodami skirtingų šalių technologijų duomenis kaupiant bei lyginant su kitų šalių duomenimis. Dėl tyrimo apimties, skirtingų vertinimo metodikų ir kitų priežasčių, išoriniai kaštai yra labai plačiame diapazone, ir yra pateikiami kaip rėžiai, kuriuose atitinkamų technologijų kaštai gali svyruoti. Nepaisant to, tai padeda matyti esamą situaciją ir tendencijas tarp technologijų. Tai nėra konkreto tiksliai analizei, kurią galima atlikti tik konkrečiai vietai, o pateikiami duomenys būna apibendrinti. Autorių analizės rezultatai pateikiami 3.3. lentelėje. Rezultatai aprašo pagrindines elektros energijos gamybos technologijas, nagrinėtus šių technologijų atvejus bei elektros energijos gamybos išorinius kaštus tai technologijai.

3.3 lentelė. Vidutiniai skirtingų technologijų išoriniai elektros energijos gamybos kaštai (EURct/kWh) [28]

	Anglis	Nafta	Gamtinės dujos	Branduolinė energija	Hidro energija	Vėjo energija	Saulės energija	Biokuras
Nagrinėtų atvejų skaičius	36	20	31	21	16	18	11	22
Minimali reikšmė	0,01	0,04	<0,01	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Maksimali reikšmė	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	4,5	0,41	1,12	6,62
Mediana	8,54	12,19	3,51	1,08	0,43	0,43	1,02	3,59

Apibendrintoji studija aprašo aštuonias pagrindines elektros energijos generavimo rūšis. Studijoje pateikiami išorinių energijos kaštų dydžiai kiekvienai iš jų. Mažiausiais išoriniais kaštais pasižymi vėjo energetika, kurios kaštų vidurkis siekia 0,41 EURct/kWh, didžiausi – anglų deginančių elektrinių, jie siekia iki 18,75 EURct/kWh. Biokurą ir gamtines dujas deginančių elektrinių išorinių kaštų vidurkis yra labai artimas, nors šių dviejų skirtingų energijos gamybos rūšių principai yra skirtingi.

Biokuro vidutiniai išoriniai kaštai siekia 6,62 EURct/kWh, o gamtinėmis dujomis kūrenančių elektrinių – 6,17 EURct/kWh

Išorinių kaštų tikslus įvertinimas yra svarbus, nes priimant sprendimus energetikoje yra naudinga žinoti konkrečios technologijos daromą poveikį aplinkai ir sukuriama socialinę žalą. Turint tokius duomenis, valstybė ir sektoriaus reguliatorius gali geriau suprasti, kaip veikia energetinė sistema, tinkamai paskirstyti skatinimo priemones, taršos ir reguliavimo mechanizmus. Žinant tikslus išorinius energijos gamybos kaštus ir sugebant integruoti juos į energijos kainą, atsiranda galimybė ne tik skaičiuoti tikrąją kainą įvertinant oro teršalų poveikį žmogaus sveikatai, bet ir skatinti taršos aplinkai mažinimą.

Mažiau taršios energetikos plėtra, technologijos tobulėjimas, švarių, aplinką tausojančių techninių sprendimų plėtojimas yra neįmanomas be lygiagrečiai tobulėjančios socialinių – ekonominių tyrimų srities. Didelė dalis šios srities tyrimų sieja energetiką ir aplinką, kelia iškastinio kuro baigtumo klausimą. Išorinių kaštų įvertinimas energijos gamyboje yra viena iš šio mokslo sričių?. Tokio tipo vertinimas yra skatinamas nuolatinio energijos gamybos ir vartojimo. Tam, kad įvertinimas būtų kuo tiksliau atliktas, remiantis statistiniais duomenimis turi būti nuolat tobulinama vertinimo metodika ir principai.

4. Išorinių energijos gamybos kaštų vertinimo metodika

Aprašyti vieningos išorinių energijos gamybos kaštų vertinimo bei apskaičiavimo metodikos yra neįmanoma. Daugėjant dėmesio aplinkos apsaugai, kuri skiria šalys, formuodamos savo politiką, yra sukuriama naujų, tikslių ir plačiau pritaikomų kaštų skaičiavimo būdų. Vienas tokių būdų, laikomų pagrindiniu ir plačiausiai naudojamu Europos Sąjungoje, yra ExternE metodika.

ExternE – energetikos sektoriuje yra gerai žinomas akronimas, reiškiantis energijos išorinius kaštus (*angl. External Costs of Energy*), taip pat šiuo vardu vadinama ir viena labiausiai paplitusių išorinių kaštų įvertinimo metodikų. ExternE – tai didelio masto mokslinė programa, įtraukianti ir jungianti daug pavienių ar jungtinių projektų, orientuotų į išorinius kaštus. Pirmieji projektai, esantys programoje, siekia 1990-uosius metus. Pagrindinės ExternE metodikos sukūrimo priežastys yra kilusios iš didėjančio energijos poreikio problemos ir atsirandančių diskusijų dėl energetikos poveikio aplinkai bei ekonomikai. Europos Komisija ir JAV Energetikos departamentas išoriniais kaštais energetikoje pradėjo domėtis 1990-taisiais. Tuo metu išorinių kaštų sąvoka jau kurį laiką buvo apibrėžta ekonomikoje, tačiau buvo labai mažai duomenų ir atliktų tyrimų vertinant išorinius kaštus, susijusių su energijos gamyba bei jos poveikiu aplinkai. Dėl šios priežasties buvo inicijuotas jungtinis mokslinių tyrimų projektas, kurio užduotis padėti įvertinti su aplinkosauga susijusius išorinius kaštus energetikoje. Pirminis tikslas buvo sukurti bendrinę išsamią metodiką [29,30].

Pagrindinis ExternE projekto tikslas – sugalvoti, kaip įvertinti išorinius kaštus bei sugebėti įvardinti ir įvertinti pagrindines žalas, kylančias iš energijos vartojimo ir gamybos procesų. Išoriniai kaštai susidaro, kai vienu žmonių grupės socialinė – ekonominė veikla daro poveikį kitai grupei žmonių ir kai tas poveikis nėra pilnai apskaitytas ar kompensuotas pirmosios grupės. Praktiškai šį apibrėžimą aiškina dažnai naudojamas pavyzdys:

Egzistuoja gamykla, kuri savo gamybos metu į orą išmeta SO₂ teršalus. Šios SO₂ emisijos per laiką daro žalą pastatams ir žmonių sveikatai, o toks poveikis aplinkai yra laikomas išoriniais kaštais. Taip yra todėl, kad žala, kuri yra padaroma pastatų savininkams ar tiems, kas kenčia nuo sveikatos sutrikimų, kuriuos, iš dalies ar pilnai, sukėlė SO₂ emisijos, nėra apskaityta gamyklos gamybos kaštuose. Gamyklos daroma žala ir su ja susiję kaštai laikomi išoriniais, nes gamykla jų nevertina, o juos padengia visuomenė. Gamyklos savininkas, priimdamas savo įmonės sprendimus, pastarųjų nevertina.

Internalizacija (*angl. Internalisation*) – neigiamų reiškinio padarinių kompensavimas šį reiškinį sukėlusio dalyvio pastangomis ir/ar lėšomis.

ExternE metodika nagrinėja bei nurodo išorinių kaštų apskaitymo ir įtraukimo būdus juos internalizuojant. Metodikoje pateikiami sprendimai siūlant ekologinius mokesčius, apmokestinant išorinius kaštus kuriantį kurą ar technologijas. Tokiu atveju anglies kurą deginanti elektrinė, kurioje gaminama elektros energija, savo gamybos kaštuose atspindėtų ir išorinius kaštus, o poveikis aplinkai būtų įvertinimas. Iš tokio tipo elektrinės perkama elektros energija didžiojoje dalyje Europos šalių padidėtų papildomai 2 – 7 EUR ct/kWh. Metodika taip pat nurodo tokio sprendimo pašalinį teigiamą poveikį – naujų ir švirių technologijų atsiradimą keičiant senąsias, taip pat tokių technologijų skatinimą ir subsidijavimą [29].

ExternE metodika vertina septynias pagrindines žalos rūšis, svarbiausios jų yra žmogaus sveikata ir poveikis agrokultūroms. Ši metodika taip pat naudojama vertinant įtaką klimato kaitai dėl ŠESD

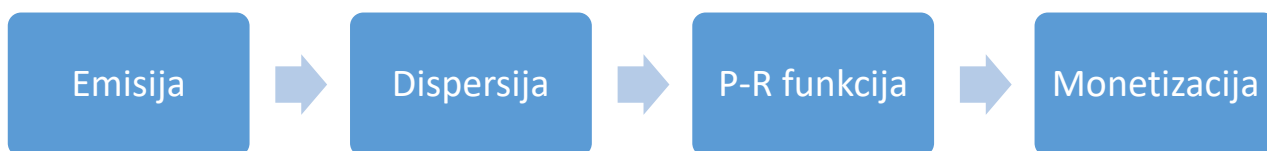
emisijų visuotiniu mastu, tačiau didžiulis neužtikrintumas susijęs su duomenimis ir jų įvertinimo tikslumas apsunkina tai, jog poveikį klimato kaitai įvertinti yra daug sunkiau nei kitas žalas. Taip pat žalos kaina už daromą poveikį ekosistemoms ir klimato kaitai yra labai neapibrėžta t.y. neįmanoma tiksliai įvertinti rėžių, ribinių ir bendrųjų verčių pinigine išraiška, kurie būtų sutaupomi išvengiant tam tikro poveikio šiose srityse. Todėl klimato kaitos vertinime ExternE dažniausiai naudojama kaip alternatyvi, antrosios nuomonės metodika ir specializuojasi ties oro taršos daromos žalos įvertinimu [29]. ExternE metodika remiasi poveikio įvertinimo metodu (*angl. Impact Pathway Approach*), metodo principas yra identifikuoti poveikius aplinkai deginant tam tikros rūšies kurą, įvertinti poveikio žalą vienetais, o gautą žalą apskaičiuoti piniginiu vienetu – monetizuoti. Žemiau pateikiamos pagrindinės principinės ExternE metodikos naudojimo pakopos [31]:

- konkrečios veiklos bei proceso aprašymas ir įvertinimas. Aplinkos ir vietos, kurioje vyksta procesas, įvertinimas. Svarbių poveikio kategorijų ir kaštų įvardinimas;
- daromos žalos efekto ar poveikio apskaičiavimas įvertinant jį fiziniais vienetais. Poveikis matuojamas ir vertinamas atliekant palyginimą tarp esamos aplinkos ir vietos, jei ši veikla nebūtų vykdoma, vertinant ir ne dėl matuojamo proceso susidariusią jau esamą žalą;
- poveikio monetizavimas siejant jį su išoriniais kaštais;
- neapibrėžtumų ir sąlygų kitimo įvertinimas, jautrumo analizė;
- rezultatų analizė, išvadų pateikimas.

Ši metodika aprašo visus aktualius išorinius efektus, tačiau tam tikrose kategorijose vis dar susiduriama su neužtikrintumais ir trūkumais. Iš visų susidarantių kaštų rūšių poveikis aplinkai ir kaštai, susiję su žmogaus sveikata, užima didžiausią dalį. Jiems vertinti ir nagrinėti yra skiriama daugiausiai dėmesio bei šie skaičiavimai yra įvertinti detaliausiai. Poveikis ExternE metodikoje skirstomas į tris pagrindines grupes[31]:

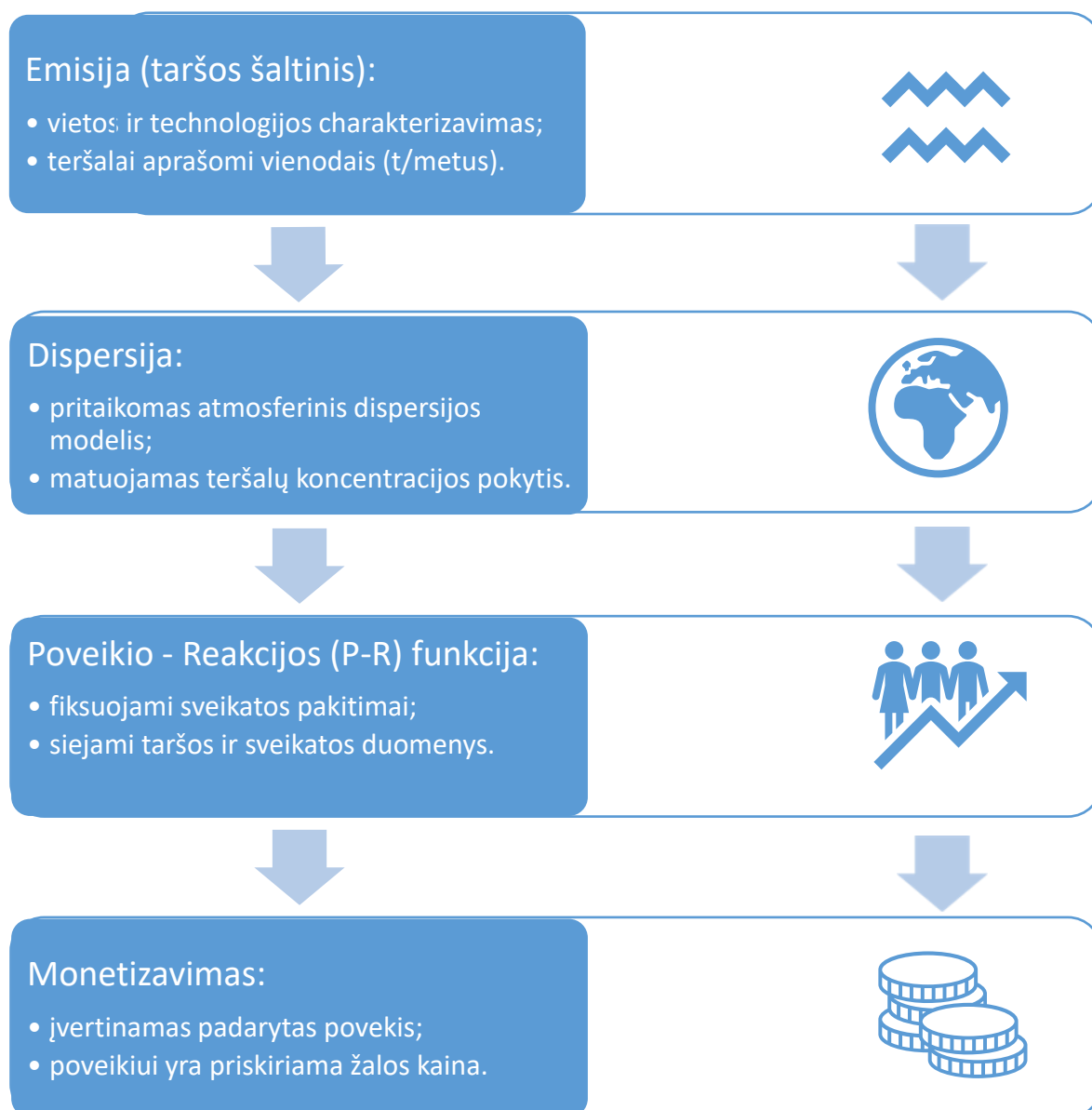
- aplinkosauginis poveikis (poveikis aplinkai);
- klimato kaitos poveikis;
- avarijos ir nelaimingi atsitikimai.

Naudojant šią metodiką yra nagrinėjamas elektros energijos gamybos metu daromas poveikis aplinkai ir dėl šio poveikio susidarantys išoriniai kaštai. Elektrinių poveikis aplinkai yra apibrėžiamas kaip tam tikrų medžiagų ar energijos skleidimas į aplinką (oras, dirvožemis ar vanduo). Metodika naudoja poveikio įvertinimo principą – IPA (*angl. Impact Pathway analysis*), kuris padeda įvertinti daromą žalą. IPA principas susideda iš keturių pagrindinių etapų, šis principas pateiktas 4.1 paveiksle [31].



4.1 pav. Poveikio įvertinimo principas (keturi pagrindiniai etapai)

Detalizuojant 4.1 paveiksle esantį IPA principą, kiekvieną iš etapų galima konkretizuoti nurodant pagrindinius veiksmus, atliekamus šiame etape. Toks aprašytas poveikio įvertinimo metodo algoritmas pateikiamas schemoje 4.2 paveiksle [31].



