



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Rūta Dirmeikytė

BIOKURO KATILINIŲ ORO TERŠALŲ EMISIJŲ SKAIČIAVIMO
METODIKŲ PALYGINAMASIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. dr. Dainius Martuzevičius

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

BIOKURO KATILINIŲ ORO TERŠALŲ EMISIJŲ SKAIČIAVIMO
METODIKŲ PALYGINAMASIS VERTINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 621H17001)

Vadovas
Doc. dr. Dainius Martuzevičius

Recenzentas
Lekt. Tadas Prasauskas

Projektą atliko
Rūta Dirmeikytė

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Rūta Dirmeikytė

(Studento vardas, pavardė)

M1016M21 Aplinkosaugos inžinerija (621H17001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Biokuro katilinių oro teršalų emisijų skaičiavimo metodikų lyginamasis vertinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 ____ m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Rūtos Dirmeikytės, baigiamasis projektas tema „Biokuro katilinių oro teršalų emisijų skaičiavimo metodikų palyginamasis 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)

Dirmeikytė Rūta. „Biokuro katilinių oro teršalų emisijų skaičiavimo metodikų palyginamasis vertinimas“. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Dainius Martuzevičius; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, bendroji inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *biokuras, biokatilinė, emisija, metodika*.

Kaunas, 2016. 66 p.

SANTRAUKA

Didėjantis poreikis energijai, senkantys iškastinio kuro rezervai bei klimato šiltėjimas skatina žmoniją ieškoti alternatyvių energijos šaltinių bei oro taršą mažinančių priemonių. Atsinaujanti energija –viena iš labiausiai šiuo metu taikomų sričių tiek pramonės sektoriuose tiek namų ūkiuose. Biomasės naudojimas energijos gavimui yra perspektyviausias atsinaujantis išteklius Lietuvoje. Kadangi šalis yra tinkamoje geografinėje srityje, biomasė yra lengvai gaunama ir pritaikoma naudojimui.

Katilus kūrenant kietu kuru susidaro itin nestabilūs emisijų išmetimai. Taip yra todėl, kad degimo procesas yra kintantis, o tai nulemia įvairaus dydžio kuro kiekis bei galimas netolygus degimas. Kadangi to negalima išvengti, būtina nustatyti emisijų matavimo tvarką vykdant tokių katilų veikimo kontrolę. Kad biomasės naudojimas pateisintų lūkesčius pagerinti oro kokybę ir kuo mažiau teršti aplinką, svarbu ne tik įrengti modernius ir kokybiškus katilus bei degimo produktų valymo įrenginius, bet ir tinkamai kontroliuoti teršalų kiekį patenkanti į aplinką deginant biomasę. Viena iš galimų emisijos vertinimų priemonių yra emisijų skaičiavimo metodikos, tokios kaip: Nacionalinė LAND, Leningrad, EMEP ir kt.

Darbo metu atliktų skaičiavimų rezultatai pagal skirtingas metodikas parodo, kad projektuotojai planuodami naujus kuro įrenginius ir dažniausiai naudodami LAND vertes stipriai pervertina galimą poveikį aplinkai ir taip apdraudžia įmones nuo eksploatavimo metu padidėjančios taršos bei rezervuoja tam tikrą taršos limitą toje teritorijoje, nes nei vienos iš skaičiavimo metodikų gautos emisijos ribinių verčių neviršijo.

Rūta Dirmeikytė. *Comparative Assessment of Methods for the Calculation of Biomass Combustion Plant Air Pollutant Emissions: Master's thesis in General Engineering*. Supervisor assoc. prof. Dainius Martuzevičius. The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, General Engineering.

Key words: *biofuels, boiler, emissions, methodology*.

Kaunas, 2016. 66 p.

SUMMARY

Increasing demand for energy, decreasing sources of fossil fuels reserves and climate change provoke the mankind to search for alternative energy sources and means for decreasing air pollution. Renewable energy – one of the most applicable spheres these days both in the industry sector and in the household. The use of biomass to produce energy is one of the most promising renewable sources in Lithuania. Because of the country's beneficial geographical zone, the biomass is easily obtained and made applicable for using.

By operating solid fuel boilers, exceptionally unstable emissions are formed. This happens because combustion process is intermittent and that is determined by fuel of various amounts as well as possible uneven burning process. As this is inevitable, a procedure for measuring emissions must be determined while implementing inspection of such boilers. In order for the use of biomass to meet expectations of increasing the air quality and decreasing pollution, not only it is important to set up modern qualitative boilers and cleaning equipment for combustion products but also to properly control emissions which are released in the environment during burning of biomass. One of the possible ways to measure emissions is methods of counting emissions such as National LAND, Leningrad, Emep and others.

Results of calculations done in the research according to different methods show that designers while planning new fuel equipment and often using LAND values, strongly overestimate the possible effect on the environment in this way securing companies from increased pollution from operation and reserve a certain limit in that territory because none of the emissions with different calculation methods exceed the limit value.

TURINYS

SANTRAUKA	4
SUMMARY	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
PRIEDŲ SĄRAŠAS.....	10
ĮVADAS	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1 Biomasė kaip kuras.....	13
1.2 Biomasės cheminė sudėtis.....	15
1.3 Biomasės deginimas ir procesai.....	17
1.3.1 Biomasės mišinių deginimas	19
1.3.2 Teršalai susidarantys biomasės degimo metu.....	20
1.4 Teršalai susidarantys degimo metu mažuose (<50mw) deginimo įrenginiuose.....	23
1.5 Biomasės kaip kuro taikymo tendencijos Lietuvoje	24
2. METODINĖ DALIS.....	26
2.1 Skaičiavimo scenarijai	26
2.2 Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodika	26
2.3 EMEP metodika.....	28
1.4 Australijos NPI metodika	29
2.5 Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos (LAND 43-2014, Nr. D1-226).....	30
2.6 Išmetamų teršalų iš didelių kurų deginančių įrenginių normos (Land 43- 2015, Nr. D1-728) 30	
2.7 Rezultatų apdorojimo programinė įranga ir sistemos	31
2.7.1 ADMS 5 oro kokybės modeliavimo sistema	31
2.7.2 Statistica 7 ir Excel 2010	32
3. REZULTATAI	33
3.1 Koeficientų reikšmė skaičavimams pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką.....	33
3.2 Teršalų emisijų skaičavimai pagal metodikas	34
3.3 Teršalų sklaidos skaičavimai.....	47
IŠVADOS	56
LITERATŪROS SĄRAŠAS	58

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Biomase – atsinaujinantis energijos išteklius [38].....	13
1.2 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal perdirbimo laipsnį [26].....	15
1.3 pav. Schematiškai pavaizduota biomasės sudėtis [34].....	17
1.4 pav. Biomasės degimo metu susidarančių teršalų grafinė reakcijų schema [30].....	21
1.5 pav. Biomasės azoto konversijos degimo metu [18].....	23
2.1 pav. CO koncentracijos kontūro brėžinys pagal ADMS 5.....	31
3.1 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	34
3.2 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW.....	34
3.3 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	35
3.4 pav. NO _x emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	36
3.5 pav. NO _x emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW.....	36
3.6 pav. NO _x emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	37
3.7 pav. KD _{2,5} emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	38
3.8 pav. KD _{2,5} emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW.....	38
3.9 pav. KD _{2,5} emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	39
3.10 pav. KD ₁₀ emisija, kai biokuro katilinės galia 5MW.....	40
3.11 pav. KD ₁₀ emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW.....	40
3.12 pav. KD ₁₀ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	41
3.13 pav. SO ₂ emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	41
3.14 pav. SO ₂ emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW.....	42
3.15 pav. SO ₂ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	43
3.16 pav. LOJ emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	43
3.17 pav. LOJ emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW.....	44
3.18 pav. LOJ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW.....	44
3.19 pav. CO µg/m ³ sklaidos rezultatai.....	47
3.20 pav. NO ₂ µg/m ³ sklaidos rezultatai.....	48
3.21 pav. KD ₁₀ µg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	49
3.22 pav. KD ₁₀ µg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	50
3.23 pav. KD ₁₀ µg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	51
3.24 pav. SO ₂ µg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	51

3.24 pav. SO ₂ µg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	51
3.25 pav. SO ₂ µg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	51
3.26 pav. LOJ µg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	52
3.27 pav. LOJ µg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Biomasės klasifikacija atsižvelgiant į šaltinį ir kilmę [27].....	14
2.3 lentelė. Kuro pelenais surišama SO ₂ dalis [5].....	28
2.3 lentelė. Emisijos faktoriai, kai biomasė naudojama < 50 MW galios įrenginiuose, g/Gj[7]...29	
2.4 lentelė. Emisijos faktorius, kai emisijos lygis nekontroliuojamas, kg/metus [3].....	29
2.5 lentelė. Išmetamų teršalų ribinė vertė, mg/Nm ³ [12].....	30
2.6 lentelė. Išmetamų iš esamų kurą deginančių įrenginių teršalų ribinės vertės, mg/Nm ³ [13]...30	
3.1 lentelė. Koeficientų nustatytos vidutinės ir lyginamosios vertės [21].....	33
3.2 lentelė. CO μg/m ³ sklaidos rezultatai.....	48
3.3 lentelė. NO ₂ μg/m ³ sklaidos rezultatai.....	49
3.4 lentelė. KD ₁₀ μg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	50
3.5 lentelė. KD ₁₀ μg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	51
3.6 lentelė. KD _{2,5} μg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	51
3.7 lentelė. SO ₂ μg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	52
3.8 lentelė. SO ₂ μg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	53
3.9 lentelė. LOJ μg/m ³ sklaidos rezultatai (1 val.).....	54
3.10 lentelė. LOJ μg/m ³ sklaidos rezultatai (24 val.).....	55

PRIEDŲ SĄRAŠAS

1 priedas. Skaičiavimams naudojamo kuro parametrai ir techniniai rodikliai.....	58
2 priedas. Emisijų skaičiavimo rezultatai.....	59
3 priedas. Vėjo rožė sumodeliuota naudojant adms 5 sistemą.....	61

IVADAS

Šiais laikais yra madinga kalbėti apie atsinaujinančius energijos šaltinius, nes visą pasaulį vienija didelė problema – klimato šiltėjimas. Jau 1992 metais buvo sprendžiama kaip stabilizuoti šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją atmosferoje, kurių pagrindinis šaltinis yra transporto bei pramonės sektoriai. Šiuo metu prie didelių teršalų koncentracijų ore stipriai prisideda ir namų ūkiai, kuriuose norint išgauti šilumą yra deginamas ne tik kuras, bet ir įvairios kilmės atliekos.

Atsinaujinančio šaltinio sąvoka neretai yra siejama tik su saulės ar vėjo energija. Miške nukritę spygliai, medžių šakos ar šiaudai gali būti panaudojami kaip atsinaujinantis išteklius. Todėl yra būtina nagrinėti biomasės kaip kuro panaudojimą, galimybes bei naudą.

Temos aktualumas. Katilus kūrenant kietu kuru susidaro itin nestabilūs emisijų išmetimai. Taip yra todėl, kad degimo procesas yra kintantis, o tai nulemia įvairaus dydžio kuro kiekis bei galimas netolygus degimas. Kadangi to negalima išvengti, būtina nustatyti emisijų matavimo tvarką vykdamas tokių katilų veikimo kontrolę. Kad biomasės naudojimas pateisintų lūkesčius pagerinti oro kokybę ir kuo mažiau teršti aplinką, svarbu ne tik įrengti modernius ir kokybiškus katilus bei degimo produktų valymo įrenginius, bet ir tinkamai kontroliuoti teršalų kiekį patenkanti į aplinką deginant biomasę. Viena iš emisijos vertinimų priemonių yra emisijų skaičiavimo metodikos, tokios kaip: Nacionalinė LAND, Leningrad, EMEP ir kt.

Temos problema. Nacionalinė emisijų skaičiavimo metodika pateikia itin dideles leidžiamas teršalų koncentracijas, todėl reta įmonė viršija normas, o projektuojant naujus kurą deginančius įrenginius rezervuojami per dideli teritorijų plotai. Skaičiuojant skirtingais metodais, teršalų emisijų koncentracijos ženkliai skiriasi, todėl svarbu skaičiavimo metodikas įvertinti ir palyginti.

Pakankamai greitai vystomos naujos technologijos biomasės panaudojimui energijai gaminti, tačiau tiesioginis biokuro deginimas dar ilgai išliks pagrindiniu būdu šilumos ir netgi elektros energijai gaminti mažos ir vidutinės galios įrenginiuose. Daugeliu atveju yra priimtina ir būtina skaičiuoti teršalų emisijas iš kurą deginančių įrenginių. Tačiau skaičiavimams atlikti įprastai yra naudojami tik nacionaliniai metodai, kurių rezultatai laikomi pakankamais. Šio darbo metu skaičiavimai atliekami pagal tris metodikas, kurių rezultatai yra skirtingi ir dėl to privalo būti lyginami.

Darbo tikslas – atlikti biokuro katilinių oro teršalų emisijų skaičiavimo metodikų palyginamąjį vertinimą.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti biomasės kaip kuro privalumus ir trūkumus, naudojimo galimybes bei biomasės kaip kuro taikymo tendencijas Lietuvoje.

2. Pasirinkti skaičiavimo scenarijus ir emisijų skaičiavimo metodikas.
3. Atlikti teršalų susidarymo ir sklaidos modeliavimą pagal pasirinktus scenarijus.
4. Atlikti statistinę rezultatų analizę

Darbo struktūra. Baigiamąjį darbą sudaro įvadas, literatūros apžvalga, metodika, rezultatai, išvados bei literatūros šaltinių sąrašas.

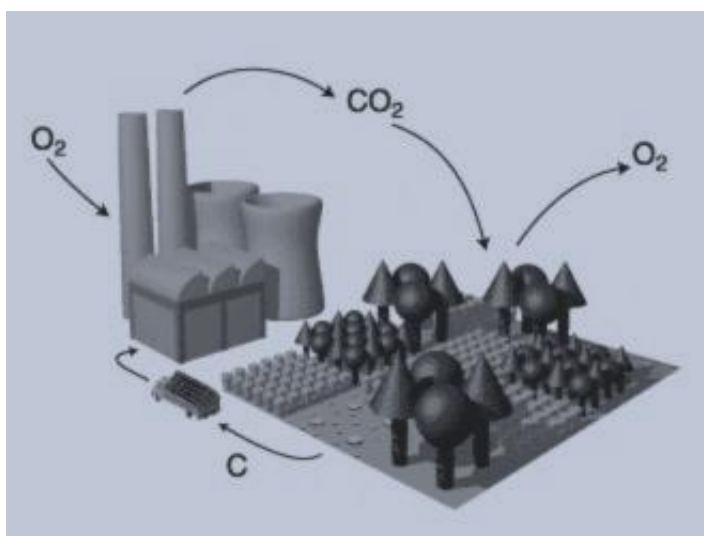
1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Biomasė kaip kuras

Visais laikais žmonijai buvo įprasta gamtinius išteklius naudoti savo reikmėms. Nors dauguma mano, jog biomasė kaip kuras yra pradėta naudoti tik ieškant alternatyvų energijai, senovėje žmonės ją naudojo kaip pagrindinį energijos šaltinį. Pavyzdžiui, mediena, mėšlas ar durpės buvo deginami šimtmečiais siekiant išgauti šilumą ir atlikti pagrindinius darbus [1].