4.2 pav. Detalizuotas IPA metodo algoritmas

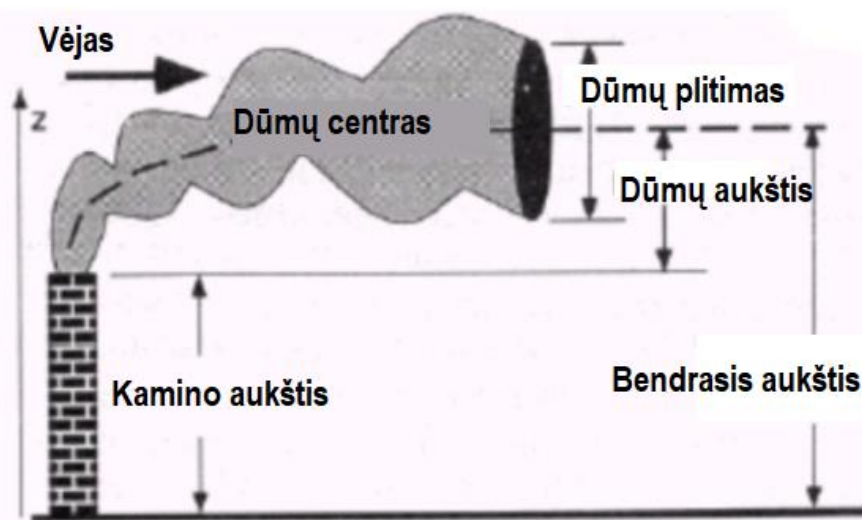
Sudėtingiems procesams, tokiems kaip elektros energijos gamyba, žalos aplinkai kaštai, yra vertinami išsiaiškinus teršėją, kurio procesas veikia tiriamą sritį. Tai daroma charakterizuojant pačią vietą, kurioje teršalai yra išmetami, ir sritį, kurią jie veikia. Sritys gali būti labai įvairios: populiacija, pasėliai, miškai, pastatai ir t.t. Žala vertinama skaičiuojant turimus ir iš anksto pamatuotus statistinius duomenis naudojantis žalos įvertinimo funkcija. Pagrindiniai poveikio įvertinimo žingsniai aprašomi žemiau:

- **Emisija:** konkrečios technologijos ir jos išmetamų teršalų specifikuojimas matuojant atskirai kiekvieno teršalo emisijas (pvz. azoto oksidus (NO_x) - kilogramais į MWh pagaminamos elektros energijos, konkrečiame apibrėžtame objekte, per metus (ar kitą laiko tarpą));

- **Dispersija:** dėl veiklos padidėjusios kiekvieno iš tiriamų teršalų koncentracijos apskaičiavimas visuose paliestuose tiriamuose regionuose ar vietovėse. Padidėjimas aprašomas kaip koncentracijos pokytis;
- **Poveikis:** padidėjusios koncentracijos apskaičiavimas kartu su tos koncentracijos padidėjimo poveikio apskaičiavimu (žala fiziniais vienetais). Tam naudojama reakcijos į koncentracijos pokytį funkcija (pvz. statistiniai duomenys apie vėžinių susirgimų skaičiaus kitimą, jo siejimas su padidėjusia NO_x koncentracija);
- **Kaina:** ekonominis žalos įvertinimas, skaičiuojamas pinigine išraiška (pvz. įvertinant vėžinių susirgimų gydymo išlaidas).

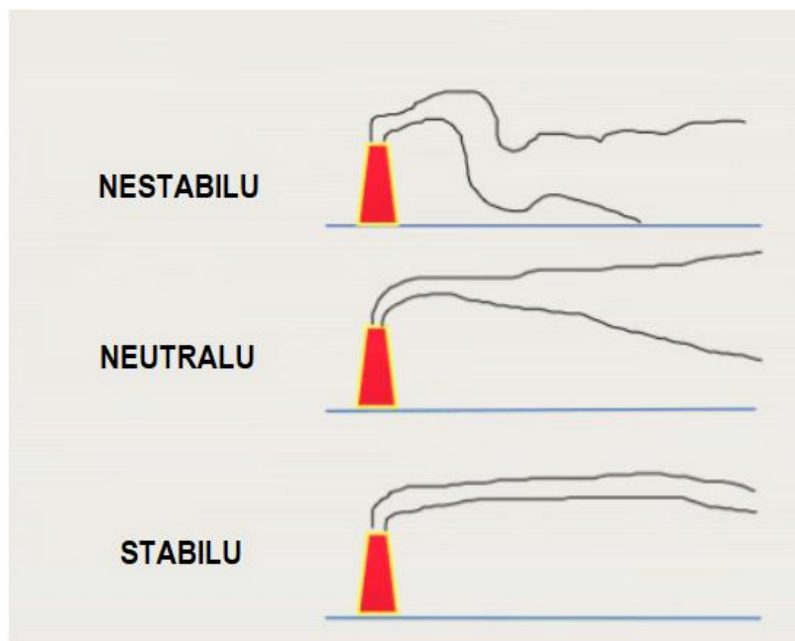
Emisijos ir teršalų vertinimas bei technologijos specifikavimas metodikoje yra laikomas pirmu etapu. Atliekant šį vertinimą svarbu išsiaiškinti taršos šaltinio vietą ir kaip tankiai gyvenamose teritorijose jis yra įrengtas, nes nuo to didėja tiesiogiai paveiktų žmonių kiekis, poveikis aplinkai ir atitinkamai sukeliama išoriniai kaštai. Metodika vertina tai, jog žmonių sveikata yra apibrėžiama kaip svarbiausia dalis, todėl gyventojų tankumas ir populiacijos išsidėstymas aplink teršalų šaltinį yra svarbus faktorius. Svarbu įvertinti šaltinio kuro rūšį ir jo taršą. Vertinant privalu kuo tiksliau apibrėžti teršalų šaltinį skaičiuojant oro taršą, kuomet yra deginamas kuras. Šiuo šaltiniu yra laikomas elektrinės kamino. Svarbu įvertinti kamino aukštį ir diametrą, taip pat dūmų srauto kiekį, greitį ir temperatūrą. Vertinant emisiją būtina matuoti išmetamus teršalų kiekius ir koncentracijas. Matavimai gali būti atliekami kamine arba dūmtakiuose, po įvairiais taršą mažinančiais filtrais ir įrenginiais [31].

Dispersijos vertinimas nurodo daromos taršos įtaką aplinkai, taip pat parodo, kaip sklaidosi teršalai. Sklaidą įprasta skirstyti į regioninę ir vietinę. Vietinė teršalų dispersija laikoma ta, kuri apima teritoriją, esančią 50 km ir mažiau iki teršalų išmetimo vietos. Jai apskaičiuoti naudojamas „Gaussian plume“ modelis. Tokiai sklaidai labai svarbu meteorologinės sąlygos ir regione vyraujantys vėjai. Svarbus faktorius yra kamino, kuriuo išmetami dūmai ir degimo produktai, kartu su teršalais, aukštis. Vietinė sklaida yra momentinė ir plinta iškart. Zonos, esančios toliau 50 km spinduliu aplink teršalų šaltinį, yra priskiriamos regioninei sklaidai. Regioninė sklaida trunka ilgesnį laiko tarpą, o meteorologinės sąlygos regione mažai įtakoja pačią taršą. Apskaičiuojant tokio tipo dispersiją yra naudojami „Eulerian“ ir „Lagrangian“ modeliai, kurių pagalba integraliniu, diferencinių lygčių pavidalu gaunamos oro koncentracijos. 4.3 paveiksle parodyta teršalų dispersija pro kaminą ir pagrindiniai duomenys naudojami skaičiavimuose.



4.3 pav. Teršalų per kaminą dispersija

Taip pat daug įtakos dispersijai turi atmosferos stabilumas. Šis parametras veikia išeinančių iš kamino dūmų sklaidą, jų kryptį ir plitimo kampa, taip pat turi įtakos koncentracijai. Atmosferos stabilumo įtaka dūmų sklaidai pateikiama 4.4 paveiksle.



4.4 pav. Atmosferos stabilumo įtaka dūmų sklaidai

Poveikis išorinių kaštų vertinimo metodikoje įvertinamas remiantis tyrimais ir statistiniais duomenimis, kuomet dėl oro taršos, susijusios su padidėjusia teršalų koncentracija, kinta ir blogėja žmonių sveikata. Oro tarša skatina širdies ir kvėpavimo takų ligas. Poveikis ir žala sveikatai vertinama lyginant sergamumo ir mirtingumo su tam tikrais simptomais rodiklius. 4.1 lentelėje aprašomi pagrindiniai teršalai ir jų poveikis. Kiekvienam šių teršalų, priklausomai nuo regiono ir kitų detalių, yra sudaryta poveikio – reakcijos funkcija. Ji parodo teršalo koncentracijos ore ir poveikio žmogaus sveikatai santykį, padarytos žalos vienetu, kiekiu, įvertina poveikį.

4.1 lentelė. Pagrindinės skirtingų teršalų poveikio žmogaus sveikatai sritys [32]

Teršalas	Poveikis žmogaus sveikatai
Kietosios dalelės (PM10, PM2.5)	Mirtingumo padidėjimas, sergamumas širdies ir plaučių ligomis, galvos smegenų kraujagyslių hospitalizacija, širdies nepakankamumas, chroniškas bronchitas, chroniškas kosulys mažų vaikų tarpe, astmos simptomai, kvėpavimo takų ligų simptomų atsiradimas, paūmėjimas.
SO ₂	Mirtingumo padidėjimas, sergamumas širdies ir plaučių ligomis (astma, sumažėjęs aktyvumas, nedarbingumo padidėjimas).
SO ₂ (Sulfatai)	Mirtingumo padidėjimas, sergamumas širdies ir plaučių ligomis, galvos smegenų kraujagyslių hospitalizacija, širdies nepakankamumas, chroniškas bronchitas, chroniškas kosulys mažų vaikų tarpe, astmos simptomai, kvėpavimo takų ligų simptomų atsiradimas, paūmėjimas.
NO _x	Sergamumo padidėjimas plaučių ligomis, organizmo alinimas, nedarbingumas.
NO _x (Nitratai)	Mirtingumo padidėjimas, sergamumas širdies ir plaučių ligomis, galvos smegenų kraujagyslių hospitalizacija, širdies nepakankamumas, chroniškas bronchitas, chroniškas kosulys mažų vaikų tarpe, astmos simptomai, kvėpavimo takų ligų simptomų atsiradimas, paūmėjimas.
NO _x + VOC	Mirtingumas, sergamumo plaučių ligomis padidėjimas, astmos priepuoliai, kosulys.
CO	Mirtingumas, širdies nepakankamumas, širdies ir kraujagyslių ligos.
Sunkieji metalai	Vėžys, mirtingumas, organizmo apnuodijimas.

Kaina yra paskutinis metodikos etapas, kuriame yra vertinama ir apskaitoma padaryta žala dėl daromo poveikio taip galutinai apskaičiuojant išorinius kaštus. Sveikatos ir su mirtingumu susijusi žala yra vertinama pagal vidutinius kaštus, išleistus visuomenės gydymo išlaidoms. Aplinkosauginiai efektai ir žala dažniausiai yra vertinama pasitelkus apklausas, nes tam tikrų žalos padarinių yra praktiškai neįmanoma įvertinti. Jei žala padaroma materialinėms vertybėms, pastatams ar agrokultūrai, žala įvertinama kaip patirtas nuostolis.

4.1. Poveikio įvertinimo metodas

Jau vykdant ExternE projektą buvo pastebėta regioninės, didelio nuotolio teršalų sklaidos svarba. Tai paskatino atsirasti poreikiui suvienodinti šalių, susijusių su oro tarša, duomenų bazes, atradimus ir kaštų vertinimus Europos mastu. Tokio tipo duomenų siejimui buvo pasitelkti šalių resursai bei „Eurostat“ duomenys. Pastarieji buvo prieinami prie ExternE programos dirbantiems visų šalių mokslininkams. Buvo sukurta standartizuota vertinimo sistema, kad metodika būtų taikoma panašiai ir teršalų sklaida visur būtų vertinama vienodai. Tai lėmė *EcoSense* modelio sukūrimą.

EcoSense modelis orientuojasi į žalos įvertinimą dėl oro teršalų įtraukdamas poveikį sveikatai, pasėliams, pastatams, miškams ir ekosistemoms. Nors klimato kaita yra svarbus ir prioritetas oro teršalų poveikio padarinyse, modelis šios poveikio kategorijos į skaičiavimus neįtraukia. Taip yra dėl skirtingų taikomų mechanizmų bei visuotinės gamtos įtakos poveikiui. Atsitiktinumai ir nelaimingi atsitikimai *EcoSense* modelio taip pat nėra vertinami. Jie nevertinami, nes šis poveikis yra labiau paremtas statistika nei modeliavimu.

Modelis vertina keturiolikos skirtingų rūšių teršalus, tarp kurių yra keli pagrindiniai, tokie kaip SO₂, NO_x, kietosios dalelės, CO ir ozonas. Be šių teršalų modelis aprašo ir sunkiuosius metalus bei kai kuriuos angliavandenilius, tačiau nevertina radioaktyviųjų nuklidų emisijų, kurių išmetimais pasižymi atominių elektrinių elektros energijos generacija [31].

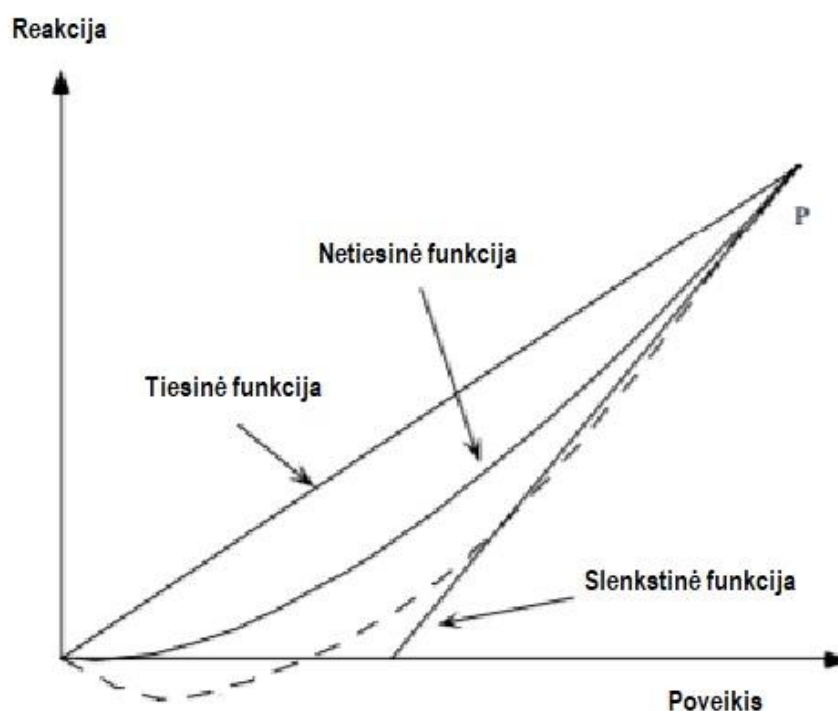
Taikant *EcoSense* buvo pastebėtas poreikis supaprastinti šį modelį, o taip atsirado *SIMPACTS* – supaprastintas elektros energijos gamybos išorinių kaštų vertinimo metodas (*angl. Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation*). *SIMPACTS* modeliavimas padeda geriau suprasti procesus ir priimti geresnius sprendimus energetikos sektoriuje vertinant potencialius kaštus dėl energijos gamybos proceso metu išmestų teršalų žalos aplinkai ir sveikatai.

SIMPACTS modeliavimas ir programinė įranga puikiai tinka vertinant išorinius kaštus, o pagrindinis modelio privalumas – paprastumas. *SIMPACTS* yra labai paprasta naudoti, modeliavimui nereikia daug pradinių duomenų, dalis sudėtingų modelio pradinių reikalingų reikšmių, įvedama naudojant *EcoSense* metodikos metu sudarytų duomenų bazių duomenis. Šie duomenys apibrėžia tikslias vertes ir priklausomybes tarp kitų dydžių.

Vertinant teršalų poveikį *SIMPACTS* vertina aproksimuotą gyventojų tankumą tiriamajame plote, o taip yra išvengiama daugybės duomenų rinkimo ir analizavimo. Nepaisant to modelis duoda pakankamai tikslius ir patikimus rezultatus. Modelis leidžia įvertinti kuro deginimo proceso metu išmetamų teršalų daromo poveikio pinigines žalos išraiškas. *SIMPACTS* sudaryta iš 4 specifinių modelių: AirPacts, NukPacts, HydroPacts, DAM. Kiekvienas jų vertina skirtingų technologijų elektros energijos gamybos sritis, o DAM modelis asistuoja analizuojant gautus duomenis [33,34].

4.1.1. Poveikio - reakcijos funkcija

Tam, kad būtų suteikta kiekybinė išraiška, išorinius kaštus sąlygojančios teršalų koncentracijos yra konvertuojamos į poveikį. Tai geriausia padaryti naudojantis poveikio – reakcijos funkcijomis (*angl. Exposure – Response Function*). Šios funkcijos tiesiogiai sieja koncentracijos padidėjimą su pokyčiais žmonių sveikatoje, agrokultūros praradimais ir kitokio pobūdžio kiekiniais žalos padariniais. Poveikio – reakcijos funkcija gali turėti įvairias savo formos variacijas. Pagal savo formą jos skirstomas į linijines, nelineines ar slenkstines (žr. 4.1.1 pav.) [31].



4.1.1 pav. Poveikio reakcijos funkcijų tipai [31]

Funkcijos ir kiti naudojami statistiniai palyginamieji modeliai yra nustatomi atliekant realias studijas su skirtingomis žmonių populiacijomis ir analizuojant medicininius duomenis bei istorinius archyvus. Tokio tipo analizės atlieka siejimus tarp koncentracijų pokyčio ir sveikatos pakitimų žmonių sveikatoje. Šios funkcijos vienas iš privalumų yra tai, jog jos sudarytos remiantis tikromis situacijomis esant realioms sąlygoms. Poveikio – reakcijos funkcijos dažniausiai naudojamos ir yra tiksliausios aprašant poveikį žmonių sveikatai bei agrokultūrai, kai yra vertinamas oro taršos poveikis. Daugiausiai dėmesio atliekant analizes ir sudarant funkcijas yra skiriama pirminių oro teršalų, tokių kaip CO, SO₂, NO_x ir kietųjų dalelių emisijoms vertinti.

4.1.2. Žalos vertinimo funkcija

SIMPACTS modelio poveikis yra skaičiuojamas remiantis teršalų koncentracija ir lyginant gautus duomenis su turima teršalų poveikio priklausomybių nuo koncentracijos duomenų baze. Taip yra gaunamas tikslus padarytos žalos aplinkai ir žmonių sveikatai įvertinimas piniginiu vienetu. Tam, kad būtų tiksliai apskaičiuojami išoriniai kaštai, *SIMPACTS* modelyje yra naudojama žalos funkcija (*angl. Impact Pathway Approach, Damage function*).

Darant prielaidą, kad teršalų šaltinis yra modeliuojamas koordinatių sistemos pradžioje ($r = 0$), žalos vertinimo funkcija D tuomet yra aprašoma taip:

$$D = \int_{\text{poveikio zona}} \rho(\vec{r}) F(\vec{r}, C(\vec{r}, Q)) d\vec{r} \quad (1)$$

Čia:

$q(r)$ – žalos gavėjo pasiskirstymas (žmogus į m^2)

$F(r, C(r, Q))$ – poveikio reakcijos funkcija (metiniai sveikatos pakitimų dėl poveikio duomenys, pakitimų skaičius žmogui į $\mu g/m^3$)

$C(r, Q)$ – vidutinis pažemio sluoksnio teršalų koncentracijos pokytis ($\mu g/m^3$)

Q – emisijų išmetimo greitis ($\mu g/s$)

r – atstumas tarp šaltinio ir vėjo krypties vektoriaus (m)

Žalos funkcijos taikymo metu gautas rezultatas – žala, kuri yra integruojama visiems poveikio dėl oro taršos paveiktiems poveikio žalos gavėjams. Vertinimą atliekant supaprastintu modeliavimo būdu (angl. *Simple Uniform World Model – SUWM*) turint mažą kiekį pradinės informacijos ir darant atitinkamas prielaidas, pirminis aproksimuotas žalos funkcijos atvaizdavimas atrodo taip:

$$D = \int_{\text{poveikio zona}} \rho(\vec{r}) F(\vec{r}, C(\vec{r}, Q)) d\vec{r} \approx D_{SUWM}$$

Supaprastintas visuotinis modelis (*SUWM*) taikant tam tikras prielaidas gali būti perrašytas. Prielaidos *SUWM* modeliui:

- emisijų išmetimo greitis Q ($\mu g/s$) pastovus;
- poveikio reakcijos funkcija – *ERF* (angl. *Exposure – Response function*) yra tiesinė, neturinti slenkstinių kylinių ar nuolydžių. f_{ER} [$ERF = f_{ER} \times C(r, Q)$].

Tada žalos funkcija gali būti perrašoma taip:

$$D = \frac{\rho_{avg} f_{ER} Q}{k_{avg}} \times R, \text{ kur } R = \int_{\text{poveikio zona}} \frac{\rho(r, \theta)}{\rho_{avg}} \frac{M(r, \theta)}{Q} \frac{k_{avg}}{k(r)} r dr d\theta \quad (3)$$

Čia:

ρ_{avg} – žalos gavėjo tankumas per visą poveikio zoną

$M(r)$ – pašalinamų teršalų srautas pažemio sluoksnyje ($\mu g/m^2 \cdot s$)

$k(r)$ – teršalų eikvojimo greitis (m/s)

SIMPACTS modelyje naudojama tokia pati žalos funkcija. Toliau nagrinėjant supaprastintą modelį (*SUWM*) laikomąsi žemiau nurodytų sąlygų:

- žalos gavėjų tankumas visame tiriamajame regione yra vienodas – $\rho(r) = \text{const.} = \rho_{avg}$;
- teršalų eikvojimo greitis visame regione yra vienodas ir nekinta – $k(r) = \text{const.} = k$;
- atmosferiniai teršalų pernešimo parametrai yra vienodi visame regione.

Vertinamos prielaidos, jog tikslinamasis koeficientas R funkcijoje yra lygus vienetui ($R = 1$). Iš to gaunama, jog žalos funkcija, kuri naudojama modeliuojant taršos šaltinių poveikį aplinkai, atrodo taip:

$$D = D_{SUWM} = \frac{\rho_{avg} f_{ER} Q}{k} \quad (4)$$

Supaprastinto modelio būdu atliekamas situacijos vertinimas, kuomet yra skaičiuojami dėl elektros energijos gamybos susidarantys išoriniai kaštai *SIMPACTS* programoje, šie kaštai apibrėžia poveikį aplinkai. Skaičiavimuose naudojama ankščiau aptartos poveikio – reakcijos ir žalos vertinimo funkcijos. *SIMPACTS* modeliavimas pagrįstas paprastumu ir plačiomis pritaikymo galimybėmis, taip pat patogiu tik reikalingiausių parametru pasirinkimu ir minimaliu pradinių duomenų poreikiu [35].

4.2. *SIMPACTS* modelis

SIMPACTS programos pagalba atliekamas modeliavimas padeda įvertinti elektros energijos generavimo metu žmogaus sveikatai ir aplinkai daromos žalos kiekį ir kainą. Situacijos modeliavimo pagalba galima pakankamai tiksliai nustatyti skirtingų elektros energijos generavimo technologijų išorinius kaštus ir juos palyginti. *SIMPACTS* sudaro keletas atskirų vertinimo modelių, skirtų skirtingoms kurą deginančioms technologijoms vertinti. Pagrindinė *SIMPACTS* modeliavimo ir skaičiavimo programos savybė yra jos paprastumas bei mažas pradinių duomenų poreikis.

SIMPACTS modeliavimo principas prasideda nuo emisijos šaltinio charakterizavimo, išmetimo kiekių identifikavimo. Toliau naudojant dispersijos modeliavimą įvertinama teršalų sklaida ir galimi teršalų koncentracijų pakitimai atmosferoje. Turint šiuos pakitimus *SIMPACTS* programa naudodamasi poveikio – reakcijos funkcijomis nustato fizinį poveikį žalos gavėjams ir jį įvertina [30,33].

Priklausomai nuo duomenų kiekio, *SIMPACTS* modeliavimas leidžia išorinių kaštų įvertinimą atlikti visiškai primityviai arba padidintu tikslumu. Preliminarus vertinimas gali būti atliktas įvedus tik vidutinę vietos populiaciją, elektrinės charakteristikas ir emisijas. Tačiau didėjant įvedamų duomenų kiekiui naudojami sudėtingesni modeliai ir išorinių kaštų skaičiavimas tampa vis detalesnis ir tikslesnis. 4.2.1 lentelėje aprašyti trys pagrindiniai *SIMPACTS* modeliavimo metodai [35].

4.2.1 lentelė *SIMPACTS* modeliavimo tikslumo tipai [35]

	Įvedami duomenys	Gaunamas rezultatas
1 tipas (tik pagrindiniai duomenys)	<ul style="list-style-type: none"> teršalų emisija regiono apgyvendinimo tankumas (<1000 km) teršalų šaltinio vieta 	<ul style="list-style-type: none"> universalus modelis, vertinantis bendrąjį poveikį kiekybinis žalos sveikatai įvertinimas žalos monetizavimas
2 tipas (papildomai įvedami duomenys)	<ul style="list-style-type: none"> kamino charakteristikos vietinis apgyvendinimo tankumas (<50km) 	<ul style="list-style-type: none"> tikslinami pirmojo vertinimo tipo duomenys vertinant kamino aukštį ir teršalų sklaidą dėl jo charakteristikų
3 tipas (papildomai įvedami duomenys)	<ul style="list-style-type: none"> vietiniai meteorologiniai duomenys (vėjo greitis, kryptis) apgyvendinimo tankumas aplink teršalų šaltinį (10x10 km) 	<ul style="list-style-type: none"> naudojant teršalų sklaidos metodikas įvertinama vietinė sklaida patikslinami pirmojo ir antrojo vertinimo tipo nustatyti duomenys

Realios situacijos modeliavimas *SIMPACTS* programa ir išorinių kaštų skaičiavimas naudojant kiekvieną iš tipų skiriasi. Išorinių kaštų vertinimo tikslumas tiesiogiai priklauso nuo įvedamų konkrečių duomenų kiekio. Pirmuoju būdu iš turimų emisijų, lokacijos ir bendro regiono tankumo duomenų galime nusatyti tik preliminarus poveikio kiekius. Šie kiekiai vėliau yra monetizuojami, o

gaunamos vertės gali nebūti pakankamo tikslumo. Tačiau papildant šiuos duomenis kamino (teršalų emisijos vietos) charakteristikomis, vietinių gyventojų tankumu, meteorologiniais duomenimis ir gyventojų koncentracija aplink teršalų šaltinį galima gauti pakankamai tikslius ir detalius duomenis [35]. Gyventojų koncentracija ir tankumas yra svarbus įvedamas duomuo modeliavime, *SIMPACTS* metodikoje gyventojų tankumas apibrėžiamas tinklelio principu.

Atlikus literatūros analizę apžvelgtos pagrindinės išorinius kaštus elektros energijos gamybos metu sąlygojančios priežastys. Analizuojant atskiras gamybos technologijas ir skirtingą iškastinį kurą buvo nustatytas jų poveikis aplinkai. Švariausiomis technologijomis laikoma atsinaujinanti energetika, kur iš vėjo energetikos gaunamos elektros energijos kilovatvalandės vidutiniai išoriniai kaštai yra 0,41 EUR ct/ kWh, saulės energetikos – 1,12 EUR ct/kWh, o biokuro – 6,62 EUR ct/kWh. Iš iškastinio kuro mažiausiais išoriniais kaštais pasižymi elektrinės, kurianančios gamtines dujas. Jų išoriniai kaštai siekia 6,17 EUR ct/kWh. Taršiausiu kuru laikoma anglis, jos emisijos siekia iki 1050 kg CO₂eq, 3,9 kg NO_x ir 6,7 kg SO_x per vieną pagamintą megavatvalandę elektros energijos. Anglį kurenančių elektrinių išoriniai kaštai taip pat didžiausi ir vidutiniškai yra 18,75 EUR ct/kWh.

Pagrindinės išorinių kaštų susidarymo priežastys, į kurias ir fokusuojamasi šio darbo metu, yra oro tarša aplinkai bei teršalų poveikis žmonių sveikatai. Išorinių kaštų skaičiavimas yra sudėtingas procesas, kurio tikslumas priklauso nuo metodikos ir turimų duomenų. Populiariausia išorinių kaštų vertinimo metodika yra ExternE, kuri yra paremta poveikio įvertinimo principu. Šis principas pasitelkus įvairius modelius ir funkcijas, leidžia kaip įmanoma tiksliau įvertinti teršalų daromą žalą aplinkai ir žmogui. ExternE metodika paremta ir *SIMPACTS* modeliavimo programa, kurios pagalba galima skaičiuoti skirtingų kurą deginančių technologijų emisijas į aplinką ir monetizuoti šias vertes taip gaunant apčiuopiamą išorinių kaštų įvertinimą pinigais.

Darbo metu naudojant *SIMPACTS* bus lyginamos ir analizuojamos dvi skirtingos elektros energiją gaminančios technologijos vertinant tik jų gamybos metu sukuriamus išorinius kaštus. Analizės metu nagrinėjama kuro rūšis – biokuras, biokuro elektrinės ir iškastiniui kurui priskiriamos gamtines dujas deginančios elektrinės. Iš literatūros analizės matyti, kad vidutiniai viso gyvavimo ciklo šių technologijų kaštai yra artimi vienas kitam (gamtinės dujos – 6,17 EUR ct/kWh, o biokuras – 6,62 EUR ct/kWh [28]). Šie duomenys nėra tikslūs dėl to, jog vertinami įvairių studijų ir tyrimų variantai bei skaičiuojami gautų rezultatų vidurkiai. Praktinė dalis sudaryta iš modeliavimo ir vertinimo dalies. Modeliuojamos elektrinės yra toje pačioje lokacijoje, skirtingais, priklausomai nuo kuro technologijos, tačiau artimais realioms elektrinėms parametrais. Vertinamas ir skaičiuojamas, kuro deginimo metu sukuriamų išorinių kaštų žmogaus sveikatai, sukuriamas poveikis, dėl oro taršos į aplinką.

5. Biokuro ir gamtinių dujų elektrinių poveikio aplinkai ekonominis vertinimas

5.1. Vertinamų elektrinių modelio duomenys

Atliekamas dviejų skirtingo tipo kurą deginančių elektrinių poveikio aplinkai ekonominis vertinimas. Vertinama biokurą ir gamtines dujas deginančių elektrinių aplinkai daroma žala skaičiuojant poveikį žmogui. Elektrinės yra modeliuojamos *SIMPACTS* programos aplinkoje.

Dvi skirtingą kurą deginančios elektrinės ir taršos šaltiniai yra modeliuojami toje pačioje vietoje netoli didelio miesto – Kauno rajone, Biruliškėse, siekiant atlikti palyginamąją analizę. Vieta, nurodyta 5.1.1 paveiksle, yra vidutiniškai tankiai apgyvendinta. Vertinimas atliekamas *SIMPACTS* modelyje vietiniu lygmeniu, t.y. vertinama lokali, o ne regioninė oro teršalų sklaida. Pagal tai taikomi vietinės sklaidos modelio parametrai. Modeliuojamų taršos šaltinių veikimo vieta aprašyta 5.1.1 lentelėje.

Skirtingų energijos gamintojų techniniai parametrai yra pasirinkti remiantis egzistuojančiomis elektrinėmis: biokuro elektrinės parametrai remiantis egzistuojančiomis „SSPC Taikos“, UAB „Pramonės energija“ ir UAB „GECO Kaunas“ elektrinėmis [36], gamtinių dujų – Panevėžio elektrine [37] ir esamų elektrinių projektais iš duomenų „Enerstena“ [38]. Remiantis realiais šių elektrinių projektais yra nustatyti kamino aukščio ir skersmens parametrai. Abi elektrinės modeliuojamos su įrengtais kondensaciniais ekonomizaieriais.



5.1.1 pav. Modeliuojamų elektrinių lokacija

Deginant skirtingo tipo kurą skiriasi ir išmetamų oro teršalų kiekiai. Išmetami oro teršalų kiekiai nustatyti remiantis 1 priede pateikta informacija iš „Išmetamų į atmosferą teršalų nacionalinių emisijos faktorių nustatymas energetikos, pramonės ir žemės ūkio veiklose“ ataskaitos. Ataskaitoje eksperimentiniu būdu yra nustatyti įvairių teršalų emisijų rodikliai deginant skirtingų rūšių kurą. Remiantis šiomis emisijų rodiklių reikšmėmis ir atsižvelgiant į elektrinių techninius parametrus yra apskaičiuoti nagrinėjamų elektrinių išmetamų oro teršalų kiekiai. Dūmų sklaidimo iš kamino greitis parinktas remiantis P.Švenčiano sudaryta optimalių greičių pagal projektuojamo kamino aukštį lentele bei Kauno mieste veikiančių ir planuojamų biokatilinių parametrais [36, 39].

Lentelėje žemiau pateikiami vertinamų taršos šaltinių techniniai duomenys (5.1.2. lentelė). Pastarieji priimti remiantis pavyzdinėmis, jau egzistuojančiomis elektrinėmis. 5.1.1 lentelėje apibrėžtas reikalingas modeliavimui nagrinėjamos vietos aukštis virš jūros lygio, nustatytas naudojantis internetiniu „Elevation finder“ įrankiu [40].