Tačiau tokiu būdu gaunamos energijos tuomet neužteko. Todėl norint išgauti šilumą buvo deginama akmens anglis. Energija buvo naudojama pramonės ar transporto sektoriuose. Jau XVI a., Didžiojoje Britanijoje, buvo baiminamasi, kad šie ištekliai yra riboti bei buvo pastebėta, kad deginant anglį atsiranda oro tarša [2]. Tik XIX a. viduryje buvo pradėta ieškoti alternatyvių energijos išteklių, kurie padėtų išspręsti susidariusias problemas.

Yra pripažinta, kad CO₂ kiekis, kuris susidaro deginant biokurą, neprisideda prie šiltnamio efekto, nes biomasė yra atsinaujinantis išteklius. Todėl ji vertinama kaip perspektyvi alternatyva mažinanti šiltnamio efektą [3]. Biomasė savo gyvavimo laikotarpiu iš atmosferos surenka anglies dioksidą ir fotosintezės būdu jį verčia energija (žr. 1.1 pav.).



1.1 pav. Biomasė – atsinaujinantis energijos išteklius [4].

Deginant biokurą, anglies dioksidas yra vėl išleidžiamas į atmosferą atgal. Tačiau pusiausvyrą padeda palaikyti tai, jog augalus galima sodinti ir auginti ir taip išgauti naujus biomasės produktus. Auginimas įskaitant sodinimą, derliaus nuėmimą, apdorojimą ir transportavimą yra daug mažiau kenkiantis veiksnys aplinkai nei deginimas tradicinio kuro [5].

Todėl po naftos, anglies ir gamtinių dujų, biomasė yra ketvirtas dažniausiai naudojamas pirminės energijos išteklius visame pasaulyje [6]. Remiantis dauguma atliktų skaičiavimų,

bendras biomasės kiekis žemėje yra apie 560 mlrd tonų. Kaip augalų augimo rezultatas, kasmet apie 146 mln. tonų biomasės yra generuojama planetoje [1]. Metinis biomasės energijos suvartojimas šiuo metu sudaro maždaug 8 – 14 % pasaulio galutinio energijos suvartojimo [7]. Todėl, kad biomasės išteklių yra plačiai prieinami ir daugelis šalių turi galimybę naudotis atsinaujinančia energija [3]. Žinoma, kad kiekvienoje šalyje išteklių gali skirtis, nes tam įtaką turi šalies geografinė padėtis, klimatas, gyventojų tankumas ar net išvystytas pramonės lygis.

Biomasė kaip kuras gali būti skirstoma į dvi pagrindines grupes [8]:

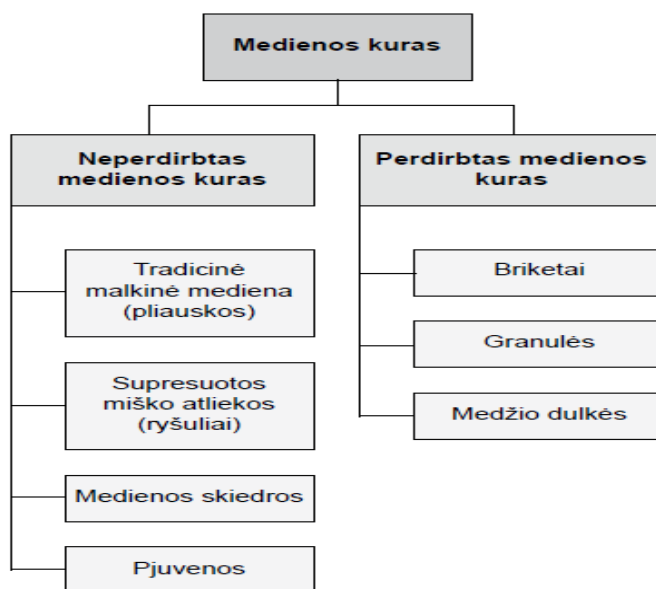
1. Biomasė, kuri auginama tiksliai ir yra skirta naudoti kaip pirminis kuras.
2. Tradicinė biomasė iš namų ūkio.

Kieta biomasė gali būti įvairių formų. Įprastai tai būna rąstai, šiaudai, medienos skiedros, granulės ar atliekos iš žemės ūkio. Biomasė gali būti klasifikuojama pagal kilmę ir šaltinį (žr. 1.1 lentelė).

1.1 lentelė. Biomasės klasifikacija atsižvelgiant į šaltinį ir kilmę [9]

Biomasės grupės	Biomasės pogrupiai ir rūšys
Mediena ir medžio biomasė	Spygliuočiai arba lapuočiai; minkšta ar kieta mediena; stiebai, šakos, lapai, žievė, drožlės, gumbai, granulės, briketai, pjuvenos ir kt.
Žoliniai augalai ir žemės ūkio biomasė	Metiniai arba daugiamečiai augalai: žolės ir gėlės (liucerna, bambukai, bana, kopūstinės daržovės, cukranendrės, motiejukai ir kt.). Šiaudai (miežių, pupelių, linų, kukurūzų, rapsų, ryžių, rugių, saulėgrąžų, kviečių ir kt.). Kitos atliekos (vaisiai, lukštai, kauliukai, grūdai, sėklos, stiebai, burbulės, branduoliai, cukranendrių išspaudos, pašarai ir kt.).
Vandens biomasė	Jūrų ir gėlųjų vandenų dumbliai; makrodumbliai arba planktonas; rudadumbliai, ežero žolės, vandens hiacintai ir kt.
Gyvūnų biomasė	Kaulai, mėsos ir kaulų miltai ir kt.
Pramoninių atliekų biomasė	Kietosios buitinės atliekos, nuotekų dumblas, ligoninių atliekos, popieriaus-celiuliozės dumblas, popieriaus, kartono atliekos, medžio drožlės ir kt.
Biomasės mišiniai	Mišiniai iš visų minėtų rūšių.

Anksčiau biomasė buvo klasifikuojama remiantis iškastinio kuro tarptautiniais standartais ASME, BS, ISO ir kt. Dabar biomasės žaliavų kasifikavimas apima fizines ir chemines specifikacijas ir padeda numatyti biomasės deginimo rezultatą. Biomasės klasifikavimo savybės apima: laikymo, savaiminio įkaitimo potencialus, frezavimo, pirolizės galimybes, dervų, lakių organinių junginių, anglies kiekį, reaktyvumą su deguonimi, neorganinių medžiagų sudėtį ir peleningumą [7]. Biokuras pagal kilmę gali būti skirstomas į kurą iš miškų, iš greitai augančių (energetinių) miškų bei pakartotinai naudojamą medieną. Kita galimybė – klasifikuoti medienos kurą priklausomai nuo to, ar kuras perdirbtas, ar ne (žr. 1.2 pav.) [10].



1.2 pav. Medienos kuro klasifikacija pagal perdirbimo laipsnį [10].

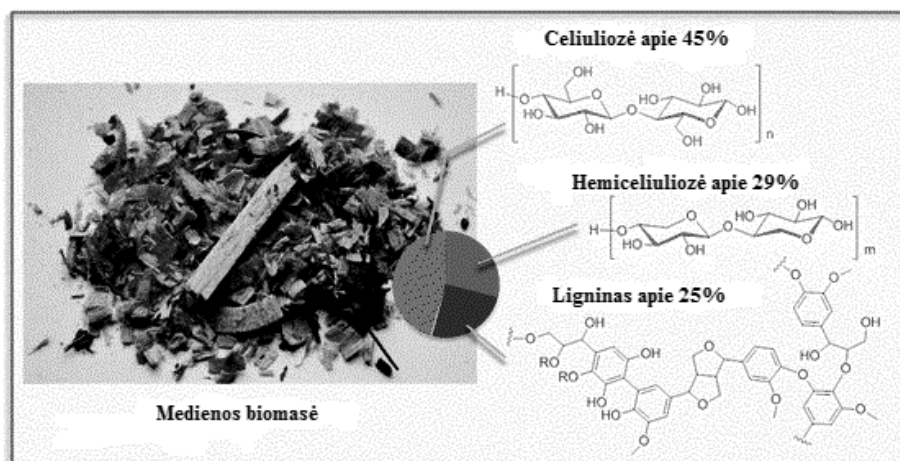
1.2 Biomasės cheminė sudėtis

Biomasė yra kompleksiškas, heterogeniškas mišinys sudarytas iš organinių ir neorganinių medžiagų, kurių sudėtyje yra kietos ir skystos, glaudžiai susijusios fazės ar skirtingos kilmės mineralai. Be to, ji yra nevienalytė ir jos savybės gali skirtis dėl augalų rūšių ar net ir iš tos pačios rūšies augalų [11]. Kietojo kuro identifikavimas, jo cheminė sudėtis yra pirminis ir svarbiausias žingsnis taikant biomasę energijos gavybai, nes pagal kuro kokybę galima numatyti poveikį aplinkai [9].

Visa biomasė turi maistinių medžiagų: N, P, K ir kitas pagrindines medžiagas Ca, Mg, Na ir Si. Gali būti randami ir nedideli kiekiai Mn, Fe, Mo, Cu ir Zn. Visų neorganinių medžiagų koncentracija biomasėje priklauso nuo augimo sąlygų ir derliaus nuėmimo laiko [7]. Medieną

lyginant su šiaudais, drėgmės kiekis medienoje ar jos žievėje yra didesnis [11]. Chloro (Ch) yra randama šiauduose, bet tai yra padarinys kritulių, transporto ar druskų, kurios buvo naudojamos žiemos metu. Paprastai ir kalis (K) dideliais kiekiais būna randamas šiauduose, kai chloro būna nuo 0,2 – 0,97 % sausoje masėje, tai kalio – 0,7 – 1,3 %. Biomasės iš miškų chloro ir kalio kiekiai yra mažesni: Cl įprastai <0,1 %, o K nuo 0,2 – 0,5 %. Žolinių augalų ar žemės ūkio liekanų (pvz. ryžių lukštai) pelenų pagrindinis komponentas yra silicis (Si), o kalcio (Ca) daugiau randama miškų biomasėje [7]. Dideli kiekiai N, S ir Cl žemės ūkio biomasėje nulemia kokie teršalai susidarys deginant biokurą. Tai gali būti azoto oksidai, sieros dioksidai ar vandenilio chloridas. Pastarieji teršalai gali sukelti rūgštų lietu, netiesogiai didinti šiltnamio efektą ar kenkti žmonių sveikatai sukeldami kvėpavimo problemų [12]. Žoliniai augalai turi didesnį kiekį S, N, K, Cl ir k.t., o tai padidintų NO_x ir KD išmetimus [13].

Biocheminė biomasės sudėtis priklauso nuo augalo rūšies, tačiau įprastai augalai yra sudaryti iš maždaug 25 % lignino ir 75 % angliavandenių ar cukrų. Angliavandenių frakcijos susideda iš daug cukraus molekulių sujungtų į ilgas polimerų grandines. Dvi pagrindinės angliavandenių kategorijos kurios suteikia didžiausią vertę yra celiuliozė ir hemiceliuliozė. Lignino frakcija nesudaro cukraus molekulių. Gamta naudoja ilgus celiuliozės polimerus, tam, kad sudaryti pluoštus, kurie suteikia augalui tvirtumą. Lignino frakcija veikia kaip "klijai", kurie laiko celiuliozės skaidulas kartu (žr. 1.3 pav.) [14].



1.3 pav. Schematiškai pavaizduota biomasės sudėtis [15].

Taigi, pagrindiniai biocheminiai biomasės komponentai yra celiuliozė, hemiceliuliozė ir ligninas. Manoma, kad nuo šių komponentų priklauso biomasės šiluminė energija. Naudojant biomasę, kuri turi didesnį kiekį lignino susidaro ir didesnis kiekis suodžių, nes tokioje biomasėje yra didesnis polinkis fenolio gamybai, kuris dalyvauja ir suodžių formavimosi mechanizme [7].

Natūrali mediena yra palankiausia biomasės rūšis dėl mažo peleningumo ir azoto kiekio. Medienos kuro savybės priklauso nuo laikymo, apdorojimo ir deginimo būdo [16].

Kadangi yra žinoma, jo medienos atliekos iš namų ūkio gali būti užterštos sunkiaisiais metalais ir chloro junginiais, biomasės deginimas turi būti griežtai ribojamas arba kurą deginantys įrenginiai turi būti su veiksminga išmetamų dujų valymo sistema [13]. Kai kuriose šalyse yra reglamentai, kuriuose nurodomos ribinės vertės medžiagų: Ca, Cl, K, N, S ir mikroelementų: Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn biomasės ar jos pelenų sudėtyje [9].

Parduodama biomasė įprastai atitinka standartus (pvz. medienos drožlės ir granulės CEN / TS 14961: 2005 (E)) atsižvelgiant į matmenis, drėgmės kiekį, peleningumą ir azoto koncentraciją. Gaminant granules yra suspaudžiamos biomasės smulkios dalelės (2 – 5 mm), o šildomas garo ligninas veikia kaip rišamoji medžiaga [7].

Remiantis „Baltpool“ energijos išteklių biržos duomenimis, prekybos biokuro produktais sąlygose yra nurodytos medienos skiedros produktų techninės specifikacijos, medienos granuliu produktų techninės specifikacijos ir kiti reikalavimai [17]. Atlikti skaičiavimai rodo, kad bioenergijos potencialas gaunamas iš žemės ūkio, miškininkystės ir atliekų bus beveik 300 Mtne iki 2030 metų. Iš šios sumos – 142 Mtne bus vien tik iš žemės ūkio. Tai atitinka 12 % žemės ūkio naudmenų iki 2030 metų [7].