5.1.1 lentelė Modeliuojamų elektrinių lokacija

Vieta	Koordinatės	Aukštis virš jūros lygio, m
Kauno rajonas, Biruliškės	54.932594, 24.004015	71

5.1.2 lentelė Modeliuojamų elektrinių techniniai parametrai

	Gamtinių dujų elektrinė [GD1]	Biokuro elektrinė [B1]
Elektrinės galia, MW	20	20
Kuro tipas	Gamtinės dujos	Biokuras
Kamino aukštis, m	45	35
Kamino skersmuo, m	2,6	1,7
Dūmų sklidimo iš kamino greitis, m/s	10	9
Dūmų temperatūra, K	350	350

Oro teršalų emisijų rodikliai pagal deginamą kuro rūšį pateikti žemiau esančioje 5.1.3. lentelėje. Bendros elektrinių oro teršalų emisijos apskaičiuojamos remiantis atskirų teršalų emisijų rodikliais priklausomai nuo kuro rūšies (1 priedas), taip pat taršos šaltinių darbo laiko per metus bei kuro lyginamųjų sąnaudų rodikliais. Pastarosios randamos iš VERT (*anksčiau VKEKK*) „Kogeneracinių jėgainių šilumos ir elektros energijos sąnaudų atskyrimo metodikos“ [41]. Skaičiavimuose naudotinos reikšmės pateikiamos 5.1.3 ir 5.1.4 lentelėse.

5.1.3 lentelė. Oro teršalų emisijų rodikliai pagal skirtingas deginamas kuro rūšis [1 priedas]

Oro teršalai	Gamtinės dujos [GD]	Biokuras [B]
	Eksperimentinė reikšmė [g/GJ]	Eksperimentinė reikšmė [g/GJ]
SO ₂	40,5	16,0
NO _x	0,20	0,10
KD	0,50	5,90

5.1.4 lentelė Lyginamosios kuro sąnaudos pagal kuro tipą [41]

Kuro tipas	Lyginamosios kuro sąnaudos [kg _{ne} /MWh]
Biokuras [B]	96,0
Gamtinės dujos [GD]	92,0

Vertinant oro teršalų emisijas daroma prielaida, kad abu taršos šaltiniai per metus pilnai dirbs 7 000 valandas, jokių kitų darbo režimų nebus. Perskaičiuotosios oro teršalų emisijos nagrinėjamam atvejui pateikiamos 5.1.5 lentelėje.

5.1.5 lentelė. Analizuojamų elektrinių oro teršalų emisijos

Oro teršalai	Gamtinės dujos [GD], [t/metus]	Biokuras [B], [t/metus]
NO _x	21,84002	9,003295
SO ₂	0,107852	0,056271
KD	0,269630	3,319965

Gyventojų tankumas regione modeliuojamas atsižvelgiant į vidutinį tankumo rodiklį. Taršos šaltinių lokacija – Kauno rajonas. Gyventojų tankumo pasiskirstymas apibrėžiamas standartiniu SIMPACTS programoje naudojamu gyventojų tankumo tinkleliu. Nagrinėjamo tinklelio vienos celės parametrai 5x5 km, nagrinėjamas tankumas *SIMPACTS* aplinkoje perskaičiuojamas 1km². Gyventojų pasiskirstymo tinklelyje vidutinis gyventojų tankumas visame nagrinėjamame regione siekia 850 žm/km², maksimali reikšmė – 1200 žm/km², minimali reikšmė – 450 žm/km².

5.2. Biokurą ir gamtines dujas deginančių elektrinių poveikio vertinimas

Taršos šaltiniams pagal nustatytus techninius parametrus (5.1.2 lentelė) bei apskaičiuotus emisijų kiekius (5.1.5 lentelė) *SIMPACTS* programoje atliekamas teršalų sklaidos modeliavimas. Remiantis gautu modeliu bei gyventojų tankumu, atliekami aplinkos poveikio žalos skaičiavimai. Daromos žalos kiekiai ir kaina pateikiami 5.2.1. lentelėje.

5.2.1 lentelė.Modeliavimo rezultatai, poveikis sveikatai ir daromos žalos kaina

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD1	B1	GD1	B1
1.	KD	Bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.089	1.503	1291.04	21839.91
2.	KD	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.00004	0.0006	11.62	196.56
3.	KD	Bendrasis populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.0006	0.011	13.94	235.87
4.	KD	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	0.700	11.834	0.22	3.70
5.	KD	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.081	1.376	0.03	0.43
6.	KD	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	6.830	115.548	75.72	1280.96
7.	KD	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	4.568	77.280	50.64	856.73
8.	KD	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	5.249	88.806	197.92	3348.12

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD1	B1	GD1	B1
9.	KD	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.595	10.061	7.91	133.84
10.	KD	Bendrasis populiacijos širdies ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.0009	0.016	0.55	9.24
11.	KD	Bendrasis populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.002	0.026	0.89	15.00
12.	KD	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.004	0.068	234.90	3973.60
13.	SO ₂	Bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.002	0.001	28.97	16.97
14.	SO ₂	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.000001	0.000001	0.26	0.15
15.	SO ₂	Bendrasis populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.000014	0.000008	0.31	0.18
16.	SO ₂	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	0.016	0.009	0.005	0.003
17.	SO ₂	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.007	0.004	0.002	0.001

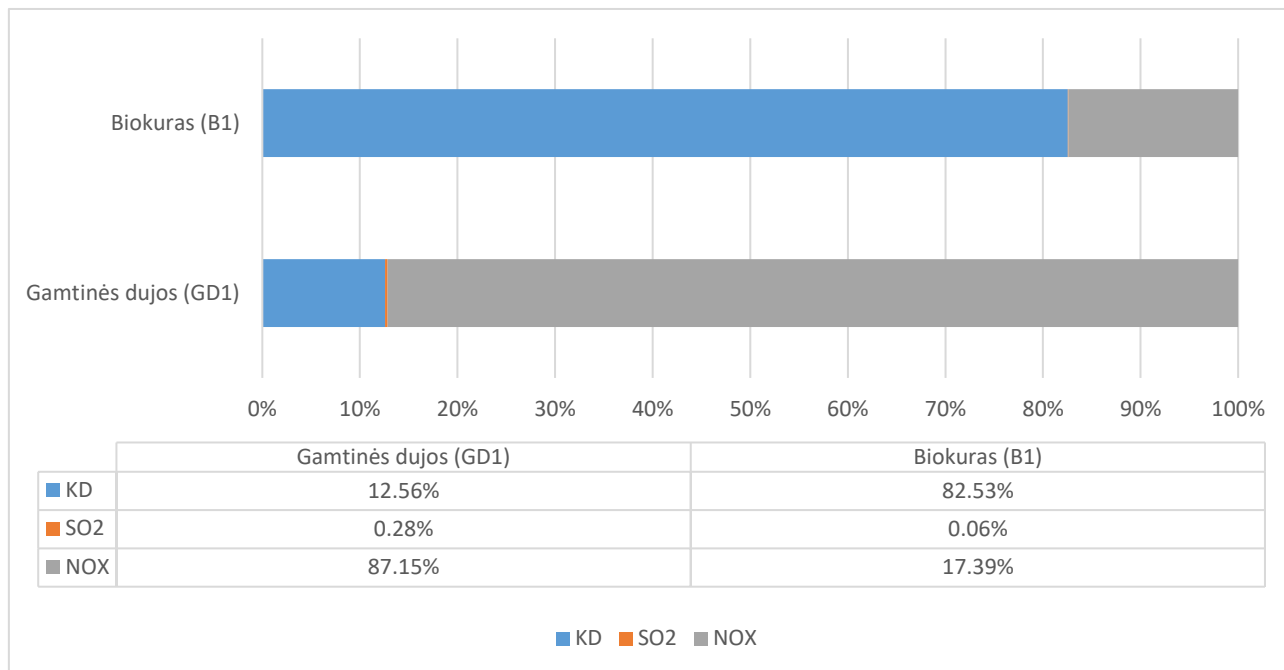
Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD1	B1	GD1	B1
18.	SO ₂	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	0.153	0.090	1.70	1.00
19.	SO ₂	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.102	0.060	1.14	0.67
20.	SO ₂	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.118	0.069	4.44	2.60
21.	SO ₂	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.013	0.008	0.18	0.10
22.	SO ₂	Bendras populiacijos širdies ligų gydymo ištaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.000021	0.000012	0.01	0.01
23.	SO ₂	Bendras populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo ištaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.000034	0.000020	0.02	0.01
24.	SO ₂	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.000091	0.000053	5.27	3.09
25.	NO _x	Bendras populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.617	0.317	8972.01	4613.31
26.	NO _x	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.0003	0.0001	80.75	41.52

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD1	B1	GD1	B1
27.	NO _x	Bendrasis populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.004	0.002	96.90	49.82
28.	NO _x	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	4.862	2.500	1.52	0.78
29.	NO _x	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.553	0.284	0.17	0.09
30.	NO _x	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	46.677	24.001	517.46	266.07
31.	NO _x	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	31.747	16.324	351.95	180.97
32.	NO _x	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	35.224	18.112	1328.00	682.85
33.	NO _x	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	3.990	2.052	53.09	27.30
34.	NO _x	Bendrasis populiacijos širdies ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.006	0.003	3.80	1.95

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD1	B1	GD1	B1
35.	NO _x	Bendrasis populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.011	0.006	38.36	19.73
36.	NO _x	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.028	0.014	1632.38	839.35
37.	KD	Suminis			1885,38	31893,95
38.	SO ₂	Suminis			42,30	24,78
39.	NO _x	Suminis			13076,38	6723,73
40.	VISI	Suminis			15004,07	38642,46

Modeliavimo metu įvertinami energijos gamybos metu susidarantys išoriniai kaštai vertinant du rodiklius: poveikį žmonių sveikatai kaip galimų atvejų per metus skaičius (*atvejų/metus*) ir daromos žalos kaina (*Eur/metus*).

Gamtinių dujų elektrinėje (GD1) ir biokuro elektrinėje (B1) *SIMPACTS* programa atliktais skaičiavimais yra apskaičiuojama žala aplinkai. Nagrinėtu atveju išorinių kaštų skaičiavimas rodo taršos šaltinių išmetamų teršalų sklaidą, kiekius ir jų daromą žalą žmogaus sveikatai. Vertinamas tik oro taršos poveikis žmogui, todėl visą vertinamą, išorinių kaštų energijos gamybos metu sumą, sudaro nagrinėjamų trijų teršalų – KD, NO_x bei SO₂ daroma žala žmogaus sveikatai.

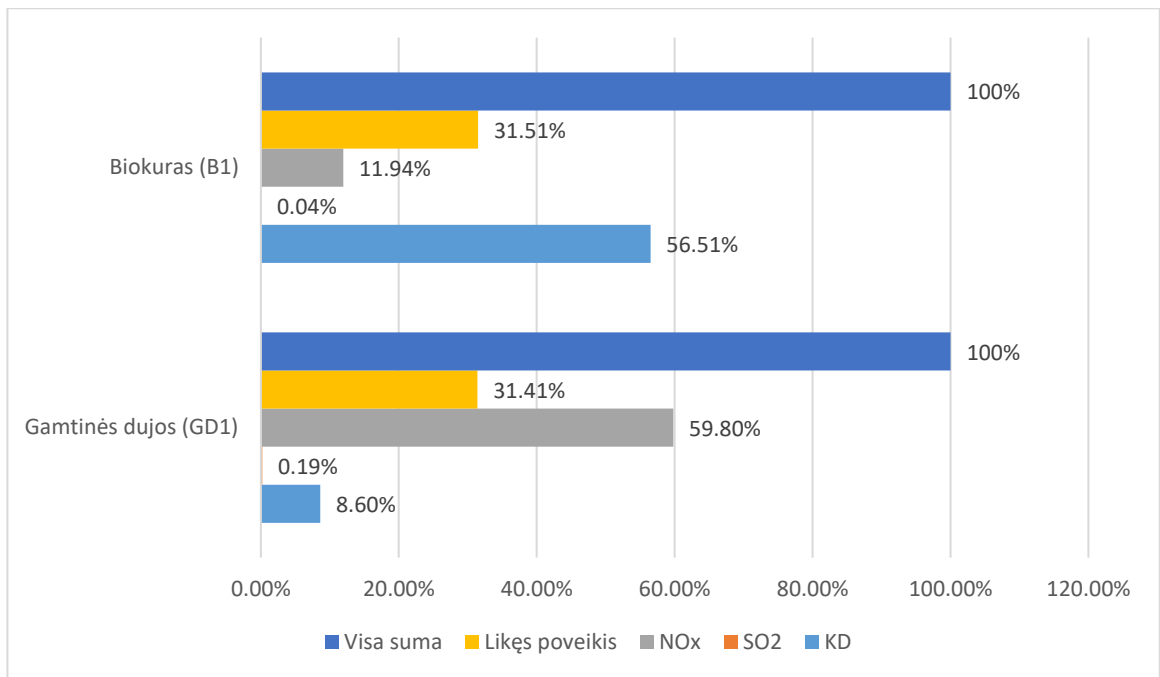


5.2.1 pav. Procentinis oro taršos žalos pasiskirstymas pagal kuro rūšį

Iš 5.2.1. paveikslėlyje pateikto grafiko matoma, kad deginant biokurą, modeliujame taršos šaltinyje, 82,53 % žalos, sudarančios vertinamus išorinius kaštus, sudarė kietųjų dalelių emisijos (KD), 17,39 % ir 0,06 % atitinkamai sudarė azoto oksidai (NO_x) ir sieros dioksidas (SO₂).

Energijos gamybos metu deginant gamtines dujas procentiniai padarytos žalos pasiskirstymai skiriasi nuo pirmojo atvejo. Didžiausią dalį poveikio žalos sudaro azoto oksidai (NO_x) – 87,15 %, kietosios dalelės (KD) sudaro beveik visą likusią žalos dalį. Deginant gamtines dujas ir biokurą dažnu atveju skaičiuojant išorinius kaštus (dėl to, jog sieros oksidų emisija yra labai maža) energijos gamybos metu ji būna nevertinama.

Taip pat iš modeliavimo galime pastebėti, kad dėl oro taršos išauga „Bendras populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)“. Šis poveikis sudaro didžiausią dalį visoje žalos struktūroje vertinant kiekvieną iš teršalų. 5.2.2. paveiksle pateikta šio poveikio procentinė dalis bendroje žalos struktūroje atskiriems teršalams.



5.2.2 pav. Poveikio bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės) palyginimas su visa žala ir likusiais kitais poveikiais

Remiantis 5.2.2. paveikslu galima daryti išvadą, kad pagrindinis poveikis “Bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)” pagal vertinamą žalą nagrinėtais atvejais užima apie 68 % visos žalos struktūros. Likusių poveikių atvejai struktūroje kartu sudaro apie 30 % bendrosios žalos sumos.

Oro taršos žmogui daroma žala per išorinius kaštus yra vertinama skirtingą kurą deginantiems taršos šaltiniams. Dėl skirtingų šių šaltinių parametru yra pateikiami išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai pagamintai kilovatvalandei elektros energijostai – tai leidžia vertinti ir lyginti šaltinius pagal jų daromą poveikį aplinkai. Vertinami taršos šaltiniai per metus dirba 7000 valandų, jų sugeneruojamos energijos kiekis ir išoriniai energijos gamybos kaštai vienai pagamintai elektros energijos kilovatvalandei pateikiami 5.2.2 lentelėje.

5.2.2 lentelė. Energijos gamybos metu susidarantių išorinių kaštų palyginimas

Taršos šaltinis	Elektrinės galia (MW)	Per metus sugeneruojamas elektros energijos kiekis (kWh)	Metinė suminė žala, padaroma energijos gamybos metu (tūkst. Eur)	Išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos (EURct/kWh)
B1	20	140 000 000	38,642	0,0276
GD1	20	140 000 000	15,004	0,0107

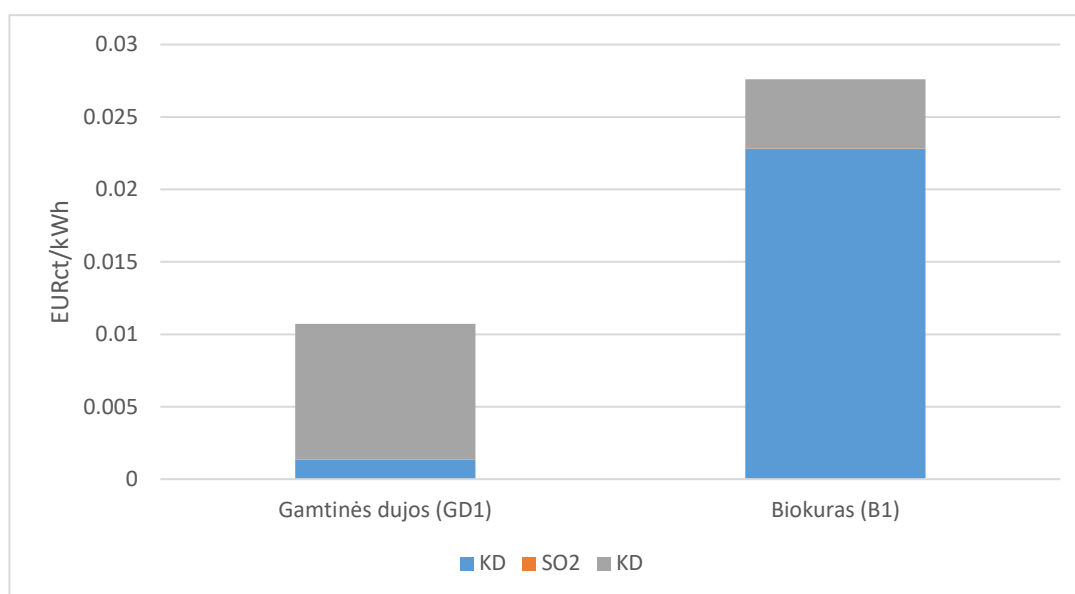
Iš pateiktos lentelės galima pastebėti, kad išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai sugeneruotai elektros energijos kilovatvalandei, kuru pasirinkus gamtines dujas yra lygūs 0,000107 Eur/kWh arba 0,0107 Eur ct/kWh. Kuru pasirinkus deginti biokurą, kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei, yra didesni – 0,000276 Eur/kWh arba 0,0276 Eur ct/kWh.

5.2.3 lentelėje pateikiami atskirai išnagrinėti kiekvieno oro teršalo, išmetamo iš taršos šaltinio, įvertinimai piniginiu vienetu vienai sugeneruotai kilovatvalandei elektros energijos.

5.2.3 lentelė. Modeliavimo metu nagrinėtų atvejų oro taršos sukeliama išoriniai kaštai atskirai pagal teršalus

Oro teršalas	Gamtinės dujos [GD], EURct/kWh	Biokuras [B], EURct/kWh
KD	0,0013	0,0228
SO ₂	-	-
NO _x	0,0093	0,0048

5.2.3 paveiksle ir 5.2.3 lentelėje pateikta poveikio aplinkai, tenkančio vienai pagaminamos elektros energijos kilovatvalandei, struktūra pagal teršalus. SO₂ dalis yra labai maža, todėl neįvardinama. Modeliuotuose taršos šaltiniuose gamtinių dujų atveju išoriniai energijos kaštai yra mažesni 2,5 karto. Lyginant atskirus teršalus – dėl kietųjų dalelių išmetimo ir biokuro atveju sukuriama žala, tenkanti vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, yra beveik 17 kartų didesnė nei gamtinių dujų atveju. NO_x emisijų žalos dydis biokuro atveju atitinkamai yra tik 2 kartus mažesnis.



5.2.3 pav. Išorinių kaštų, tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, struktūra atskirai pagal teršalus.

Atlikus modeliavimą ir rezultatų analizę galima teigti, kad išoriniai energijos kaštai užsiduotais duomenimis yra didesni biokuro atveju. Gamtinių dujų emisijoje dominuoja NO_x, o biokure KD. Abiem atvejais dominuojantis teršalas sudaro apie 80 % dalį visos emisijos. Nors skaičiumi teršalų emisijos kiekis (tonomis) yra didesnis gamtinių dujų atveju, tačiau dėl KD didesnės daromos poveikio žalos žmogaus sveikatai biokuro deginimo procesas yra žalingesnis.

Išoriniai suminiai kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, yra didesni deginant biokurą. Tokie rezultatai gaunami dėl to, jog yra vertinama tik degimo metu daroma žala, o joks kitas poveikis nėra vertinamas. Ši sąlyga lemia didesnę biokuro daromą poveikio aplinkai žalą. Gauti taršos šaltinių aplinkosauginės žalos rezultatai toliau vertinami atliekant jautrumo analizę.

5.3. Vertinamų taršos šaltinių jautrumo analizė

Jautrumo analizė taršos šaltiniams atliekama naudojant *SIMPACT* modelį. Analizuojant šaltinius keičiamas teršalų sklaidymasis aplinkoje – tai padaroma pakeičiant vieną iš techninių šaltinio parametrų (kamino) aukštį. Taip pat atliekant tolesnį taršos šaltinių vertinimą, šaltiniai modeliuojami be kondensacinio ekonomaizerio.

Kamino aukštis didinamas 2 kartus. Atitinkamai didėjant kamino aukščiui, didės ir kamino skersmuo (pokytis – 1,5 karto) bei mažės dūmų sklaidimo iš kamino greitis (mažėja 1,5 karto). Šaltiniai be kondensacinio ekonomaizerio turi įtakos iš kamino išeinančių degimo produktų temperatūrai – ji yra aukštesnė ir siekia 450 K. Taip pat bendrai šaltinio galia yra mažesnė [36,38]. Ekonomiaizeris elektrinėse veikia kaip KD filtras, todėl modeliuojant šaltinius be jo yra priimta, kad šaltiniuose bus įdiegtas KD valymo įrenginys – ciklonas, o tai turi įtakos KD emisijai, kuri padidės 2 kartus dėl mažesnio KD sugaudymo procento [42, 43]. Jautrumo analizės metu modeliuojami duomenys pateikiami 5.3.1 lentelėje.

5.3.1 lentelė. Jautrumo analizė. Modeliuojamų elektrinių techniniai duomenys

2 kartus didinamas kamino aukštis		
	Gamtinių dujų elektrinė [GD2]	Biokuro elektrinė [B2]
Elektrinės galia, MW	20	20
Kuro tipas	Gamtinės dujos	Biokuras
Kamino aukštis, m	90	70
Kamino skersmuo, m	3,9	2,25
Dūmų sklaidimo iš kamino greitis, m/s	7	6
Dūmų temperatūra, K	350	350
Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomaizerio		
	Gamtinių dujų elektrinė [GD3]	Biokuro elektrinė [B3]
Elektrinės galia, MW	18	16
Kuro tipas	Gamtinės dujos	Biokuras
Kamino aukštis, m	45	35
Kamino skersmuo, m	2,6	1,7
Dūmų sklaidimo iš kamino greitis, m/s	10	9
Dūmų temperatūra, K [40]	450	450

Jautrumo analizės metu išlaikant identišką sąlygą, keičiami tik šie 5.3.1. lentelėje nurodyti duomenys. *SIMPACTS* programos aplinkoje atliktų skaičiavimo rezultatų santrauka pateikiama 5.3.2 lentelėje, o 5.3.3. lentelėje pateikiami rezultatai atskirai kiekvienam iš teršalų. Pilna rezultatų lentelė pridėta 2 – amė priede.

5.3.3. lentelėje pateikiami susidariusių išorinių energijos gamybos kaštų rezultatai, perskaičiuoti atskirai kiekvienam iš teršalų.

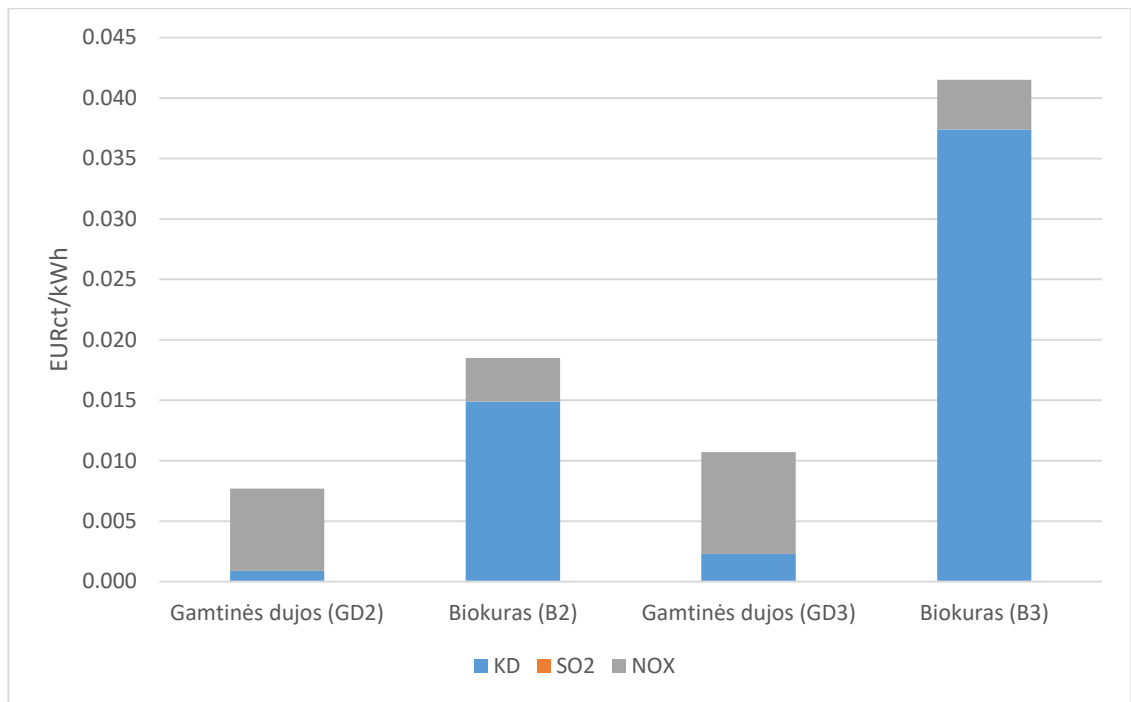
5.3.2 lentelė. Jautrumo analizė. Daromo poveikio žalos modeliavimo rezultatai

Taršos šaltinis	Elektrinės galia (MW)	Per metus sugeneruojamas elektros energijos kiekis (kWh)	Metinė suminė žala, padaroma energijos gamybos metu (tūkst. Eur)	Išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos (EURct/kWh)
2 kartus didinamas kamino aukštis				
B2	20	140 000 000	25,817	0,0184
GD2	20	140 000 000	10,839	0,0077
Taršos šaltinis	Elektrinės galia (MW)	Per metus sugeneruojamas elektros energijos kiekis (kWh)	Metinė suminė žala, padaroma energijos gamybos metu (tūkst. Eur)	Išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos (EURct/kWh)
Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomizerio				
B3	16	112 000 000	46,434	0,0415
GD3	18	126 000 000	13,459	0,0108

5.3.3 lentelė. Jautrumo analizė. Oro taršos sukelti išoriniai kaštai, atskirai pagal teršalus

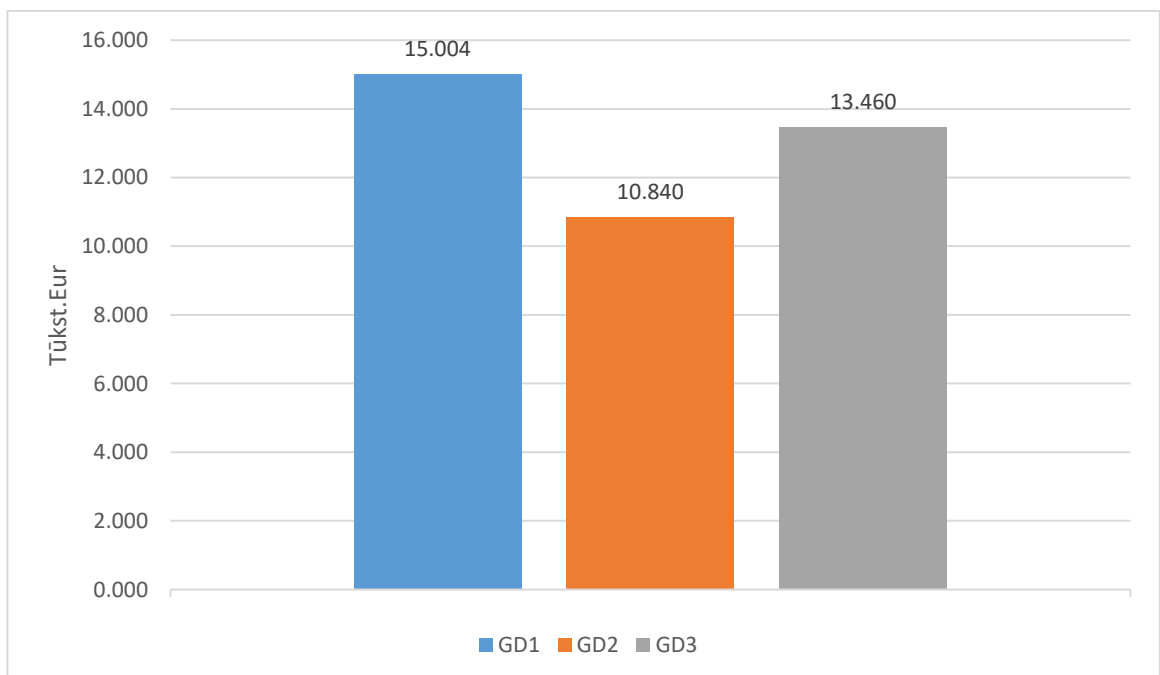
Oro teršalas	Gamtinės dujos [GD2], EURct/kWh	Biokuras [B2], EURct/kWh
KD	0.0009	0.0149
SO₂	-	-
NO_x	0.0068	0.0036
	Gamtinės dujos [GD3], EURct/kWh	Biokuras [B3], EURct/kWh
KD	0.0023	0.0374
SO₂	-	-
NO_x	0.0084	0.0041

5.3.1. paveiksle pateiktas grafikas su išoriniais energijos gamybos metus susidarančiais kaštais, tenkančiais vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos. Duomenys pateikiami atskirai pagal kiekvieną iš teršalų abiemis nagrinėtiems jautrumo analizės atvejams. Modeliuotuose atvejuose, taip pat kaip ir pirmajame, pagal skirtingas kuro rūšis dominuoja skirtingų teršalų emisijos. Gamtinių dujų atveju – NO_x, Biokuro – KD, SO₂ praktiškai lygus nuliui.



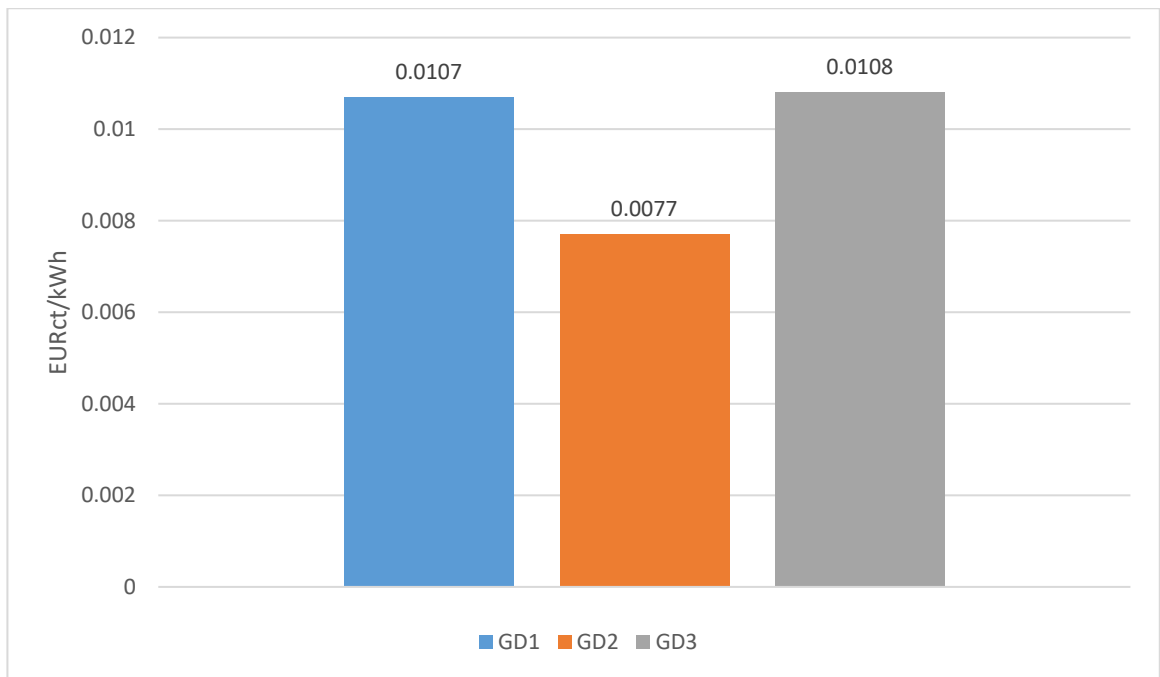
5.3.1 pav. Išorinių kaštų, tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, palyginimas

Iš šio grafiko matyti, kad tendencija tarp iš emisijų daromų žalų pasiskirstymo pagal skirtingus teršalus, išlieka panaši, kaip ir anksčiau nagrinėtuose atvejuose. 5.3.2 paveiksle lyginama visų nagrinėtų gamtinių dujų (GD) atvejų daromi poveikiai ir jų žalos kainos.