1.3 Biomasės deginimas ir procesai

Sudėtingiausias, lyginant su kitu bet kuriuo kuru yra biomasės degimo procesas, o jo optimizavimą degimo metu komplikuoja įvairūs cheminiai ir fiziniai procesai, nemažas drėgmės, susmulkinimo lygio ir kitų savybių kitimo intervalas [18]. Biomasės kaip biokuras gali būti dujų pavidalu, skystas arba kietas kuras. Bet kuris iš jų gali būti naudojamas sugeneruoti žemas (iš biologinių procesų) arba aukštas temperatūras (šilumos konversijų), naudojant žemės ūkio ar komunalines atliekas [19]. Taigi, biomasės deginimas yra sudėtingas procesas, kurį sudaro daug homogeninių ir heterogeninių reakcijų. Pirminius biomasės energijos procesus galima suskirstyti į tris pagrindines kategorijas, atsižvelgiant į naudojamą medžiagą [6]:

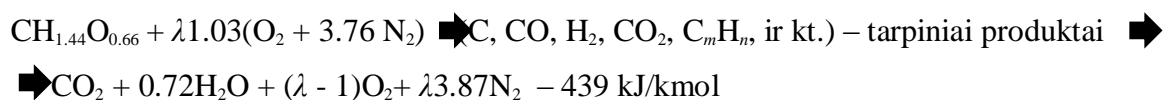
- Šiluminis procesas: konvertavimas naudojant šiluminę energiją (degimas, pirolizė, dujų fiksavimas);
- Biologinis procesas: konvertavimas naudojant mikrobojų ir fermentų aktyvumą (aerobinis ir anaerobinis skaidymas, fermentacija);
- Mechaninis procesas: konvertavimas naudojant mechaninę energiją.

Proceso pasirinkimas priklauso nuo biomasės savybių: drėgmės kiekio, kaloringumo, anglies ir lakiųjų medžiagų kiekio, pelenų sudėties, celiuliozės bei lignino santykio. Medžiagos

kaloringumas nulemia energijos kiekį arba šiluminę vertę, kuri gaunama biomasei degant [20]. Pagrindiniai veiksniai reikalingi pilnam degimui yra temperatūra, laikas ir turbulencija. Degių dujų ir oro maišymasis gali būti identifikuojamas kaip faktorius daugiausiai nulemiantis degimo kokybę, o temperatūros poreikis – 850 °C ir sėdimo laikas – 0,5 s yra lengvai pasiekiami parametrai. Reikalinga maišymosi kokybė yra pasiekama vykdant dviejų etapų deginimą [13].

Biomasės deginimas daugiausiai naudojamas šilumos gamybai, mažuose ir vidutinio dydžio įrenginiuose: medienos krosnys, rąstų deginimo katilai, granuliu degikliai, automatinės medienos plokštelių krosnys ir šiaudais kūrenamos krosnys [6]. Centralizuoto šildymo sistemos dažniausiai yra nuo 0,5 – 5 MW galios, o kai kuriais atvejais iki 50 MW. Deginant biomasę, kombinuotas šildymas ir elektros energijos gamybai yra taikomas garo ciklas su garo turbinomis ir varikliais bei organiniu Renkino ciklu, kurių tipiškas galingumas nuo 0,5 iki 10 MW [13].

Biomasės degimo procesas, kurio metu išsiskiria šiluma gali būti tiesioginis, dujofikavimo ir pirolizė. Degant biomasei 800-1000° C temperatūroje susidaro karštos dujos. Tokiomis sąlygomis galima naudoti bet kurią biomasės rūšį, tačiau biomasės drėgmės kiekis turi būti mažesnis nei 50%. Iš tiesų, degimas yra paskutinis procesas norint išgauti energiją iš biomasės. Prieš tai biomasė yra džiovinama ir vykdomas pirolizės ir dujofikavimo procesai [21]. Kiekvieno proceso trukmė priklauso nuo kuro savybių, jo dydžio, temperatūros ir degimo sąlygų. Pagrindinis degimo parametras yra oro pertekliaus koeficientas, kuris apibūdina santykį tarp degimo procesui reikalingo vietinio oro ir stochiometrinių sąlygų. Tipišką biomasės degimo reakciją galima apibūdinti pagal tokią lygtį, jei nėra įtraukiamos kuro sudedamosios dalys tokios kaip N, K, Cl, ir t.t. [13]:



$\text{CH}_{1,44}\text{O}_{0,66}$ – įprasta biomasės sudėtis naudojama deginimui (mediena, šiaudai ir t.t.).

Kietoji biomasė konvertuojama į šiluminę ar elektros energiją dviem būdais: tiesioginio deginimo arba dujofikavimo metu. Tiesioginio deginimo sistema deginant biomasę generuoja karštas dujas, kurios yra arba tiesiogiai naudojamos šildymui arba paduodamos į katilų garų generavimui. Be šildymo sistemos, garai gali būti naudojami tiekti šilumą pramoniniams procesams arba patalpų šildymui ir garo turbinai, kuri generuoja elektros energiją [22]. Tiesioginį deginimą sudaro dvi sistemos: pastovaus sluoksnio ir verdančio sluoksnio sistemos. Pastovaus sluoksnio sistemoje biomasė yra paduodama į groteles kur ji deginama, orui pereinant per kurą, tada išleidžiamos karštos dujos į generuojančio garo katilo šilumokaitį. Verdančio sluoksnio sistemoje į groteles yra paduodamos nedegios dalelės (pvz. smėlis), o biomasė deginama išmeta karštas dujas [13]. Verdančio sluoksnio sistemų gamintojai, teigia, kad ši technologija suteikia pilną žaliavos sudegimą ir dėl to sumažėja SO₂ ir NO_x emisijos. Verdančio

sluoksnio katiluose galima naudoti įvairesnes žaliavas deginimui. Tiesioginiai degimo biomasės įrenginiai, kurie gamina elektros energiją garo turbina turi konversijos našumą nuo 15 – 35%, priklausomai nuo gamintojo, o termofikacijos sistemoje bendras efektyvumas gali siekti 85% [22].

1.3.1 Biomasės mišinių deginimas

Biomasės mišiniai deginimui buvo pradėti naudoti pirmiausiai Skandinavijos šalyse, tokiose kaip Švedija ar Suomija. Todėl šalys turinčios gausius anglies išteklius, kaip JAV, Didžioji Britanija, Vokietija, Lenkija ir Olandija taip pat pradėjo dideliu mastu naudoti biomasės mišinius [23]. Bendras biomasės naudojimas kartu su kitomis kuro rūšimis gali būti naudingas kainų, efektyvumo ir emisijų atžvilgiu. Žemos specifinės sąnaudos ir didelių įrenginių efektyvumas gali būti naudojamas sumažinti SO_x, NO_x emisijoms kogeneracijos metu. Tačiau dėmesys turi būti skiriamas padidėjusiam nuosėdų susidarymui katile ir ribotam pelenų panaudojimui dėl biomasės sudėties į kurią neretai įeina šarminiai metalai, kurie ir nulemia pelenų netinkamumą antriniam panaudojimui. Bendru panaudojimu biomasė su anglimi yra taikoma [13]:

1. Tiesioginis – bendras deginimas. Tiesioginio deginimo metu yra maišomas mišinys iš biomasės ir anglies ir toks mišinys vėliau gali būti pateikiamas į kūryklą [7]. Tokia technologija yra pritaikoma įvairių tipų erdvinėse ir sluoksninėse kūryklose. „Su sluoksninėmis stacionaraus ar judančio ardyno kūryklomis. Yra mažiausios galios katilai, kurių galia iki 50 MW. Galingesni katilai yra su verdančio sluoksnio BFB (*Bubling Fluidized Bed*) (galia: 50–100 MW) ir cirkuliuojančio verdančio sluoksnio CFB (*Circulating Fluidized Bed*) kūryklomis (galia: 100–300 MW)“ [23].

2. Netiesioginis deginimas. Biomasė yra dujofikuojama ir dujos yra tiekiamos į katilo krosnį. Toks procesas yra derinys dujofikavimo ir degimo [13]. „Didžiausias šio deginimo pranašumas yra tai, kad atskiriami biomasės ir anglies srautai. Netiesioginio deginimo atveju kietoji biomasė pirmiausia gazifikacijos ar pirolizės reaktoriuje paverčiama į dujinį ar skystąjį kurą, jis vėliau kartu su anglimi deginamas anglies kuro kūrykloje [23]“.

3. Lygiagretus deginimas (deginimas hibridinėse sistemose). Biomasė sudeginama atskirame katile garo gamybai. Garas naudojamas energiją išgaunančiuose įrenginiuose kartu su kuru [13], o pagamintas garas tiekiamas į bendrą garotiekį. Lygiagretaus deginimo įrenginių statyba reikalauja kur kas didesnių investicijų nei tiesioginio deginimo [23].

Daugelyje šalių bendras deginimas (*Co-combustion*) yra pati ekonomiškiausia technologija mažinanti CO₂ emisijas ir biomasės deginimas gali būti motyvuojantis veiksnys mažinantis taršos mokesčius [13].

1.3.2 Teršalai susidarantys biomasės degimo metu

Iš tiesų aplinka nėra labai teršiama deginant biomasę, nes toks kuras netaip teršia aromatiniais angliavandeniliais, sieros junginiais ir sunkiaisiais metalais, tačiau alternatyvus kuras turi ir trūkumų [18].

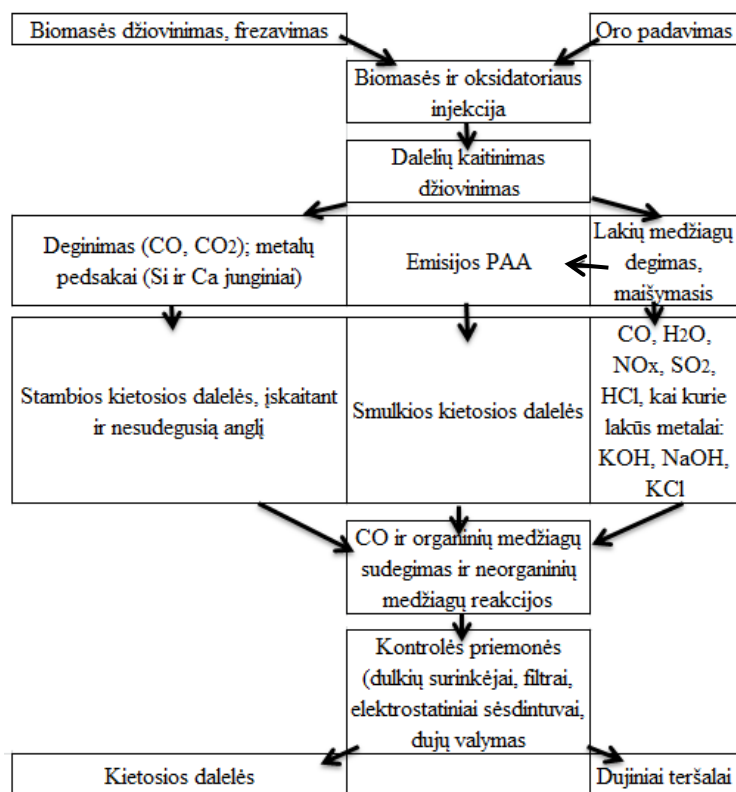
Biomasės deginimo krosnys pasižymi gana dideliais išmetamų teršalų kiekiais NO_x ir kietųjų dalelių, lyginant su krosnimis, kuriose deginamos gamtinės dujos ar mazutas [13]. Remiantis medienos deginimo būvio ciklo analize, nurodoma, kad deginant medieną automatinėmis krosnimis 38,6% susidaro NO_x , 36,5% – KD_{10} , tik 2% CO_2 ir 22,9% kitų teršalų [13]. Be to, svarbu tai, kad mediena ir biomasė nėra labai kaloringas kuras kaip akmens anglis ar naftos produktai. Pastarųjų šilumingumas ne mažesnis kaip 37MJ/kg, o biomasės – 17–18 MJ/kg. Mažesnis ir biomasės tankis. Norint sukaupti tokį pat pirminės energijos kiekį, reikia kelis kartus daugiau biomasės [18].

Galima išskirti skirtingus tipus susidarantių teršalų biomasės deginimo metu:

1. Nesudegę teršalai tokie kaip CO , C_xH_y , PAA, suodžiai, nesudegus anglis, H_2 , HCN , NH_3 ir N_2O ;
2. Teršalai susidarę pilno degimo proceso metu: NO_x (NO ir NO_2), CO_2 ;
3. Pelenai ir teršalai tokie kaip pelenų dalelės (KCl), SO_2 , HCl , Cu , Pb , Zn , Cd ir kt. [13].

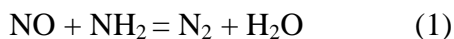
Deginant biomasę, jos pagrindinė kaip kuro sudėtis yra azotas, o tai šaltinis NO_x emisijų, kuriam susidaryti nėra reikalinga aukšta temperatūra (žr. 1.4 pav.).

- 1 VRUBLIAUSKAS S. ir PEREDNIS E. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. *Šiluminė technika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-20]. 2012, 1, 14-16. ISSN 1392-4346.
- 2 VRUBLIAUSKAS S. ir PEREDNIS E. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. *Šiluminė technika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-20]. 2012, 1, 14-16. ISSN 1392-4346.
- 3 VRUBLIAUSKAS S. ir PEREDNIS E. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. *Šiluminė technika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-20]. 2012, 1, 14-16. ISSN 1392-4346.

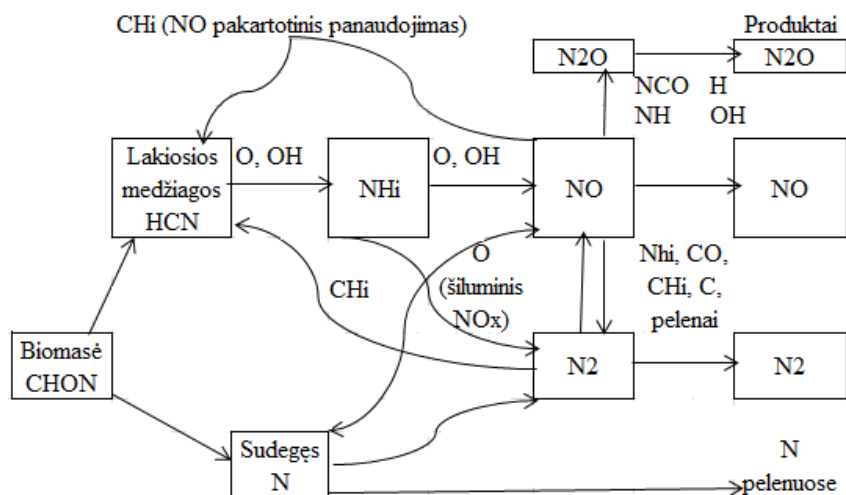


1.4 pav. Biomosės degimo metu susidarantių teršalų grafinė reakcijų schema [7]

Kuro azotas yra paverčiamas į tarpinius komponentus, pvz., HCN ar NH_i, kai i – 0, 1, 2, 3. Jei deguonis yra prieinamas šiems junginiams, kaip įprastu degimo atveju, tai azotas gali būti oksiduotas į NO_x. Jei deguonis nėra prieinamas, tada gali vykti reakcija [8]:



Yra priemonių kuriomis galima sumažinti NO_x kiekius biomasėje iki 50% ar net 80%, tačiau tam turi būti suteiktos specialios sąlygos. Palyginti aukštos temperatūros gali riboti NO_x mažinimo procesą dėl nepageidaujamo pelenų susidarymo ir nusėdimo. NO_x galima sumažinti ne tik degimo metu, bet ir selektyvia nekatalizine redukcija ir selektyvia katalizine redukcija, remiantis ta pačia reakcija (NO + NH₂ = N₂ + H₂O). Tačiau kaip reduktorius yra pridedamas karbamidas arba amoniakas [13].