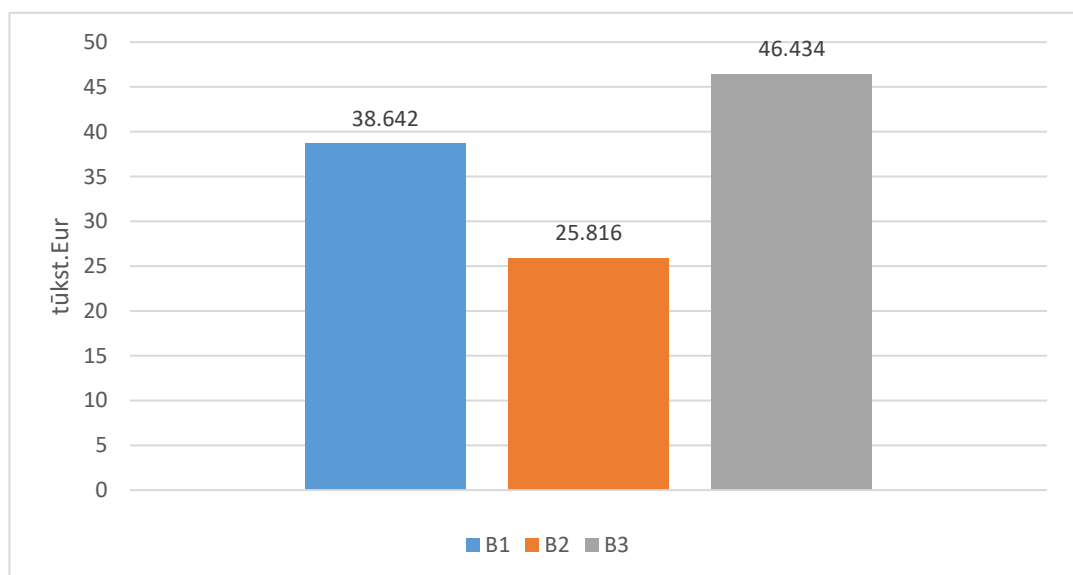
5.3.2 pav. Išorinių energijos gamybos metu susidariusių kaštų suma per metus, gamtinės dujos

Mažiausi išoriniai energijos gamybos kaštai deginant gamtines dujas patiriami antruoju atveju (GD2), kai yra dukart padidinamas kamino aukštis. 5.3.3. paveiksle pateikiamas šių trijų atvejų išorinių energijos kaštų, tenkančių vienai pagaminamos elektros energijos kilovatvalandei, palyginimas.



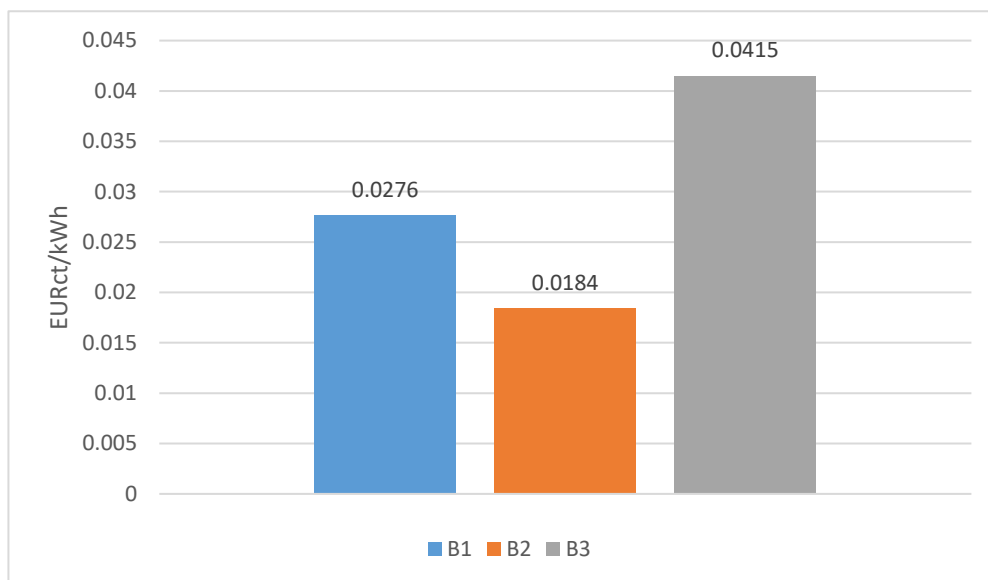
5.3.3 pav. Išorinių kaštų, tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos ir deginant gamtines dujas, palyginimas

Analizuojant duomenis galima pastebėti, jog kitus atvejus, lyginant su didžiausiais išoriniais energijos gamybos kaštais vienai kilovatvalandei pagamintos elektros energijos pasižyminčiu pirmuoju atveju, padidinus kamino aukštį du kartus išoriniai energijos gamybos kaštai per metus sumažėja 4,164 tūkst. Eur. Elektrinių poveikis aplinkai vienai kilovatvalandei pagamintos energijos sumažėja 28 %. Nediegiant kondensacinio ekonomizerio bendra kaštų suma per metus sumažėja 1,544 tūkst. Eur, tačiau šiuo atveju kaštai vienai kilovatvalandei generuojamos elektros energijos padidėja beveik 1 %. Taip yra dėl sumažėjusio efektyvumo ir padidėjusių KD emisijų elektrinėje pašalinus kondensacinį ekonomizerį. Deginant biokurą energijos gamybos metu patiriamų išorinių energijos kaštų suma visais nagrinėtais atvejais pateikiama 5.3.4. pav.



5.3.4 pav. Išorinių energijos gamybos metu susidariusių kaštų suma per metus, biokuras

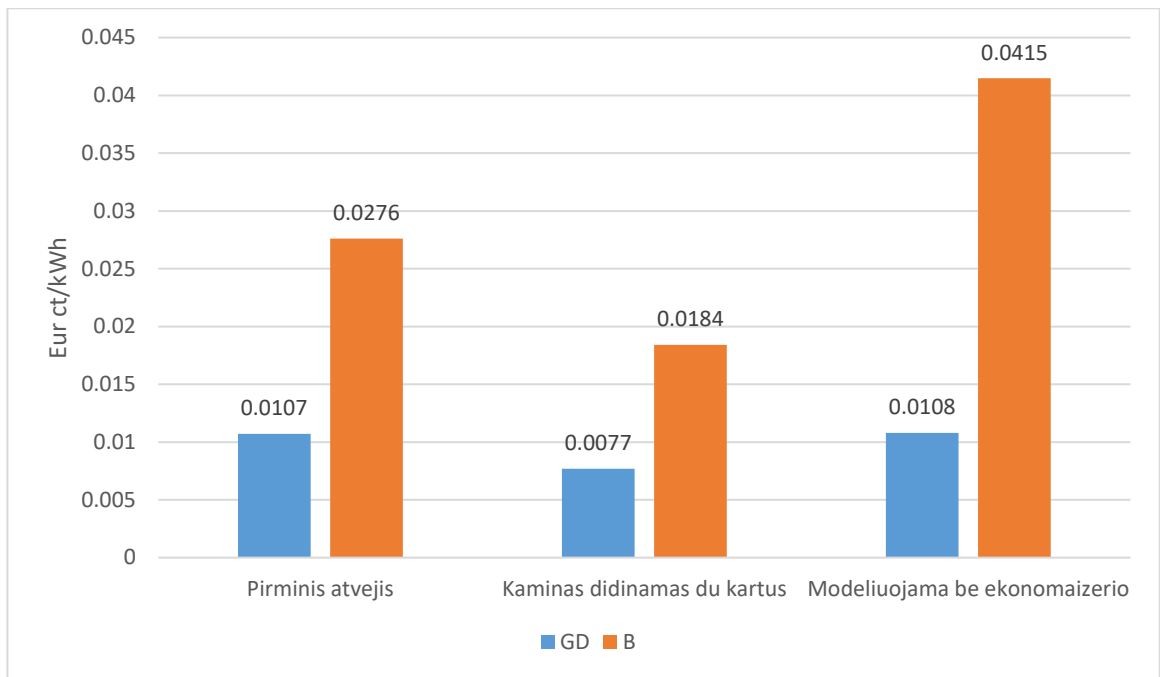
Mažiausiais išoriniais energijos gamybos kaštais pasižymi antrasis nagrinėtas atvejis, kurio metu buvo du kartus didinamas kamino aukštis. Kaip ir gamtinių dujų atveju, tam, kad tinkamai būtų palyginta šių per metus patiriamas kaštų dydis, būtinas įvertinimas skaičiuojant kaštus, tenkančius vienai kilovatvalandei sugeneruotos energijos. Šie duomenys pateikiami 5.3.5. paveiksle.



5.3.5 pav. Išorinių kaštų, tenkančių vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, deginant biokurą, palyginimas

Vertinant biokurą galima pastebėti, jog mažiausiais kaštais, tenkančiais vienai pagamintai kilovatvalandei elektros energijos, pasižymi antrasis tyrimo atvejis, kai kaminas buvo padidintas du kartus. Didžiausi kaštai, kaip ir gamtinių dujų vertinime, yra trečiuoju atveju. Palyginus skirtingus atvejus matyti, jog padidinus kaminą du kartus, išoriniai energijos gamybos metu atsirandantys kaštai sumažėja 12.826 tūkst. Eur. Elektrinių poveikis aplinkai vienai pagamintai elektros energijos kilovatvalandei tokiu atveju sumažėja apie 33 %. Nediegiant kondensacinio ekonomizerio bendra kaštų suma per metus padidėja 7.792 tūkst. Eur., o kaštai vienai kilovatvalandei elektros energijos padidėja 1,5 karto. Dideli kaštai trečiuoju atveju yra dėl du kartus padidėjusių KD emisijų, kurių poveikis žmogaus sveikatai per padarytą žalą įvertinamas brangiausiai.

Dviejų skirtingų deginamo kuro rūšių ir jų daromo poveikio žmogui palyginimas pateiktas 5.3.6 paveiksle. Palyginime pateikiami visi nagrinėti atvejai.



5.3.6 pav. Trijų skirtingų nagrinėtų atvejų palyginimas – išoriniai energijos gamybos kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos

Iš palyginamojo grafiko matome, kad visais trim atvejais biokurą deginančiame taršos šaltinyje poveikio aplinkai žala vienai kilovatvalandei gaminamos elektros energijos visada bus didesnė nei gamtines dujas deginančiame taršos šaltinyje. Viena pagrindinių priežasčių – 10 kartų didesnė kietųjų dalelių (KD) emisija. Vertinant poveikį žmogaus sveikatai, kai deginamas biokuras, o ne gamtinės dujos, žala padaroma didesnė. Atliktoje taršos šaltinių analizėje vertintas poveikis ir šio poveikio daroma žala žmogaus sveikatai, todėl KD emisijos turi didelę įtaką tam, nes būtent kietosios dalelės žmogaus sveikatai kenkia labiausiai – tai matoma ir iš poveikio daromos žalos piniginių sumų.

Gamtinių dujų atveju NO_x emisijos taip pat yra didelės, tačiau NO_x kaip teršalas žmogaus sveikatai yra mažiau žalingas. Nediegiant ekonomizaizerio didėja KD emisija – tai atsispindi ir išorinių kaštų skaičiavimuose. Šiuo atveju vienai sugenerotai kilovatvalandei elektros energijos daroma poveikio aplinkai žala yra didžiausia. Vertinimo metu nagrinėjamas tik energijos gamybos procesas, susijęs tik su kuro deginimu ir degimo produktų išmetimu per kaminą.

Didžiausia žala iš skirtingo poveikio žmogaus sveikatai rūšių visais atvejais išlieka lėtinis žmonių mirtingumas, kuris, vertinant abu skirtingo kuro atvejus, sudaro daugiau nei du trečdalius visos sukuriamos žalos sumos. Mažiausią žalą iš visų teršalų sudarė SO_2 emisijos, kurios gali būti ir nevertinamos dėl santykinai mažos daromos žalos sumos.

Analizuojant gamtines dujas pastebėta, kad kamino aukštį padidinus 200 %, metinė energijos gamybos poveikio aplinkai žala sumažėja 27,75 %, o išoriniai kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, sumažėja 28,04 %. Elektrinėje atsisakius ekonomizaizerio, kietųjų dalelių emisijos išauga 200 %, taip pat 28,5 % padidėja pro kaminą išeinančių degimo produktų temperatūra. Tai lemia, kad metinė energijos gamybos poveikio aplinkai žala sumažėja 10,3 %, o išoriniai kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, padidėja 0,93 %.

Analogiškai vertinant biokuro deginimą pastebėta, kad kamino aukštį padidinus 200 %, metinė energijos gamybos poveikio aplinkai žala sumažėja 33,19 %, o išoriniai kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, sumažėja 33,33 %. Elektrinėje atsisakius ekonomizerio, kietųjų dalelių emisijos išauga 200 %, taip pat 28,5 % padidėja pro kaminą išeinančių degimo produktų temperatūra. Toks rezultatas lemia, kad metinė energijos gamybos poveikio aplinkai žala padidėja 20,16 %, o išoriniai kaštai, tenkantys vienai kilovatvalandei pagaminamos elektros energijos, padidėja 50,36 %.

Išvados

1. Išanalizavus energijos gamybos technologijas ir jų daromą poveikį aplinkai bei žmogaus sveikatai nustatyta, kad pagrindiniais teršalais energetikos sektoriuje laikomi NO_x, SO₂ ir kietosios dalelės bei mažiausią poveikį aplinkai sudaro atsinaujinantys energijos šaltiniai (vėjo, saulės energetika), o daugiausiai aplinką teršia išskastinį kurą deginančios elektrinės (akmens anglis, nafta).
2. Išanalizavus energijos gamybos poveikio aplinkai ekonominio vertinimo metodikas pastebėta, kad plačiausiai taikomas išorinių kaštų vertinimo modelis – EcoSense. Šis modelis taiko poveikio įvertinimo principą, kurio algoritmas susideda iš emisijos ir dispersijos vertinimo, poveikio reakcijos funkcijos taikymo ir poveikio monetizavimo. Poveikio aplinkai vertinimui atlikti pasirinktas SIMPACTS modelis, atitinkantis supaprastintą EcoSense modelio taikymą.
3. Atlikus gamtines dujas ir biokurą deginančių elektrinių modeliavimą nustatyti energijos gamybos metu atsirandantys išoriniai kaštai dėl poveikio žmogaus sveikatai. Nustatyta, kad oro tarša didžiausią poveikį sukelia bendrajam visų amžiaus grupių populiacijos lėtiniam mirtingumui (~68 %). Gamtines dujas deginančių elektrinių išmetimai pasižymi dideliais NO_x išmetimais, o biokuro – kietosiomis dalelėmis (~80 %). Nustatyta, kad gamtinių dujų elektrinės išoriniai kaštai – 0,0107 Eur ct/kWh, biokuro elektrinės – 0,0276 Eur ct/kWh. Bendra daromos žalos kaina per metus deginant dujas yra 15,004 tūkst. Eur, deginant biokurą – 38,642 tūkst. Eur.
4. Atlikus poveikio aplinkai jautrumo analizę nustatyta, kad didelę įtaką gaminant elektros energiją žmogaus sveikatai daro kietosios dalelės. Kamino aukštį padidinus 200 %, gamtines dujas deginančių elektrinių išoriniai kaštai dėl poveikio žmogaus sveikatai sumažėja 28,04 % ir yra 0,0077 Eur ct/kWh, deginant biokurą – 33,33 % ir yra 0,0184 Eur ct/kWh. Elektrinėse atsisakius ekonomazerio, išoriniai kaštai deginant gamtines dujas padidėja nuo 0,93 % iki 0,0108 Eur ct/kWh, deginant biokurą – nuo 50,36 % iki 0,0415 Eur ct/kWh.