1.5 pav. Biomasės azoto konversijos degimo metu [13].

Selektyvioje nekatalizinėje redukcijoje taikoma temperatūra 820° – 940° C, kuri užtikrintų iki 90% NO_x sumažinimą. Selektivi katalizinė redukcija įprastai taikoma kaminuose, kur išmetamos degimo dujos ir temperatūra yra nuo 250° iki 450° C ir tai leidžia NO_x kiekį sumažinti daugiau kaip 95%. Tokios sąlygos yra palankios susidaryti kitiems junginiams kaip: HNCO, N₂O, NH₃, HCN [13].

Sunkiųjų metalų emisijos labai priklauso nuo deginamos biomasės sudėties. Dauguma sunkiųjų metalų kaip: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se ir Zn paprastai išleidžiami kartu su kitais junginiais: sulfidais, chloridais, organiniais junginiais ir pan. Hg, Se, As ir Pb bent iš dalies būna garų fazėje [12]. Degant biomasei teršalai sudėtingai keičiasi. Sunkiųjų metalų junginių lakumo lygis priklauso nuo technologinių ypatybių (katilo tipo, degimo temperatūros) ir nuo kuro savybių (ar sudėtyje yra metalų, neorganinių medžiagų, pvz. Cl, Ca ir pan.) [13].

Taigi, emisijų sudėtis gali būti įvairi: dervos, suodžiai bei aerozoliai, kurie susideda iš kietųjų dalelių ar metalų. KCl ar KOH susijungę su sieros junginiais, įprastai su SO₂, į atmosferą yra išmetami dujų pavidalu [7]. „Deginamai biomasei yra būdinga nedidelė SO emisija. Palyginti su anglių katilais, sieros oksidų koncentracija degimo produktuose 8–16 kartų mažesnė. Nustatyta didesnė kaip sieros junginių 70 mg/m³ koncentracija gali būti tik dėl užterštos medienos atliekų priemaišų kure (faneros, klijuotų ir laminuotų drožlių plokščių ir kt.).“ [18].

CO – anglies monoksidas yra randamas kaip dujų degimo produktas ir visų kuro rūšių, kuriame yra anglies. Tai tarpinis degimo proceso produktas, kuris oksiduojasi atsižvelgiant į deguonies ir temperatūros sąlygas ir sudaro CO₂. Taigi, CO yra geras degimo kokybės indikatorius [13].

Biomasės deginimo metu susidaro KD, kurios gali būti apibūdinamos kaip anglis, dūmai, suodžiai ar pelenai. Išmetamos kietosios dalelės skirstomos į tris grupes: KD₁₀, KD_{2,5} ir bendras

kietųjų dalelių kiekis [7]. Siekiant įvertinti biomasės deginimo poveikį atmosferai, ypač kiekybiškai, reikia turėti tikslius duomenis apie atmosferos pernašas, chemines reakcijas ir emisijos sudėtį [24]. Biomasės deginimas yra didžiausias šaltinis smulkiųjų kietųjų dalelių ir antras didžiausias dujų emisijų šaltinis lyginant pasauliniu mastu [25]. Deginant žemės ūkio atliekas, pavyzdžiui, šiaudus, susidaro dideli kiekiai anglies aerzolių atmosferoje. Todėl yra gerai žinoma, kad tokia situacija daro neigiamą poveikį aplinkai, kuris apima klimato šiltėjimą, regioninę oro kokybę ir žmonių sveikatą [26].

Tačiau yra nustatyta, kad ne tik cheminių teršalų koncentracijos, bet ir KD koncentracijos priklauso nuo biokuro rūšies, kuris yra naudojamas deginimui [7]. Nustatyta, kad deginant medienos granules susidaro mažesnės KD emisijos lyginant su nuotekų dumblo granulėmis [25]. O vasaros sezono metu pietų Taivane kietų dalelių (2,5-10 mm) kiekis ore buvo daug didesnis lyginant su žiemos sezonu, kai buvo deginamos ryžių atliekos. Tokių kietų dalelių koncentracijos pasiskirstymą galėjo nulemti kuro drėgmė, nes aerzolių dalelės deginant ryžių atliekas yra linkę būti labai higroskopiškos lyginant su kitais biomasės tipais [26].

1.4 Teršalai susidarantys degimo metu mažuose (<50mw) deginimo įrenginiuose

Teigiama, kad biomasės kaip kuro naudojimas buitiniuose, mažo galingumo įrenginiuose stipriai didina oro taršą ir yra trečias veiksnys didinantis susirgimų skaičių pasaulyje. Nepilno degimo metu į aplinką patenka tokie teršalai kaip anglies monoksidas (CO), kietosios dalelės (KD) ir kitos toksinės medžiagos [27]. Dėl įvairovės biomasę deginančių įrenginių, jų tipo, deginimo metodų bei teršalų išmetimo, mažų kurų deginančių įrenginių emisijos yra itin reikšmingos. Kaip ir minėta anksčiau biomasė yra naudojama įvairiose formose, kaip mediena, skirtingi augalai, jų liekanos, žemės ūkio produkcija ar miško atliekos. Augalai kenksmingas medžiagas gauna iš dirvožemio ar tiesiogiai iš aplinkos. „Pavojingi junginiai ir cheminiai elementai dirvožemyje atsiranda iš nuotekų, neorganinių ir organinių trąšų bei aplinkos oro“ [18].

Daugelis jų neturi teršalų mažinimo sistemos ir yra neefektyvūs, nes įranga gali būti pasenusi. Gyvenamų namų sektoriuje įranga priklauso nuo kuro tipo, kurį nulemia šalis ar regionas. Tokie teršalai kaip SO₂, NO_x, NMLOJ, KD, juoda anglis (BC), sunkieji metalai, PAA, polichlorintų dibenzo-dioksinais, furanais (PCDD/F) ir heksachlorbenzenas (HCB) susidaro dėl nepilno degimo, kurį sukelia deguonies trūkumas gedimo kameroje ir to pasekoje susidaro per žema temperatūra [13]. Ypatingai nepilnu degimo procesu pasižymi įrenginiai į kuriuos kuras yra pateikiamas rankiniu būdu, o pats įrenginys kontroliuojamas automatiškai. Biomasės deginimui mažuose deginimo įrenginiuose yra naudojama judančio ardymo technologija. Emisijos mažų

kurą deginančių įrenginių yra didesnės nei didelių kurą deginančių įrenginių [28]. „Taip yra todėl, kad mažo galingumo katilinėse naudojamas nekaloringas kuras, kaip šiaudai, javai, rapsai. Šiauduose sukaupta nuo 7 iki 10 kartų daugiau Chl ir nuo 10 iki 12 kartų daugiau N, lyginant su mediena, kuro sudėtyje gana daug S ir didelis peleningumas, todėl šiaudai nėra gera alternatyva kaip biokuras“ [18].

1.5 Biomasės kaip kuro taikymo tendencijos Lietuvoje

Lietuvos geografinė padėtis labai palanki biomasės naudojimui. Didžiąją dalį šalies dengia miškai, kas ir yra tokios teritorijos pagrindinis biokuro išteklius. Medienos skiedros – plačiausiai Lietuvoje naudojama biokuro rūšis. Kitos biokuro rūšys yra naudojamos rečiau [29]. Lietuvos biomasės energetikos asociacija teigia, kad privačiuose namų ūkiuose (Lietuvoje ~ 400 000) biokuro panaudojimas sudaro dar didesnę dalį - ~ 85 – 90%. Dažnu atveju – individualiuose namuose naudojami seni katilai, pečiai [30]. „Iki 2020 m. biokuro naudojimo potencialas turėtų padidėti 14,6 % ir pasiekti 1 648 ktne, o kietojo biokuro potencialo panaudojimas šilumos sektoriuje turėtų išaugti iki 67 %. Pasiekus numatytą kietojo biokuro naudojimo šilumos gamybai plėtrą, kuri pateikta Lietuvos strateginiuose dokumentuose, iki 2020 m. šalyje šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija sumažėtų 6 % [31]“.

Nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje yra numatyta, kad iš atsinaujinančių energijos šaltinių bus gaminama elektros energija ir tam prioritetą bus teikiamas biokuro naudojimui [32]. Taip pat, sumedėjusios energetinės plantacijos galėtų būti išnaudojamos 100 %, o atsižvelgiant į aplinkosauginius aspektus, kirtimo atliekų galėtų būti išnaudojama 35 % potencialo ir toks kiekis labai prisidėtų (73,5 ktne) prie šilumos gamybos iš kietojo biokuro, tuo pačiu nepakenkiant miško ekosistemai [31]. Todėl Lietuva skatins investicijas į biokuro panaudojimą išgauti energiją skirdama pirmenybę kogeneracinėms biomasės elektrinėms [32].

Lietuvos biomasės energetiko asociacijos duomenimis tradicinis biokuro potencialas Lietuvoje yra: malkinė mediena 0,565 mln. tne, medžio pramonės atliekos 0,283 mln. tne, miško kirtimo atliekos 0,185 mln. tne, komunalinės atliekos 0,200 mln. tne (apie 1 mln. t), biomasė iš kelmų 0,060 mln. tne (apie 0,35 mln.ktm/metus) [30].

Paskutiniai biomasės resursų skaičiavimai, kad 2020–2025 m. kasmetinis biokuro žaliavos prieaugis yra virš 2,2 mln. Tne. Į šį skaičių neįtraukti neskaičiuojami rezervai (nepanaudoti žemės plotai, nepanaudotas nusaustas dumblas ir t.t.). 2014 m. panaudota šiek tiek daugiau nei 1 mln tne. biokuro [30]. Pagal Lietuvos statistikos departamento pateiktą informaciją biokuro naudojimas 2014 metais padidėjo 0,7% lyginant su 2013 metų duomenimis.

Lyginant su ES valstybėmis, Lietuvoje įmanoma sėkmingai išvystyti biokuro naudojimą energijos gamybai. Šilumos tiekimo sistema suteikia galimybę įrengti nemažus ir, skaičiuojant vienam instaliuotam galios vienetui, santykinai pigius biokurą į energijai generuoti skirtus įrenginius [33]. Apskritai prie skatinimo naudoti biokurą kaip energijos šaltinį labai prisideda ir LAAIF (Lietuvos Aplinkos Apsaugos investicijų fondas), kuro tikslas sumažinti emisijas sukeliančias šiltnamio efektą. Ši įmonė siekia, jog Lietuvos gyventojų pastatų energetinis naudingumas pasiektų C klasę ir taip sumažintų energijos suvartojimo sąnaudas ne mažiau nei 20% [34]. Jei asmuo keičia iškastinio kuro šildymo sistemą į biokuro krosneles ar židinius kartu su karšto oro skirstymo sistema ir, jei pastate nenaudojama kita šildymo sistema LAAIF suteikia individualaus namo savininkui (fiziniui asmeniui) iki 30% faktiškai patirtų visų tinkamų finansuoti projektų išlaidų kompensacinę išmoką [34]. Taigi, visi siekiai didinti biokuro naudojimą ir parodo, jog tai puikus atsinaujinantis išteklius, kuris prisidėtų prie darnios ateities.

2. METODINĖ DALIS

2.1 Skaičiavimo scenarijai

Kad būtų galima atlikti biokuro katilinių oro teršalų emisijų skaičiavimo metodikų lyginamąjį vertinimą, buvo atrinkti keturi biokuro scenarijai, remiantis Lietuvos energijos išteklių biržos operatoriaus „Baltpool“ prekybos biokuro produktais sąlygomis [17]:

- I. scenarijus – „padžiovinata malkinė mediena, medienos atraižos, leidžiamos tik gamybos metu susidariusios smulkelės [17]“;
- II. scenarijus – „žaliava ir papildomai medienos pramonės įmonių atliekos [17]“;
- III. scenarijus – „miško kirtimo atliekos (žievė, pjuvenos, smulkinta mediena, medžio gabaliukai ir kt.). Žievės, spyglių ir lapų neturi būti daugiau kaip 20 % [17]“.
- IV. scenarijus – „miško kirtimo atliekos (žievė, pjuvenos, smulkinta mediena, medžio gabaliukai ir kt.). Žievės, spyglių ir lapų neturi būti daugiau kaip 40 % [17]“.

Taip pat, skaičiavimams atlikti, buvo pasirinkti skirtingas biokuro katilinių galingumas: 5 MW, 10 MW, 50 MW, atsižvelgiant į Lietuvoje vyraujančias tendencijas (žr. 1 priedą). Priimta, kad kurą deginantys įrenginiai yra be emisijų kontroliavimo sistemų.

Skaičiavimo metu buvo nustatomos CO, SO₂, NO_x, kietųjų dalelių – KD₁₀ bei KD_{2,5} ir LOJ koncentracijos dūmuose. Skaičiavimai atlikti naudojant tris metodus: Goskomgidromiet/Lieningrad, EMEP ir Australijos NPI. Palyginimui į skaičiavimus įtrauktos išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normos LAND 43-2013, Nr. D1-226 ir LAND 43-2015, Nr. D1-728.

2.2 Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodika

„Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodika – įvairiose gamybose susidariusių ir išmetamų į atmosferą teršalų įvertinimo metodikų rinkinys. Leningradas, 1986. (rusų kalba – *Sbornik metodik po rasčiotu vybrosov v atmosfieru zagriazniajuščych vieščiestv različnymi proizvodstvami. Goskomgidromiet. Lieningrad, 1986*)“ [35].