Literatūros sąrašas

- [1], „Global environmental issues related to energy supply: The environmental case for increased efficiency of energy use“. John P. Holdren [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-10] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544287900533>
- [2] JUNGTTINIŲ TAUTŲ BENDROJO KLIMATO KAITOS KONVENCIJA IR KIOTO PROTOKOLAS. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://www.apva.lt/sajungos-siltnamio-efekta-sukelianciu-duju-registras/jungtiniu-tautu-bendrojo-klimato-kaitos-konvencija-ir-kioto-protokolas/>
- [3] CNN World. Kyoto protocol facts [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://edition.cnn.com/2013/07/26/world/kyoto-protocol-fast-facts/index.html>
- [4] TOLIMŲ ORO TERŠALŲ PERNAŠŲ KONVENCIJA. e-seimas.lrs.lt aprašomasis dokumentas. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-22]. Prieiga per: https://e-seimas.lrs.lt/rs/legalact/TAD/TAIS.129205/format/ISO_PDF/
- [5] Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija. Energija Lietuvos ateičiai [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: https://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf
- [6] NASA. Exploring the Environment Project. Greenhouse Gases and Temperature. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-22] Prieiga per: http://ete.cet.edu/gcc/?/globaltemp_ghgandtemp/
- [7] National Climatic Data Center. Temperature Change and Carbon Dioxide Change. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-20] Prieiga per: <https://www.ncdc.noaa.gov/global-warming/temperature-change>
- [8] Pasaulio klimato kaitos apribojimas iki 2 Celsijaus laipsnių. Gairės 2020 metams ir vėliau. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-22] Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:LT:PDF>
- [9] Ecometrica. Greenhouse Gases, CO₂, CO_{2e}, and Carbon: What Do All These Terms Mean? – Matthew Brander [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>
- [10] IEA. World Energy Outlook. 2019. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-11] Prieiga per: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- [11] EDGAR. Emission database. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2018>
- [12] CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions by Hannah Ritchie and Max Roser [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

- [13] *Reducing Carbon Dioxide Emissions from Electricity Sector Using Smart Electric Grid Applications*. Lamiaa Abdallah, Tarek El-Shennawy [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://new.hindawi.com/journals/je/2013/845051/>
- [14] *Is CO2 Pollution?*- John Englander. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://www.johnenglander.net/sea-level-rise-blog/is-co2-pollution/>
- [15] International Energy Agency. *World Energy Outlook Special Report Energy and Air Pollution* [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
- [16] IEA special study. „Energy and Air pollution“ [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-03] Prieiga per: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13467/1/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>
- [17] Comprehensive Energy Systems. Volume 1. *Energy and Air Pollution by Zihua Wang* [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128095973001279>
- [18] The Full Costs of Electricity. NEA – Nuclear Energy Agency policy brief. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-12-18] Prieiga per: <http://www.oecd-nea.org/policy/fullcosts-pb.pdf>
- [19] The Social Costs of Electricity Generation—Categorising Different Types of Costs and Evaluating Their Respective Relevance. Sascha Samad. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-11] Prieiga per: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/3/356>
- [20] Kaap k. W. *The Social Costs of Private Enterprise*. Cambridge, 1950 [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: <http://www.kwilliam-kapp.de/documents/SCOPE.pdf>
- [21] Valuation of externalities through neo-classical methods by including institutional variables. Barbara E. Baarsmaa; Jan G. Lambooy; [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920905000465>
- [22] T. Tietenberg. L. Lewis. *Environmental and natural resource economics* [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: https://himayatullah.weebly.com/uploads/5/3/4/0/53400977/environmental_and_natural_resource_economics_by_tom_tietenberg_9th_edition.pdf
- [23] Rafaj P., Kypreos S. *The role of nuclear energy in the post-Kyoto carbon mitigation strategies. Climatic change*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/8571/>
- [24] A. Owen. *Renewable energy: Externality cost as market barriers*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/222396145_Renewable_energy_Externality_costs_as_market_barriers

- [25] Elektros energijos gamybos šaltinių išorinių kaštų Lietuvoje vertinimas. Dalia Štreimikienė; Ilona Ališauskaitė-Šeškienė; [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-12] Prieiga per: <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/energetika/article/view/2615/1451>
- [26] Technology-specific Cost and Performance Parameters. Thomas Bruckner (Germany), Lew Fulton (USA), Edgar Hertwich (Austria/Norway), Alan McKinnon (UK/Germany), Daniel Perczyk (Argentina), Joyashree Roy (India), Roberto Schaeffer (Brazil), Steffen Schlömer (Germany), Ralph Sims (New Zealand), Pete Smith (UK), Ryan Wiser (USA). [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf
- [27] Roberto Turconi, Alessio Boldrin, Thomas Astrup, „*Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: Overview, comparability and limitations*“ 2013, Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Denmark [interaktyvus] [žiūrėta 2019-06-18] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113005534>
- [28] True cost of electric power. Dallas Burtaw and Alan Krupnic. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-18]. Prieiga per: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/06/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick.TrueCosts_Summary_web.pdf
- [29] External Costs. Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport. European Commission. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-24] Prieiga per: http://www.externe.info/externe_2006/externpr.pdf
- [30] ExternE. External costs of Energy website. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-24] Prieiga per: http://www.externe.info/externe_d7/
- [31] ExternE. Externalities of Energy Methodology 2005 Update. Peter Bickel and Rainer Friedrich. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-23]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/232075838_ExternE_Externalities_of_Energy_Methodology_2005_Update
- [32] Health Care Burden of Cardiorespiratory Diseases Caused by Particulate Matter and Chemical Air Pollutants. Mihir Invalry, Ginpreet Kaur, Gavneet Kaur, Bhullar Sukhwinder. [interaktyvus], [žiūrėta 2020-04-28]. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/326723385_Health_Care_Burden_of_Cardiorespiratory_Diseases_Caused_by_Part particulate_Matter_and_Chemical_Air_Pollutants
- [33] Overview of Overview of Simpacts Simpacts methodology methodology and computer tools. Joseph V. SPADARO. [interaktyvus] [žiūrėta 2020.01.24] Prieiga per: <http://indico.ictp.it/event/a0266/session/7/contribution/4/material/0/0.pdf>
- [34] ENERGIJOS GAMYBOS ŠALTINIŲ IŠORINIŲ KAŠTŲ VERTINIMAS. Algirdas Čižiūnas. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-24] Prieiga per: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:28843253/28843253.pdf>

- [35] IAEA Tools and Methodologies for energy system planing and nuclear energy system assessments. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-01-24] Prieiga per: <https://ledsgp.org/wp-content/uploads/2015/10/IAEA-tools-and-methodologies-brochure.pdf>
- [36] Biokuro katilinės. Techniniai parametrai. KAUNO MIESTO MIKRORAJONŲ ŠILUMOS TIEKIMO SPECIALIOJO PLANO ATNAUJINIMAS. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-30] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/lasupplement/TAD/60455f50123311e6aa14e8b63147ee94/658d7420123311e6aa14e8b63147ee94/>
- [37] Panevėžio elektrinė. Techniniai parametrai. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-03-30] Prieiga per: <https://www.pe.lt/lt/>
- [38] Įmonė „Enerstena“ esamų katilinių projektai. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-07] Prieiga per: <https://www.enerstena.lt/lt/references>
- [39] Biosferos apsauga šiluminėje energetikoje. P.Švenčianas 1994m, Kaunas., Technologija. UDK 502.55; 621.311; 621.928
- [40] Elevation finder. Aukštis virš jūros lygio. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-07] Prieiga per: <https://www.freemaptools.com/elevation-finder.htm>
- [41] VERT (anksčiau VKEKK) „KOGENERACINIŲ JĖGAINIŲ ŠILUMOS IR ELEKTROS ENERGIJOS SAŪNAUDŲ ATSKYRIMO METODIKA“ [Interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-07]. Prieiga per: http://www.vkekk.lt/SiteAssets/teises-aktai/O3-107_RedakcijaNr_5.pdf
- [42] Atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimo ir energijos vartojimo efektyvumo didinimo technologiniai sprendimai – Lietuvos įmonių patirtis. Kondensacinis ekonomizeris. [interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-11] Prieiga per: [http://electra2020.eu/sites/default/files/Baltrusaitis R. Axis Industries 2010 05 13.pdf](http://electra2020.eu/sites/default/files/Baltrusaitis_R._Axis_Industries_2010_05_13.pdf)
- [43] Aplinkos apsaugos inžinerija. Jūratė Nadzeikienė. [Interaktyvus] [žiūrėta 2020-04-17] Prieiga per: <http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/2008/1/Aplinkos%20apsaugos%20inzinerija.pdf>

Priedai

1 priedas. Eksperimentiniu būdu nustatytos, skirtingą kurą deginančių katilų teršalų emisijos

„Išmetamų į atmosferą teršalų nacionalinių emisijos faktorių nustatymas energetikos, pramonės ir žemės ūkio veiklose”. Autoriai: dr. Steigvilė Byčenkienė dr. Kristina Plauškaitė – Šukienė, dr. Inga Konstantinavičiūtė, dr. Nerijus Pedišius, dokt. Deimantė Čepauskienė

Teršalas	Mata- vimo vnt,	Standartinė EF reikšmė (EMEP/EEA, 2016), g/GJ	95% pasikliautinimo intervalas (EMEP/EEA, 2016)		Eksperimentiniu būdu nustatyta EF reikšmė, g/GJ	95% pasikliautinimo intervalas	
			Min	Max		Min	Max
Katilai (50 kW - 1 MW) deginantys gamtines dujas							
NO _x	g/GJ	73	44	103	48,6	20,0	77,0
CO	g/GJ	24	18	42	7,3	7,0	82,4
NMVOG	g/GJ	0,36	0,2	0,5	0,29	0,05	0,95
SO ₂	g/GJ	1,4	0,83	1,95	-	-	-
NH ₃	g/GJ	-	-	-	0,13	0,09	0,31
KD _{2,5}	g/GJ	0,45	0,27	0,63	0,43 ¹	0,05	0,95
Katilai (1 – 50 MW) deginantys gamtines dujas							
NO _x	g/GJ	40	30	55	40,5 ¹	27,2	51,6
CO	g/GJ	30	15	30	5,2	2,8	9,9
NMVOG	g/GJ	2	1,2	2,8	1,68	1,13	2,47
SO ₂	g/GJ	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3
NH ₃	g/GJ	-	-	-	0,14	0,05	0,15
KD _{2,5}	g/GJ	0,45	0,27	0,63	0,5 ¹	0,2	1,4
Katilai (50 kW - 1 MW) deginantys akmens angli							
NO _x	g/GJ	160	150	200	11,2 ^{**}	6,2	217,8
CO	g/GJ	2000	200	3000	177,9 ^{**}	9,7	776,3
NMVOG	g/GJ	200	20	300	2,7 ^{**}	-	6,8
SO ₂	g/GJ	900	450	1000	7,3 ^{**}	1,1	274,9
NH ₃	g/GJ	-	-	-	0,4 ^{**}	0,03	0,7
KD _{2,5}	g/GJ	170	72	220	46,8 ^{**}	6,4	87,2
Katilai (1 – 50 MW) deginantys akmens angli							
NO _x	g/GJ	180	150	200	14,3 ¹	7,0	20,2
CO	g/GJ	200	150	3000	162,9 ^{**}	31,1	1100,1
NMVOG	g/GJ	20	10	300	5,5 ^{**}	1,2	22,2
SO ₂	g/GJ	900	450	1000	24,5	6,9	69,1
NH ₃	g/GJ	-	-	-	0,91	0,04	5,96
KD _{2,5}	g/GJ	72	60	220	54,6 ^{**}	25,4	216,2
Katilai (50 kW - 1 MW) deginantys skystąjį kurą							
NO _x	g/GJ	100	50	150	59,5	16,9	102,0
CO	g/GJ	40	24	40	6,1	-	-
NMVOG	g/GJ	15	9	15	13,7	4,0	23,4
SO ₂	g/GJ	140	84	140	43,1	5,2	82,8
NH ₃	g/GJ	-	-	-	1,1	0,5	1,7
KD _{2,5}	g/GJ	3	0,75	6	5,9	1,0	10,8
Katilai (1 – 50 MW) deginantys skystąjį kurą							
NO _x	g/GJ	100	50	150	56,5	53,3	102,9
CO	g/GJ	40	20	80	13,2	6,7	15,9
NMVOG	g/GJ	5	2	15	3,3	2,2	7,2
SO ₂	g/GJ	140	84	140	88,1	69,8	196,2
NH ₃	g/GJ	-	-	-	0,16	0,11	0,89
KD _{2,5}	g/GJ	30	7,5	60	1,5	1,1	4,1
Katilai (50 kW - 1 MW) deginantys biokurą							
NO _x	g/GJ	91	20	120	29,6	12,2	66,6
CO	g/GJ	435	50	4000	320,8 ^{**}	37,0	1064,6
NMVOG	g/GJ	156	5	400	7,1	1,9	15,3
SO ₂	g/GJ	11	8	40	1,8	0,3	5,7
NH ₃	g/GJ	37	18	74	16,4 ¹	4,2	37,0
KD _{2,5}	g/GJ	98,5	38,5	154	27,7 ¹	8,5	39,7
Katilai (1 – 50 MW) deginantys biokurą							
NO _x	g/GJ	210	50	300	16,0	8,8	39,8
CO	g/GJ	300	50	4000	11,6	-	311,3
NMVOG	g/GJ	12	5	300	4,2	-	27,2
SO ₂	g/GJ	11	8	40	0,1	-	1,7
NH ₃	g/GJ	37	18	74	0,7	0,4	1,2
KD _{2,5}	g/GJ	37	18	74	5,9	3,0	11,4

2 priedas. Jautrumo analizė SIMPACTS modeliavimo rezultatų lentelė

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]		Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]z	
			GD2	B2	GD2	B2	GD3	B3	GD3	B3
			2 kartus didinamas kamino aukštis				Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomizerio			
1.	KD	Bendras populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.057	0.974	839.16	14242.30	0.134	1.959	1963.98	28646.67
2.	KD	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.000	0.000	7.55	128.18	0.000	0.001	17.68	257.82
3.	KD	Bendras populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.000	0.007	9.06	153.81	0.001	0.014	21.21	309.38
4.	KD	Bronchų plečiavimo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	0.452	7.668	0.14	2.41	1.057	15.423	0.33	4.86
5.	KD	Bronchų plečiavimo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.053	0.892	0.02	0.28	0.123	1.794	0.04	0.56
6.	KD	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	4.411	74.869	49.22	835.35	10.324	150.590	115.19	1680.20
7.	KD	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	2.950	50.073	32.92	558.69	6.905	100.717	77.04	1123.74
8.	KD	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	3.390	57.542	128.64	2183.38	7.935	115.738	301.08	4391.61
9.	KD	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.384	6.519	5.14	87.28	0.899	13.112	12.04	175.55