CO emisija pagal šią metodiką apskaičiuojama taip [36]:

$$P_{CO} = 0,001 BK_{CO} [1-(q_4/100)] \quad (1)$$

B - kuro sąnaudos t/metus arba g/s;

K_{CO} - anglies monoksido kiekis, išsiskiriantis degant kurui, kg/t;

q₄ - šilumos nuostoliai dėl kuro nepilno mechaninio sudegimo, %, priklausantys nuo pakuros tipo ir kuro rūšies.

Anglies monoksido kiekis, išsiskiriantis degant kurui, apskaičiuojamas [36]:

$$K_{CO} = q_3 R^* Q_{\frac{n}{z}}^n / 1031 \quad (2)$$

q_3 - šilumos nuostoliai dėl kuro nepilno cheminio sudegimo, % (šis dydis kiekvienam kūryklos tipui priklauso nuo darbo režimo - kuro padavimo ir maišymosi su oru pobūdžio) [37];

R - koeficientas, įvertinantis šilumos nuostolius dėl CO buvimo dūmuose (kietam kuri = 1);

$Q_{\frac{n}{z}}^n$ - žemutinė kuro sudegimo šiluma, MJ/kg.

$Q_{\frac{n}{z}}^n$ apskaičiuojamas [36]:

$$Q_{\frac{n}{z}}^n = 339C^n + 1035H^n - 109(O^n - S^n_d) - 25W^n \quad (3)$$

Azoto oksidų emisijos (t/metus, g/s), deginant kietąjį, skystąjį ir dujinį kurą, apskaičiuojamos pagal šią formulę [36]:

$$P_{NO_2} = 0,001 B K_{NO_2} (1 - q_4/100) \beta \quad (4)$$

K_{NO_2} - išsiskiriantis azoto oksidų kiekis kg/t;

β - koeficientas, įvertinantis azoto oksidų išsiskyrimą iš deginamo kuro (kietajam kurui, kai oro pertekliaus koeficientas $\lambda > 1,05$, $\beta = 1,0$) [36].

Išsiskiriantis azoto oksidų kiekis apskaičiuojamas [36]:

$$K_{NO_2} = \frac{2,5 Q_f}{84 + Q_n} \quad (5)$$

Q_f - vidutinis katilo našumas GJ/h;

Q_n - nominalus katilo našumas, GJ/h.

Kietų dalelių išmetimai per laiko vienetą t/m, g/s [36]:

$$P_{kiet.d.} = B A^r \chi (1 - \eta) \quad (6)$$

A^r - kuro peleningumas, %;

η - kietų dalelių dalis, sugaudoma valymo įrenginiuose.

χ priklauso nuo pakuros tipo, kuro rūšies ir degimo sąlygų. Arba skaičiuojamas taip [36]:

$$\chi = a_{išn.} / (100 - G_{išn.}) \quad (7)$$

$a_{išn.}$ - į išlakas patenkančių pelenų dalis, %;

$G_{išn.}$ - kuro kiekis į išlakas patenkančiose kietose dalelėse, %.

Nesant duomenų apie χ ir $G_{išn.}$ išmetamų kietų dalelių kiekis skaičiuojamas pagal formulę [36]:

$$P_{kiet.d.} = 0,01 B (a_{išn.} A^r + q_4 Q_{\frac{n}{z}}^n / 32680) (1 - \eta) \quad (8)$$

32680 – anglies degimo šiluma, kJ/kg.

Teršalų sklaidos skaičiavimo modeliuose, kuriais tiesiogiai negalima apskaičiuoti KD_{10} ir $KD_{2,5}$ koncentracijos – kaip šiuo atveju, turi būti naudojamas koeficientas 0,7 kietųjų dalelių koncentracijos perskaičiavimui į KD_{10} koncentraciją ir koeficientas 0,5 – KD_{10} koncentracijos perskaičiavimui į $KD_{2,5}$ koncentraciją [38].

Sieros dioksido išmetimai skaičiuojami [37]:

$$P_{SO_2} = 0,02BS^n(1-\eta'SO_2)(1-\eta''SO_2) \quad (9)$$

$\eta'SO_2$ – kuro pelenais surišama SO_2 dalis (šis dydis priklauso nuo kuro rūšies);

$\eta''SO_2$ – kietų dalelių sugaudymo įrenginiuose sulaikoma SO_2 dalis.

2.3 lentelė. Kuro pelenais surišama SO_2 dalis [36]

Kuro rūšis	$\eta' SO_2$
Durpės	0,15
Skalūnai	0,8
Anglis	0,1
Mazutas	0,02
Dujos	0

2.3 EMEP metodika

EMEP oro teršalų inventorizacijos vadovas - anksčiau vadinama „EMEP CORINAIR“ yra išsamiausia oro teršalų inventorizacijos programa Europoje. Ją sudaro išmetamų teršalų skaičiavimo metodikos, programinė įranga skirta duomenų saugojimui ir apdorojimui. EMEP programoje yra 28 skirtingos emisijų rūšys ir 11 pagrindinių sektorių, kurie yra smulkiau skirstomi į bet kurios zonos arba taškinius taršos šaltinius. Programa apima pagrindinius 8 teršalus: SO_2 , NO_x , NMLOJ, NH_3 , CO, CH_4 , N_2O ir CO_2 . Remiantis šios programos gairėmis teršalai apskaičiuojami remiantis emisijos faktoriais. Emisijoms iš mažų kurų deginančių įrenginių apskaičiuoti naudojama bendra lygtis [28]:

$$E_{\text{teršalas}} = AR_{\text{kuro snaudos}} \times EF_{\text{teršalas}} \quad (10)$$

$EF_{\text{teršalas}}$ – matuojamo teršalo emisijos faktorius

$AR_{\text{kuro snaudos}}$ – kuro sunaudojimas Gj/s

$E_{\text{teršalas}}$ – konkretaus teršalo emisija

2.4 lentelė. Emisijos faktoriai, kai biomasė naudojama < 50 MW galios įrenginiuose, g/Gj[29]

Teršalas	Faktorius
CO	570
NO _x	91
KD10	143
KD2,5	740
SO _x	11
LOJ	300

1.4 Australijos NPI metodika

Australijos nacionalinės teršalų inventorizacijos metodikos tikslas yra padėti įvertinti teršalų srautus Australijos gamybos, pramonės bei kitų paslaugų sektoriuose. Metodikoje aprašomos procedūros bei rekomendacijos emisijų vertinimui, atsirandančias iš kūrą deginančių katilų.

Kaip ir EMEP metodika, Australijos NPI teršalų emisijoms apskaičiuoti pateikia emisijos faktorius. Faktorai priklauso nuo emisijos šaltinio, vykdomos veiklos, bei išmetamų teršalų kiekio [39].

Bendroji lygtis, kurioje naudojami išmetamų teršalų faktoriai, įvertinti įrenginio išmetamų teršalų kiekį:

$$E(s) = A \times EF(s) \times CE \quad (11)$$

$E(s)$ – metinis teršalų kiekis kg/metus

A – biokuro per metus sunaudojimas t/metus

$EF(s)$ – nekontroliuojamos emisijos faktorius

CE – emisijos kontrolė, kuri atspindi visus esamus įrenginius, kurie reguliuoja teršalų išmetimo lygį.

2.4 lentelė. Emisijos faktorius, kai emisijos lygis nekontroliuojamas, kg/metus [39]

Teršalas	Faktorius
CO	4,08
NO _x	1,49
KD10	3,24
KD2,5	2,74
SO _x	0,17
LOJ	0,12

2.5 Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos (LAND 43-2014, Nr. D1-226)

Gauti emisijų rezultatai pagal Goskomgidromiet/Lieningrad, Australijos NPI ir EMEP metodikas buvo lyginami su nacionalinėmis teršalų normomis.

„Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos LAND 43-2014 nustato kurų deginančių įrenginių išmetamųjų dujų šalinimo per kaminą reikalavimus [40]“.

2.5 lentelė. Išmetamų teršalų ribinė vertė, mg/Nm³ [38]

	Įrenginio šiluminė galia	SO ₂	NO _x	CO	KD
Kietas kuras	MW<20	2000	750	4000	700
	MW>50	2000	750	1500	500

2.6 Išmetamų teršalų iš didelių kurų deginančių įrenginių normos (Land 43- 2015, Nr. D1-728)

„Išmetamų teršalų iš didelių kurų deginančių įrenginių normos taikomos įrenginiams, kuriuose deginama kieta, skysta ar dujinė degi medžiaga, ir nustato SO₂, NO_x, CO ir KD išmetimo į aplinkos orą iš įrenginių, kurių nominalus šiluminis našumas yra 50 MW arba didesnis, ribines vertes, taip pat monitoringo ir kontrolės reikalavimus [41].“ Šios normos buvo lyginamos su minėtų metodikų rezultatais.

2.6 lentelė. Išmetamų iš esamų kurų deginančių įrenginių teršalų ribinės vertės, mg/Nm³ [39]

	Įrenginio šiluminė galia	SO ₂	NO _x	CO	KD
Kietas kuras	50 - 100 MW	2000	650	1000	400

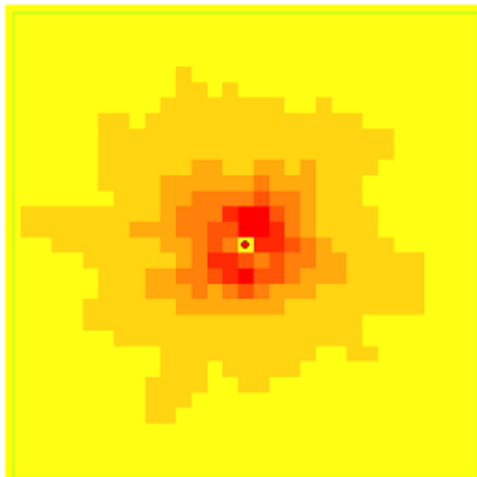
2.7 Rezultatų apdorojimo programinė įranga ir sistemos

2.7.1 ADMS 5 oro kokybės modeliavimo sistema

„ADMS 5 sistemoje yra taikomi naujausi atmosferos fizikos modeliavimo dėsningumai, naudojant atmosferos ribinio sluoksnio parametrizavimą, pagrįstą Monino-Obuchovo ilgiu ir ribinio sluoksnio aukščiu. Koncentracijos profilio pasiskirstymas atitinka Gauso fakelo pasiskirstymą su fakelo atsispindėjimu ties žemės paviršiumi ir ties inversijos sluoksniu [42]“.

$$C = \frac{Q_s}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} e^{-y^2/2\sigma_y^2} \times \left(e^{-(z-z_s)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z+z_s)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z+2h-z_s)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z-2h+z_s)^2/2\sigma_z^2} + e^{-(z-2h-z_s)^2/2\sigma_z^2} \right) \quad (1)$$

Kad atlikti išsamesnę skaičiavimo metodikų lyginamą analizę, buvo vykdomas teršalų sklaidos skaičiavimas. Sklaida buvo skaičiuojama pagal 2014 metų meteorologines sąlygas, kad patikrinti ar buvo viršytos pateiktos maksimalios vertės. Sistema leidžia grafiškai vizualizuoti parsiusčius į ADMS 5 sąsają duomenis meteorologinėje rinkmenoje (žr. 3 priedą) [42]. Vienas iš sistemos ADMS 5 privalumų yra tai, kad ji gali parengti teršalų koncentracijų kontūrų brėžinius (žr. 2.1 pav.).



2.1 pav. CO koncentracijos kontūro brėžinys pagal ADMS 5 sistemą

Atliekant skaičiavimo metodikų palyginamąjį vertinimą ADMS 5 sistemos pateikti sklaidos rezultatai buvo naudojami tik skaitmenine forma ir atvaizduojami diagramomis. Sklaidos skaičiavimo metodas buvo taikomas tik pagal vieną scenarijų, kai naudojamas biokuras III ir biokuro katilo galia – 10 MW.

2.7.2 Statistica 7 ir Excel 2010

Statistinei duomenų analizei atlikti buvo naudojamos programos STATISTICA 7 ir EXCEL 2010. Taip pat šių programų pagalba buvo atliktas grafinis rezultatų vaizdavimas ir pateikimas ant logaritminės skalės. EXCEL 2010 pateikiami teršalų emisijos grafikai, STATISTICA 7 – teršalų sklaidos.

3 REZULTATAI

3.1 Koeficientų reikšmė skaičiavimams pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką

Atliekant skaičiavimus su Goskomgidromiet/Lieningrad metodika yra naudojami koeficientai q_3 , q_4 ir X . Anksčiau šie koeficientai buvo pritaikyti skaičiuoti tik malkomis kūrenamų katilų emisijas, tačiau šiuo metu yra galimybė juos pritaikyti ir biokuru kūrenamiems įrenginiams [37]. Tačiau ir pastarieji yra specifiški, pritaikyti tik tam tikrai kuro rūšiai ir įrenginiui (žr. 3.1 lentelę).