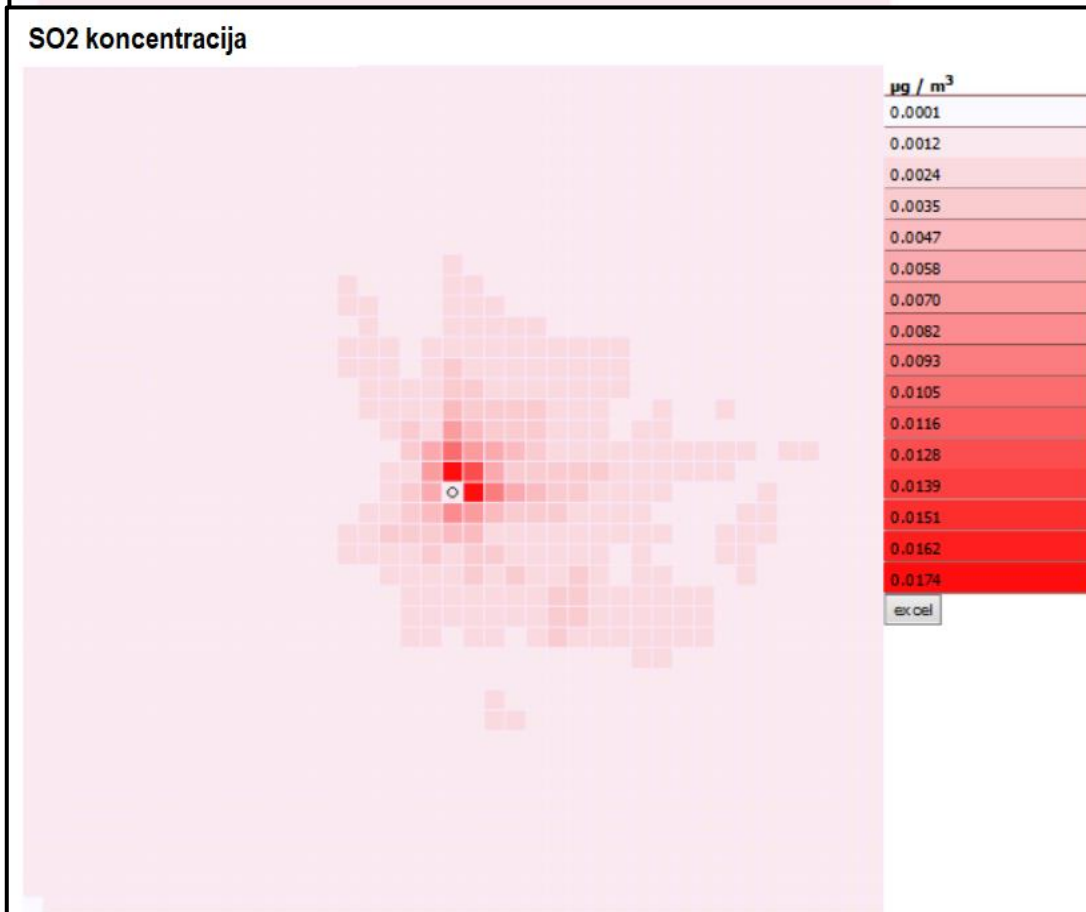
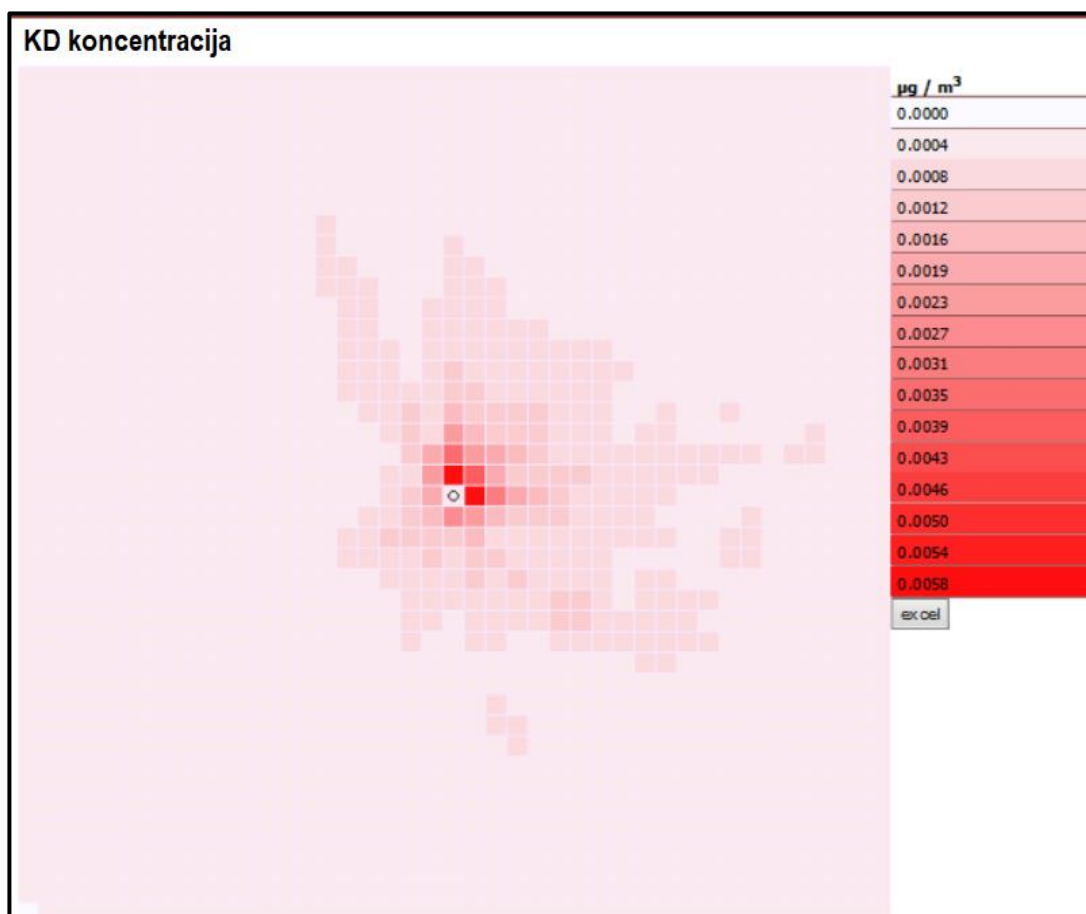
Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]		Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]z	
			GD2	B2	GD2	B2	GD3	B3	GD3	B3
			2 kartus didinamas kamino aukštis				Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomizerio			
10.	KD	Bendrasis populiacijos širdies ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.001	0.010	0.35	6.02	0.001	0.021	0.83	12.12
11.	KD	Bendrasis populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.001	0.017	0.58	9.78	0.002	0.033	1.35	19.68
12.	KD	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.003	0.044	152.68	2591.27	0.006	0.089	357.33	5212.03
13.	SO ₂	Bendrasis populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.002	0.001	24.22	14.74	0.002	0.001	24.68	12.27
14.	SO ₂	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.000	0.000	0.22	0.13	0.000	0.000	0.22	0.11
15.	SO ₂	Bendrasis populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.000	0.000	0.26	0.16	0.000	0.000	0.27	0.13
16.	SO ₂	Bronchų plečiavimo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	0.013	0.008	0.00	0.00	0.013	0.007	0.00	0.00
17.	SO ₂	Bronchų plečiavimo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.006	0.003	0.00	0.00	0.006	0.003	0.00	0.00
18.	SO ₂	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	0.127	0.077	1.42	0.86	0.130	0.065	1.45	0.72

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]		Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]z	
			GD2	B2	GD2	B2	GD3	B3	GD3	B3
			2 kartus didinamas kamino aukštis				Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomizerio			
19.	SO ₂	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.085	0.052	0.95	0.58	0.087	0.043	0.97	0.48
20.	SO ₂	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.098	0.060	3.71	2.26	0.100	0.050	3.78	1.88
21.	SO ₂	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	0.011	0.007	0.15	0.09	0.011	0.006	0.15	0.08
22.	SO ₂	Bendras populiacijos širdies ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.000	0.000	0.01	0.01	0.000	0.000	0.01	0.01
23.	SO ₂	Bendras populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.000	0.000	0.02	0.01	0.000	0.000	0.02	0.01
24.	SO ₂	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.000	0.000	4.41	2.68	0.000	0.000	4.49	2.23
25.	NO _x	Bendras populiacijos lėtinis mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.449	0.234	6572.27	3428.35	0.495	0.215	7242.43	3144.17
26.	NO _x	Kūdikių mirtingumas (vaikai, kurių amžius iki 12 mėnesių)	0.000	0.000	59.15	30.85	0.000	0.000	65.18	28.30
27.	NO _x	Bendras populiacijos ūmus mirtingumas (visos amžiaus grupės)	0.003	0.002	70.98	37.03	0.004	0.002	78.22	33.96

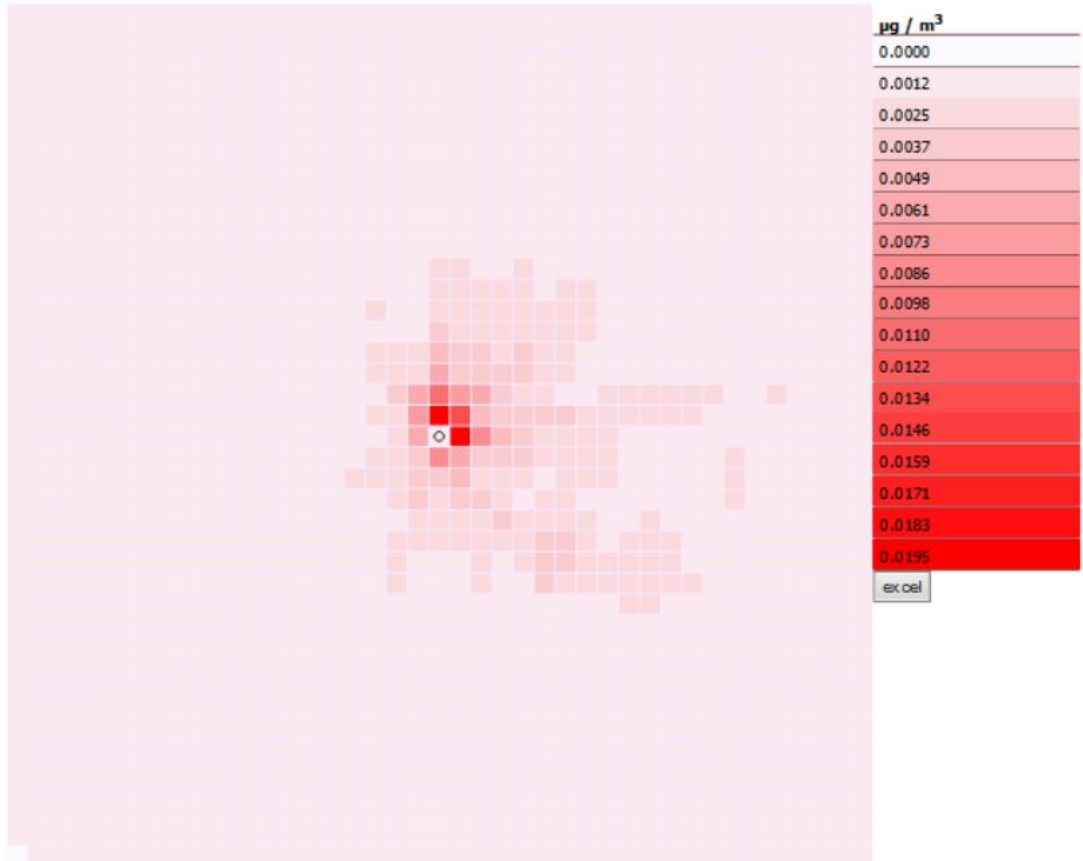
Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]		Poveikis sveikatai [atveju/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]z	
			GD2	B2	GD2	B2	GD3	B3	GD3	B3
			2 kartus didinamas kamino aukštis				Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomaizerio			
28.	NO _x	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys virš 20 metų amžiaus suaugusieji)	3.539	1.846	1.11	0.58	3.899	1.693	1.23	0.53
29.	NO _x	Bronchų plečiamojo vaisto naudojimas (astma sergantys 5 – 14 metų amžiaus vaikai)	0.402	0.210	0.13	0.07	0.443	0.192	0.14	0.06
30.	NO _x	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (lėtinių kvėpavimo takų sutrikimus turintys suaugusieji)	33.973	17.722	379.06	197.73	37.438	16.253	417.71	181.34
31.	NO _x	Apatinių kvėpavimo takų ligų simptomai (5 – 14 metų amžiaus vaikai)	23.107	12.053	257.81	134.49	25.463	11.054	284.10	123.34
32.	NO _x	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (dirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	25.638	13.374	972.81	507.45	28.252	12.265	1072.00	465.39
33.	NO _x	Ribotos veiklos (nedarbingos) dienos (nedirbantys 15 – 64 metų amžiaus suaugusieji)	2.904	1.515	38.89	20.28	3.201	1.389	42.85	18.60
34.	NO _x	Bendras populiacijos širdies ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.005	0.002	2.78	1.45	0.005	0.002	3.06	1.33
35.	NO _x	Bendras populiacijos kvėpavimo takų ligų gydymo įstaigų užimtumo padidėjimas (visos amžiaus grupės)	0.008	0.004	28.10	14.66	0.009	0.004	30.97	13.44
36.	NO _x	Lėtinis bronchitas (27 metų amžiaus suaugusieji)	0.020	0.011	1195.77	623.76	0.023	0.010	1317.70	572.06

Eil. nr.	Teršalas	Poveikio pavadinimas	Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]		Poveikis sveikatai [atvejų/metus]		Daromos žalos kaina [Eur/metus]	
			GD2	B2	GD2	B2	GD3	B3	GD3	B3
			2 kartus didinamas kamino aukštis				Taršos šaltiniai be kondensacinio ekonomizerio			
37.	KD	Suminis			1225.46	20798.77			2868.10	41834.21
38.	SO ₂	Suminis			35.37	21.53			36.04	17.93
39.	NO _x	Suminis			9578.86	4996.70			10555.58	4582.52
40.	VISI	Suminis			10839.69211	25816.99539			13459.72	46434.66

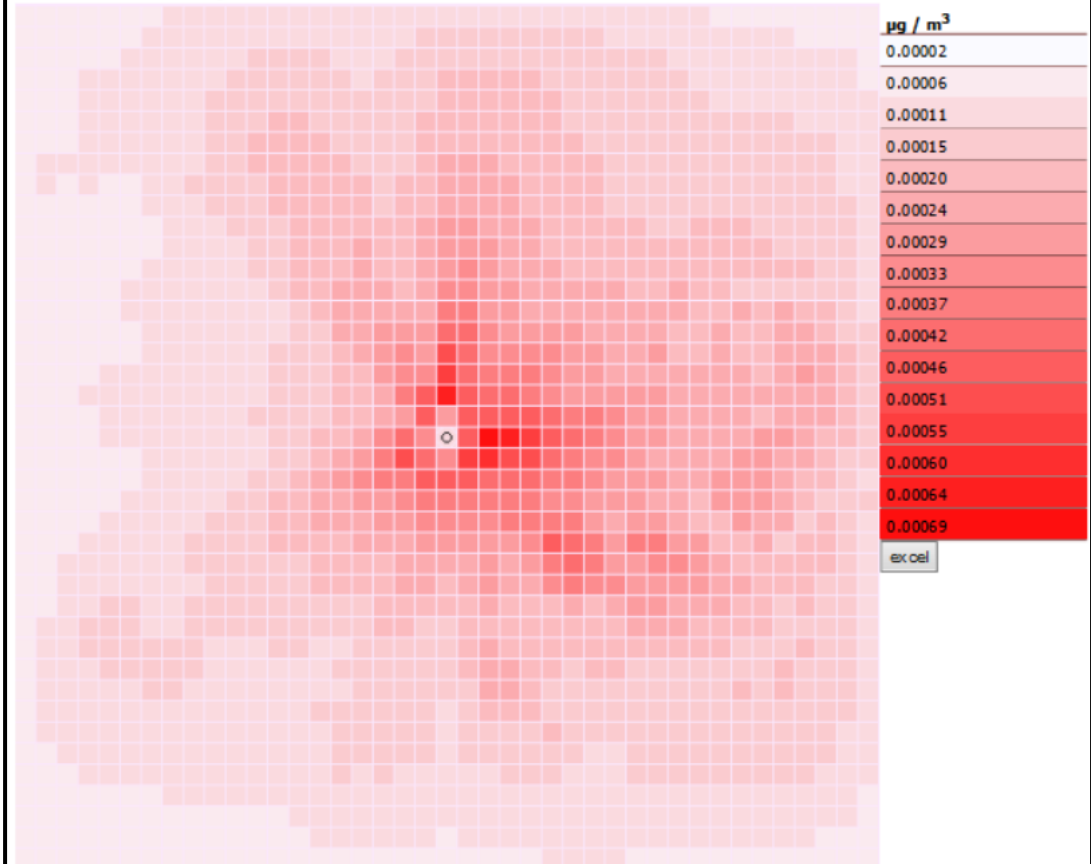
3 priedas. Teršalų koncentracijų sklaidymasis aplinkoje, *SIMPACTS* modeliavimo rezultatai.
Biokuras



NO_x koncentracija



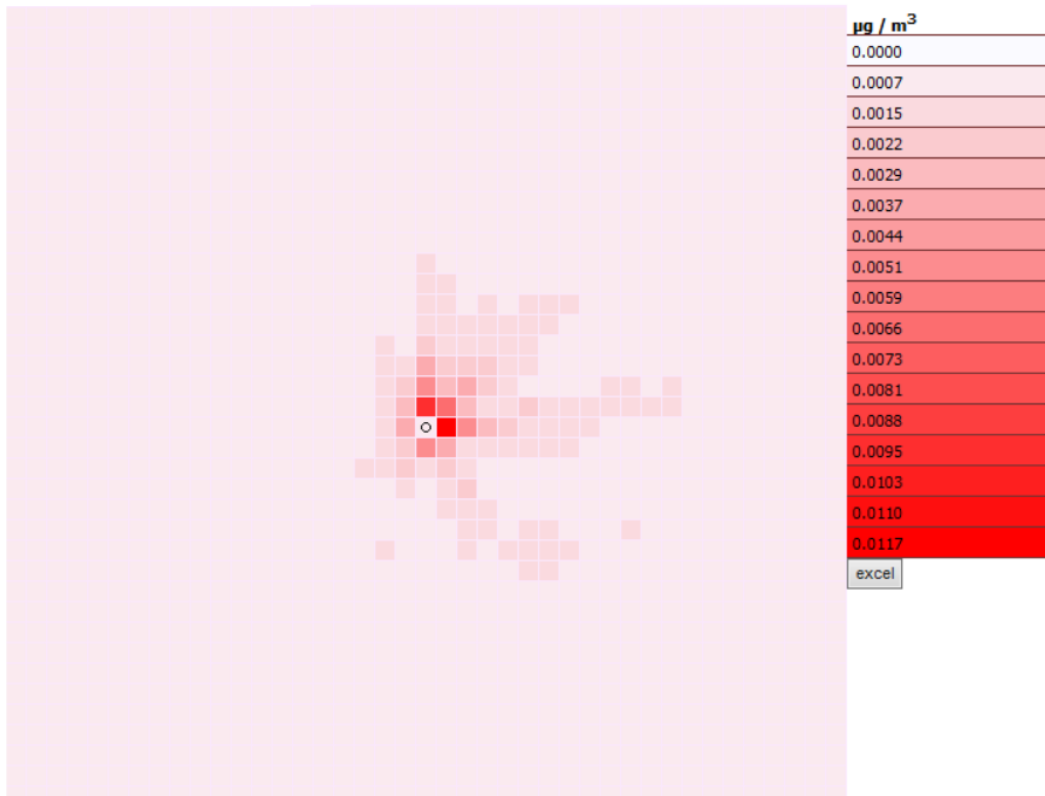
NO₃ koncentracija



4 priedas. Teršalų koncentracijų sklaidymasis aplinkoje, *SIMPACTS* modeliavimo rezultatai.
Gamtinės dujos



NOx Koncentracija



NO3 Koncentracija