3.1 lentelė. Koeficientų nustatytos vidutinės ir lyginamosios vertės [37]

Koeficiento pobūdis	10 000 kW garo katilas, spaliai	5000 kW garo katilas, pjuvenos	900 kW vandens šildymo katilas, gabalinės medienos atliekos	44 kW buitinis katilas, gabalinės	7 kW namų krosnis, malkos
			$q_3, \%$		
Nustatytasis	4	0,27	1,08	4	1,76
Lyginamasis	0,5*	0,5**	0,5*	3***	3***
			$q_4, \%$		
Nustatytasis	23		1,94	7,85	3,06
Lyginamasis	6/3*	5,5/3**	6/3*	3***	3***
			$K_{NO_2}, \text{kg/t s.k.}$		
Nustatytasis	17	3,32	18,1	7,71	3,61
Lyginamasis	2,87	4,04	4,76	0,05	0,008
			x		
Nustatytasis	0,0783		0,0204	0,0432	0,0092
Lyginamasis	0,0023*	0,0035*	0,0023*	0,0050***	0,0050***
			$G_{išn}, \%$		
Nustatytasis	81,72		69,01	85,84	82,85

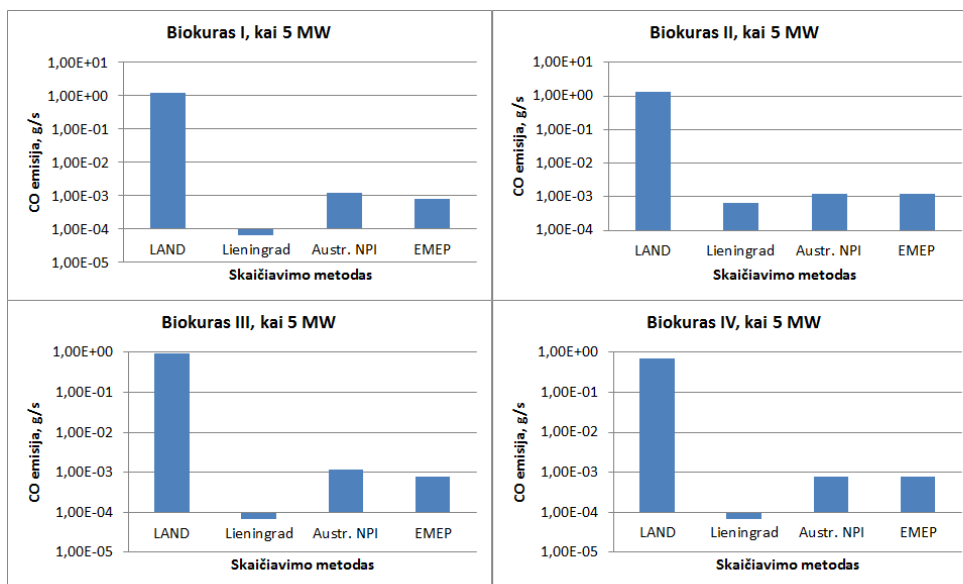
„*pakura su nejudamu ardynu ir rankiniu kuro tiekimu, akmens ir rusvoji anglis, ** pakura su judamu ardynu, akmens anglis, *** buitinių šilumos agregatų sluoksninės pakuros, malkos[37]“

Todėl atliekant skaičiavimus Goskomgidromiet/Lieningrad metodu reikėjo išsirinkti kokius koeficientus bus naudojami. Skaičiavimai buvo atlikti su visais koeficientais, kadangi pagal turimus scenarijus nei vienas iš koeficientų tiksliai netiko, pasirinkimas kokiais koeficientais naudotis galutinių skaičiavimo metu buvo parinktas tik pagal panašų kuro tipą, kas ir buvo pateikta esamuose scenarijuose.

Apskaičiuoti CO emisijas buvo pasirinkti koeficientai pagal kurą gabalinės medienos atliekos: q_3 – 0,5 ir q_4 – 1,94. Koeficientas q_4 buvo naudojamas atliekant skaičiavimus ir NO₂ emisijoms. KD emisijos apskaičiuotos, kai X koeficientas – 0,0204.

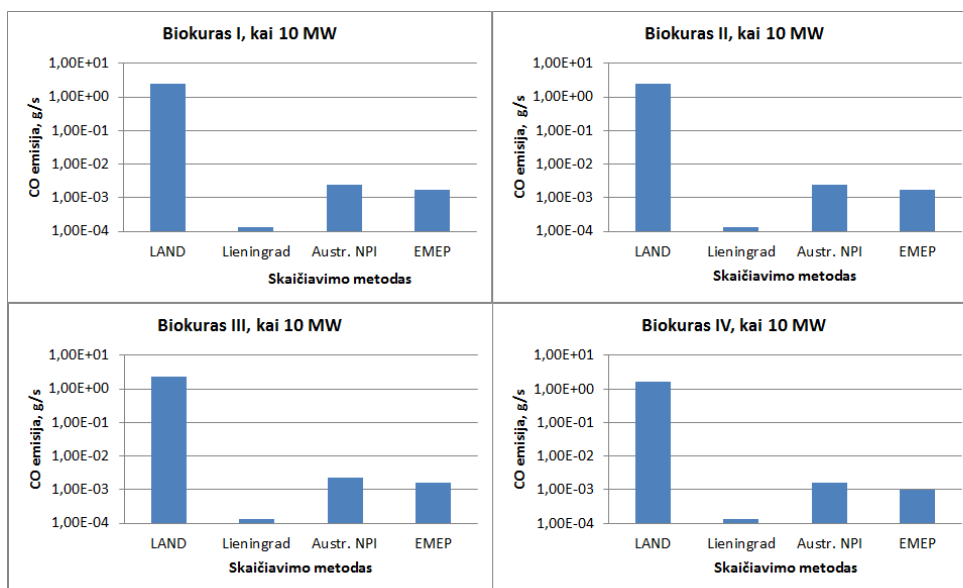
3.2 Teršalų emisijų skaičiavimai pagal metodikas

Iš pateiktų diagramų (žr. 3.1 pav.) galima matyti, kad visais atvejais CO kiekis, paskaičiuotas naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką yra mažiausias. Skaičiuojant pagal Australijos NPI metodiką, emisijos yra beveik 19 kartų didesnės nei Goskomgidromiet/Lieningrad rezultatų, o pagal EMEP metodiką – 12 kartų.



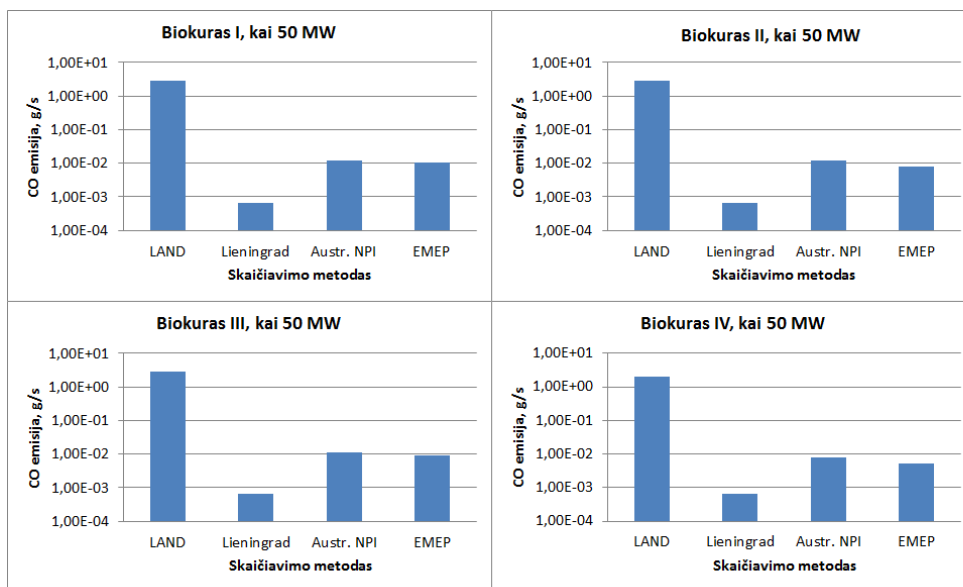
3.1 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

Lyginant rezultatus pagal biokuro rūšį, aiškiai matoma, kad didžiausios emisijos pateiktos naudojant II biokuro scenarijų, kai biokuro per metus sunaudojama 8424 tonų. Lyginant gautus rezultatus nei vienos metodikos skaičiavimai LAND ribinių verčių neviršijo.



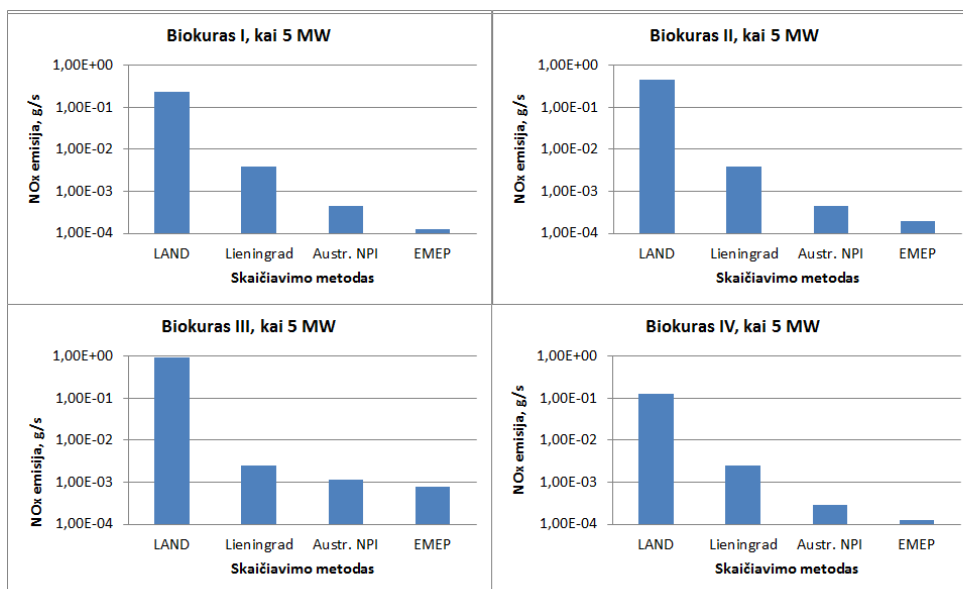
3.2 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW

10 MW katilinės mažiausios CO emisijos kaip ir 5 MW paskaičiuotos pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką (žr. 3.2 pav.). Pagal pateiktus duomenis galima aiškiai matyti, kad 10 MW biokuro katilinė turėtų išmesti didesnes CO emisijas nei 5 MW katilinė, nes skaičiavimų rezultatai yra du kartus didesni pagal visas metodikas. Na, o didžiausias CO emisijas, kai biokuro katilinės galia 10 MW pateikia Australų NPI metodika.



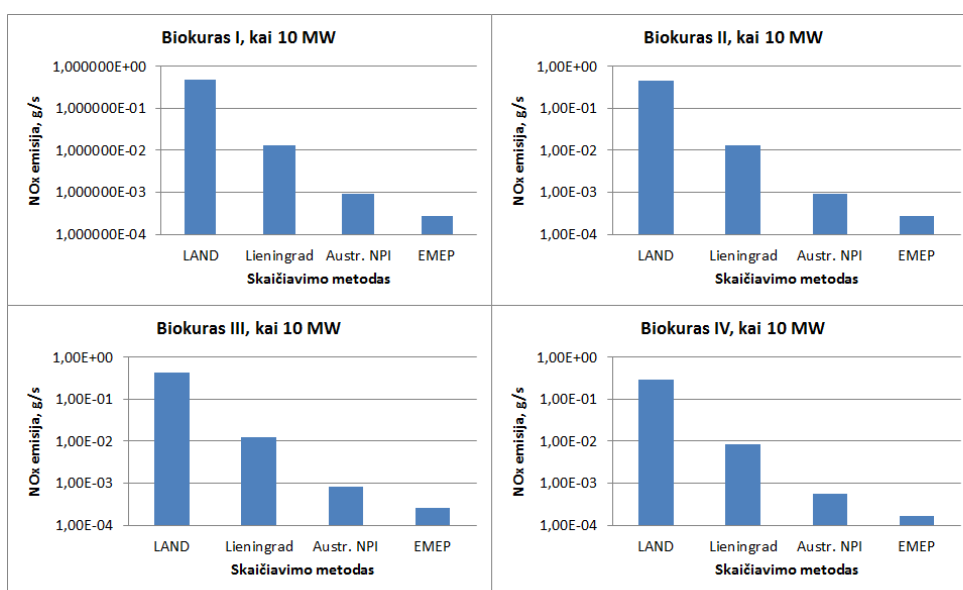
3.3 pav. CO emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

Kai skaičiavimams naudojama 50 MW katilinės galia, CO emisijos yra pačios didžiausios lyginant su 5 MW bei 10 MW. Tam įtakos turi didesnis biokuro kiekio naudojimas. Tačiau, tarp metodikų tendencijos išlieka tos pačios: Goskomgidromiet/Lieningrad metodika pateikia mažiausias vertes, o Australijos NPI didžiausias. Pagal EMEP metodikos skaičiavimo rezultatus, CO emisija yra 16 kartų didesnė lyginant su Goskomgidromiet/Lieningrad rezultatais, o lyginant su Australijos NPI metodikos pateiktomis vertėmis vos 1,2 karto mažesnė. Tokiems rezultatams įtakos galėjo turėti tai, kad apskaičiuoti CO išmetimus, kai deginama biomasė, Goskomgidromiet/Lieningrad metodas yra tam nepritaikytas. Koeficientai kurie padeda apskaičiuoti teršalo išmetimus yra pateikiami tik riboto galingumo katilams su tam tikra kuro rūšimi (pvz. 10000 kW, spaliai).



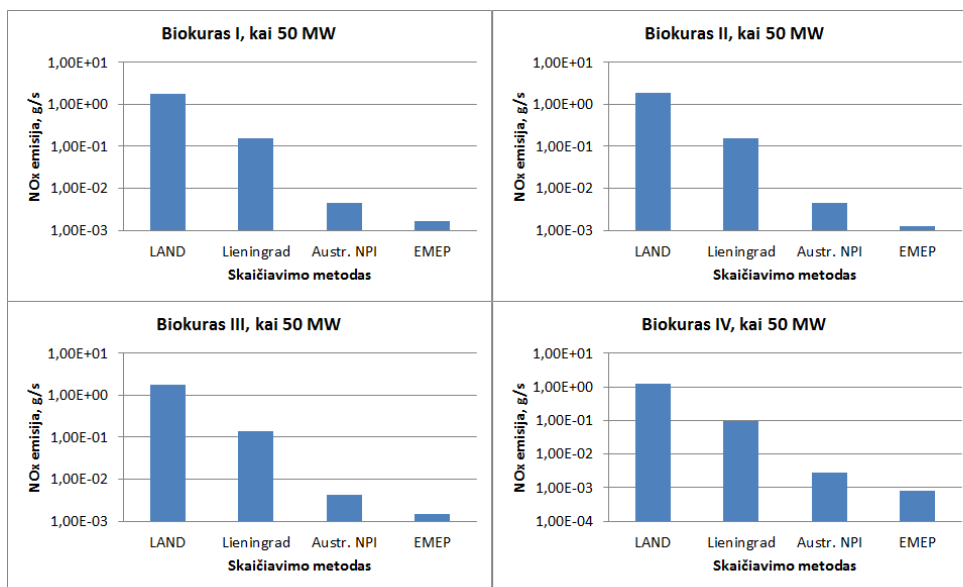
3.4 pav. NO_x emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

Pagal pateiktą diagramą (žr. 3.4 pav.) galima matyti, kad kai biokuro katilinės galia 5 MW, mažiausią NO_x emisiją pateikia EMEP metodikos skaičiavimo rezultatai. Didžiausias vertes pateikia Goskomgidromiet/Leningrad metodika. Tačiau yra būtina paminėti, kad naudojant Goskomgidromiet/Leningrad metodiką yra skaičiuojama tik NO₂ emisija, kai tuo tarpu tiek EMEP tiek Australijos NPI metodai pateikia NO_x reikšmes. Taigi, didžiausia NO₂ emisija paskaičiuota pagal Goskomgidromiet/Leningrad metodą yra, kai naudojamas biokuras I, o mažiausia, kai biokuras IV. Australijos NPI bei EMEP atveju mažiausios vertės yra, kai skaičiavimams naudojamas biokuras IV, o didžiausios, kai biokuras III.



3.5 pav. NO_x emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW

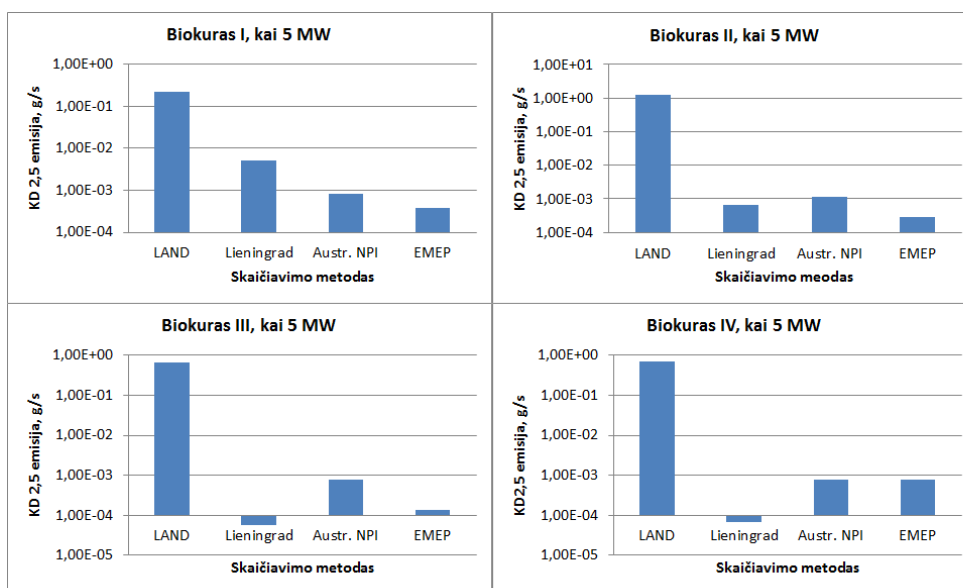
Kai biokuro katilinė 10 MW, mažiausias NO_x emisijas pateikia EMEP metodikos skaičiavimai. Nepriklausomai nuo biokuro rūšies, visais atvejais NO_x emisija pagal Australijos NPI metodą yra didesnė tris kartus lyginant su EMEP skaičiavimo rezultatais. Pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodą, NO₂ vertės didžiausios, tačiau nei vienas iš skaičiavimo metodų neviršija pateiktų LAND ribinių verčių.



3.6 pav. NO_x emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

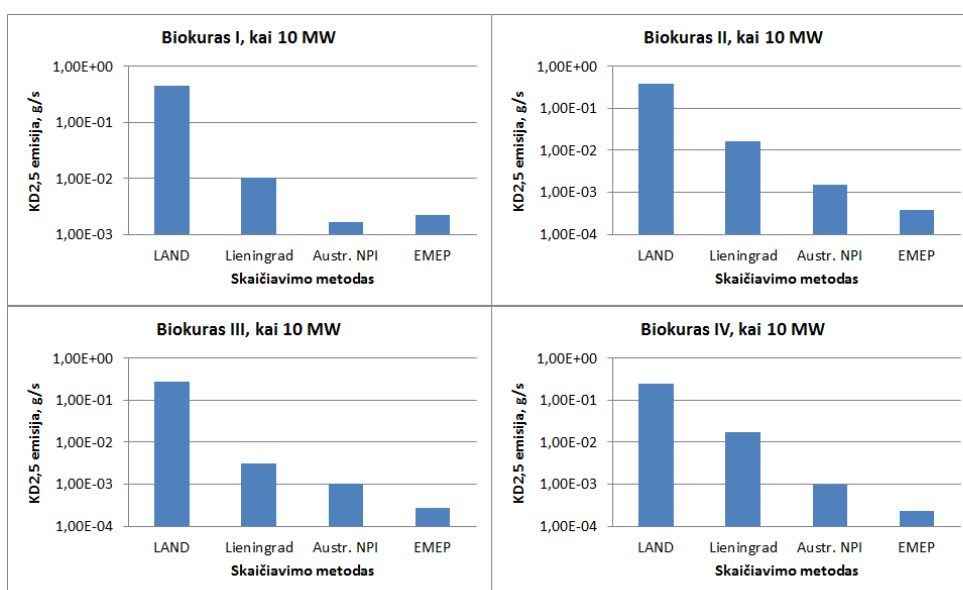
Pagal pateiktą diagramą (žr. 3.6 pav.) akivaizdu, kad atliekant skaičiavimus, kai biokuro katilinė 50 MW, NO_x emisijos paskaičiuotos pagal pateiktus metodus yra didesnės lyginant su prieš tai nagrinėtais rezultatais, kai biokuro katilinės galia 5 MW ar 10 MW. Tačiau, lygiai taip pat, mažiausias emisijas pateikia EMEP skaičiavimo metodas, o didžiausias Goskomgidromiet/Lieningrad. Visais atvejais LAND ribinės vertės yra neviršytos.

Aptariant kietąsias daleles, šiuo atveju – $KD_{2,5}$, rezultatai yra skirtingi. Pirmojo scenarijaus atveju, kai skaičiavimams atlikti naudojamas biokuras I, didžiausia $KD_{2,5}$ emisija paskaičiuota naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodą – 0,00516 g/s.



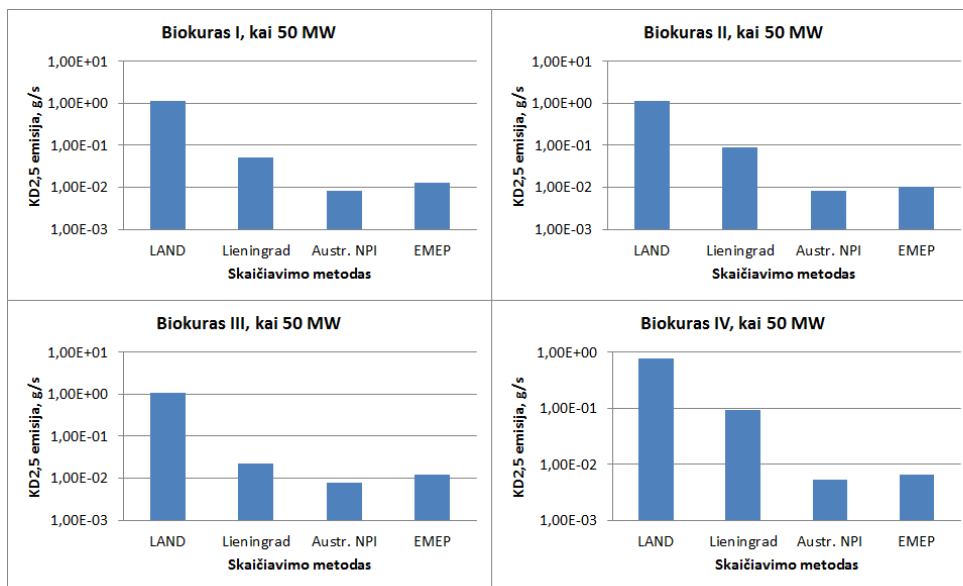
3.7 pav. $KD_{2,5}$ emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

Kituose skaičiavimo scenarijuose $KD_{2,5}$ emisijos suskaičiuotas pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodą yra mažiausios. Australijos NPI metodo rezultatai didžiausi su biokuru II, kai emisija - 0,000761 g/s ir III, kai – 0,000529 g/s. Didžiausia emisija pagal EMEP skaičiuota su biokuru IV – 0,000792 g/s.



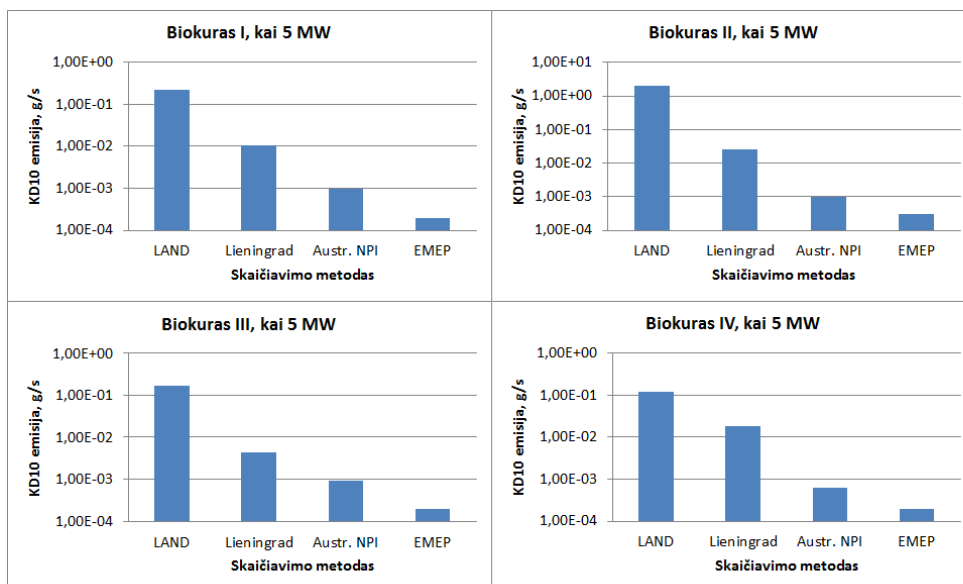
3.8 pav. $KD_{2,5}$ emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW

Atlikus skaičiavimus, kai biokuro katilinė 10 MW, matoma (žr. 3.8 pav.), kad pagal visus scenarijus didžiausios $KD_{2,5}$ vertės paskaičiuotos naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodą. Pagal pirmą scenarijų mažiausia $KD_{2,5}$ emisija gauta skaičiavimams naudojant Australijos NPI metodą – 0,001655 g/s, o likusiais atvejais, kai naudojamas biokuras II, III ir IV mažiausios $KD_{2,5}$ emisijos vertės gautos pagal EMEP skaičiavimo metodą.



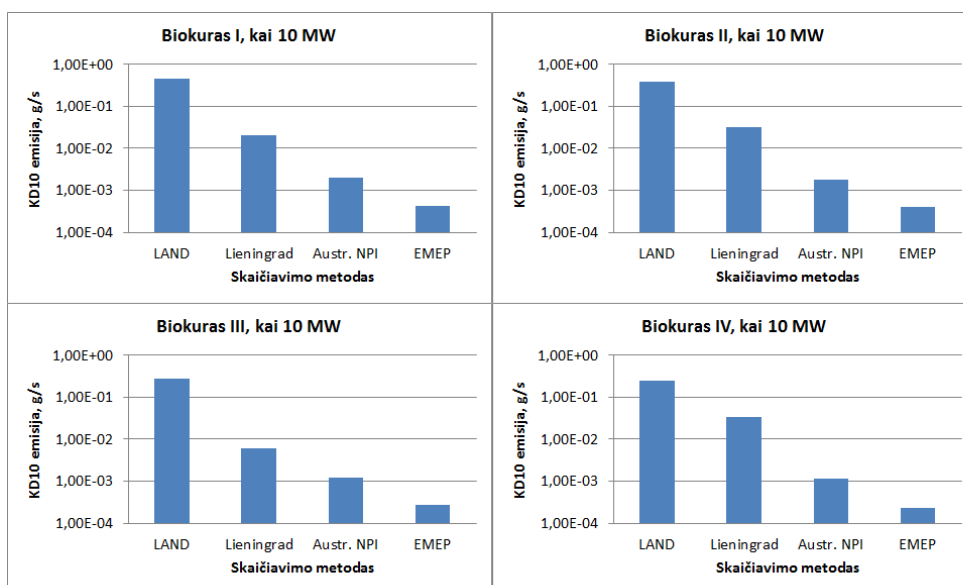
3.9 pav. $KD_{2,5}$ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

Kai biokatilinės galia 50 MW, $KD_{2,5}$ emisijos paskaičiuotos pagal Goskomgidromiet/Lieningrad, Australijos NPI ir EMEP skaičiavimo metodus LAND ribinių verčių neviršijo. Tačiau Goskomgidromiet/Lieningrad metodas pateikė didžiausias $KD_{2,5}$ emisijas, o mažiausias vertes pateikė Australijos NPI metodas. Atliekant skaičiavimus pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodą yra svarbus biokuro peleningumas, nes kuo jis didesnis, tuo kietųjų dalelių emisija didesnė.



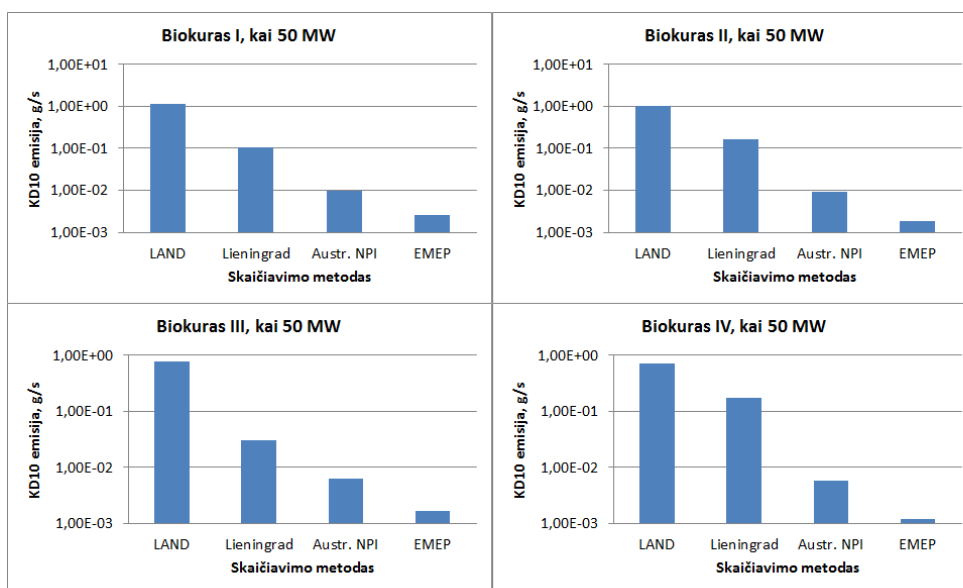
3.10 pav. KD_{10} emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

KD_{10} emisijos, kai biokuro katilinė 5 MW didžiausios buvo suskaičiuotos su Goskomgidromiet/Leningrad metodu, o mažiausios su EMEP (žr. 3.10 pav.). Skirtumas tarp šių metodų rezultatų siekia net 95 kartus, kai EMEP emisijos yra mažesnės už Goskomgidromiet/Leningrad. Tuo tarpu Australijos NPI metodo rezultatai lyginant su Goskomgidromiet/Leningrad metodu buvo mažesni: kai biokuras I – beveik 11 kartų, kai biokuras II – 25, biokuras III vos 5 kartus, o biokuru IV skaičiavimai skyrėsi net 30 kartų.



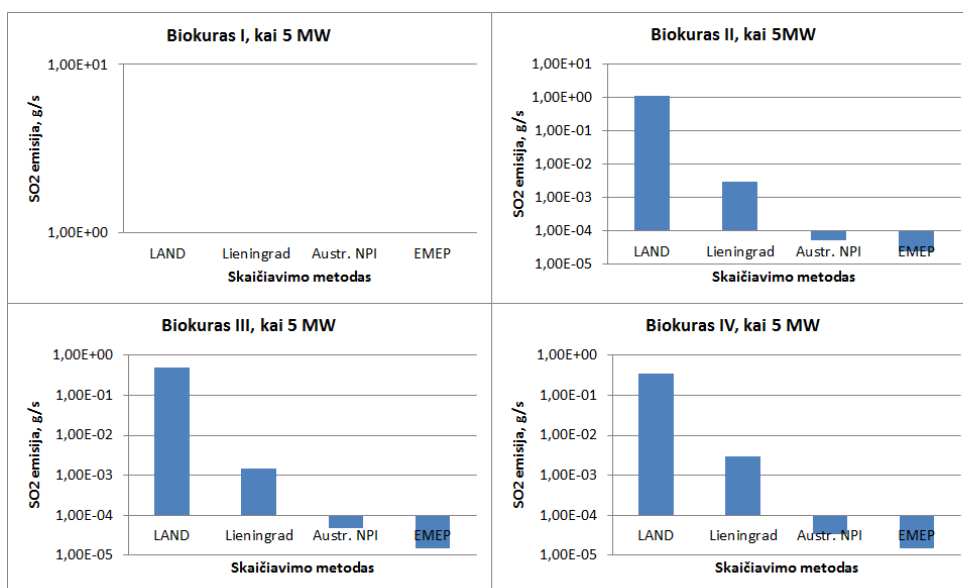
3.11 pav. KD_{10} emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW

Esant biokuro katilinei 10 MW, didžiausias KD_{10} emisijas pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodas, o skaičiuojant pagal EMEP metodą emisijos su visais biokuro scenarijais buvo mažiausios.



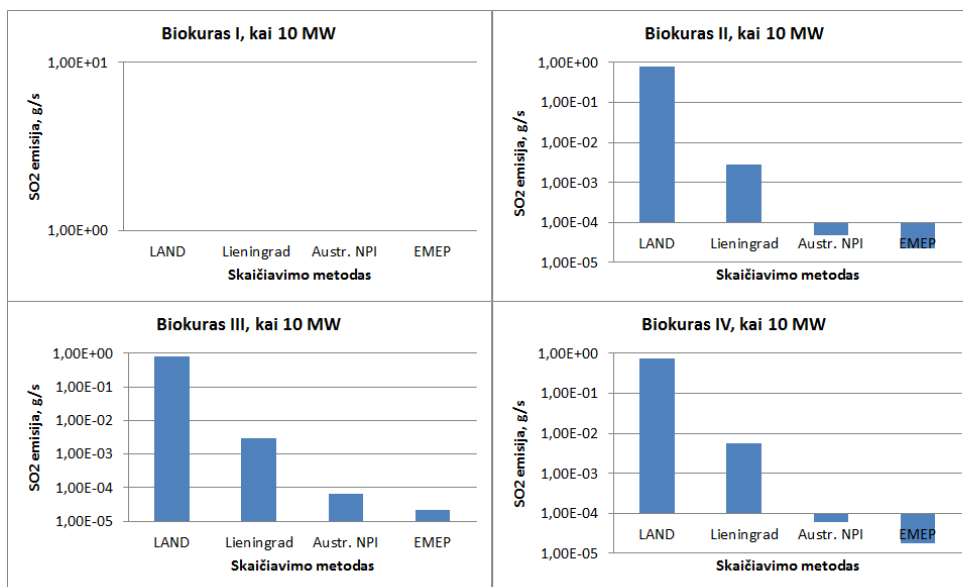
3.12 pav. KD_{10} emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

Pateiktose diagramose matyti (žr. 3.12 pav.), kad Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodas pateikia didžiausias KD_{10} emisijas, o didžiausia vertė pagal šį skaičiavimo metodą, kai naudojamas biokuras III – 0,03061 g/s. Mažiausios KD_{10} emisijos pateiktos pagal EMEP skaičiavimo metodą ir lyginant jį su Goskomgidromiet/Lieningrad vertės mažesnės yra iki 148 kartų (kai skaičiavimams naudojamas biokuras IV).



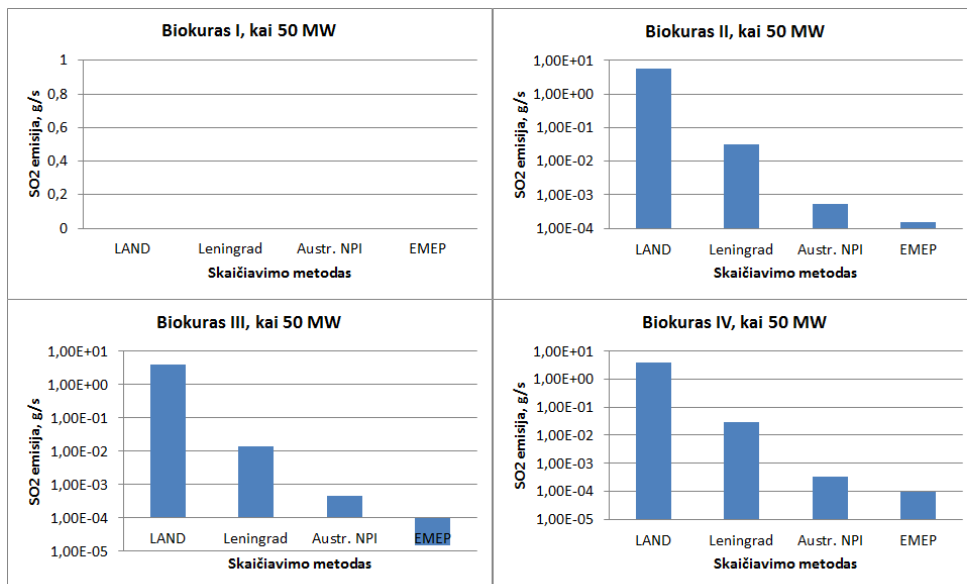
3.13 pav. SO_2 emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

Atliekant inžinierinius skaičiavimus, buvo priimta, kad biokuras I savo sudėtyje neturi sieros, todėl SO₂ skaičiavimai su biokuru I nebuvo atliekami. SO₂ emisijų skaičiavimai pateikiami tik pagal likusius biokuro scenarijus (II, III, IV). Iš pateiktos diagramos matyti (žr. 3.13 pav.), kad SO₂ mažiausias kiekis apskaičiuotas naudojant EMEP metodą, na o didžiausias kiekis gautas pagal Goskomgidromiet/Lieningrad. Pagal Australijos NPI metodo skaičiavimo rezultatus matyti, kad lyginant su EMEP jie yra tris kartus didesni. Tačiau palyginus Australijos NPI SO₂ emisija su Goskomgidromiet/Lieningrad metodo rezultatais, matyti, kad pastarieji yra vidutiniškai 65 kartus mažesni.



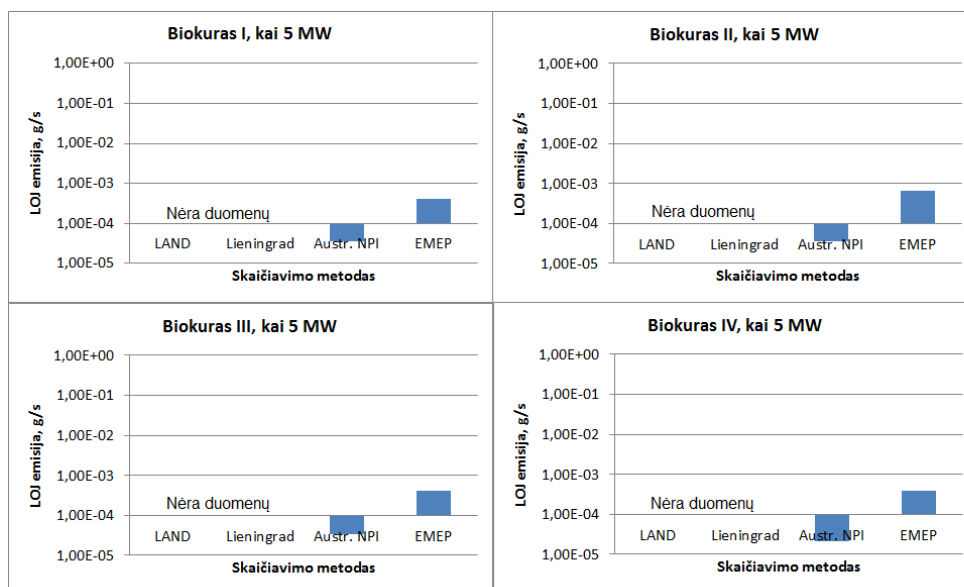
3.14 pav. SO₂ emisija, kai biokuro katilinės galia 10 MW

Pagal pateiktus duomenis matyti (žr. 3.14 pav.), kad Goskomgidromiet/Lieningrad metodo skaičiavimo rezultatai yra didžiausi lyginant su kitais duomenimis, o SO₂ emisija didžiausia, kai skaičiavimams buvo naudojamas biokuras IV (lygiai taip pat, kai biokuro katilinės galia – 10 MW). Mažiausias SO₂ vertes pateikia EMEP metodika, nepriklausomai nuo biokuro rūšies.



3.15 pav. SO₂ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

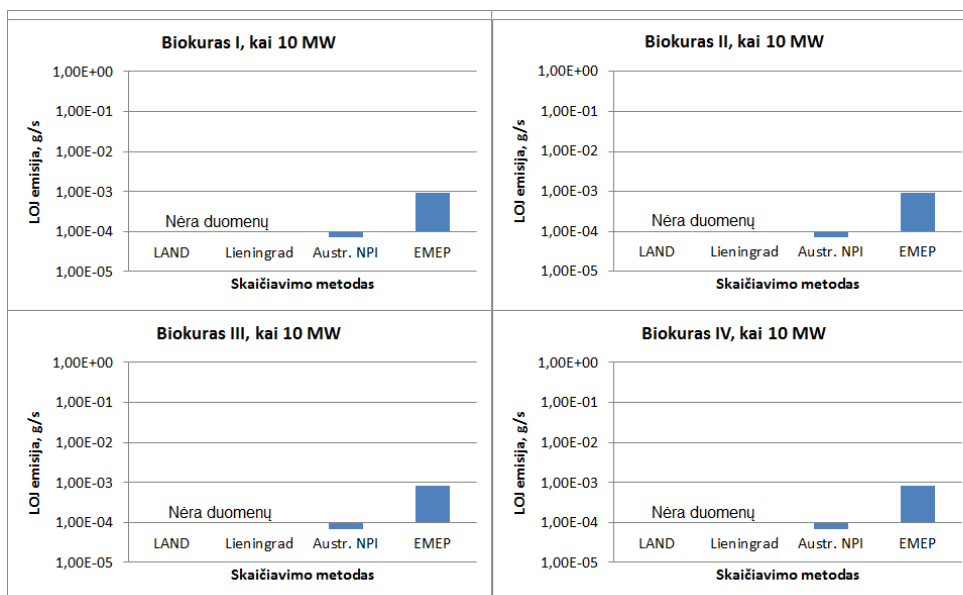
Atlikus skaičiavimus, kai biokuro katilinės galia 50 MW rezultatai yra ženkliai didesni, lyginant su 5 MW ir 10 MW duomenimis. Tačiau nei vienu atveju LAND vertės neviršytos. Didžiausia SO₂ emisija paskaičiuota pagal Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodą. Mažiausias vertes pateikia EMEP metodas nepriklausomai nuo biokuro rūšies (kaip ir, kai biokuro katilinės galia – 5 MW ar 10 MW).



3.16 pav. LOI emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

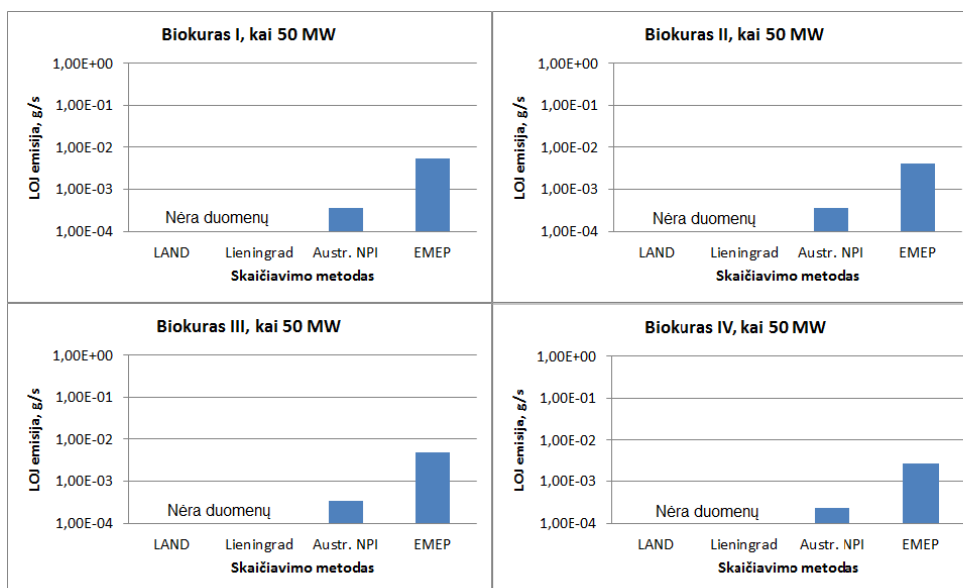
Pagal pateiktus duomenis (žr. 3.16 pav.) LOI emisijos buvo skaičiuojamos naudojant tik Australijos NPI ir EMEP metodus. LAND nepateikia ribinių verčių, o

Goskomgidromiet/Lieningrad metodas nesuteikia galimybės paskaičiuoti. Iš rezultatų matyti, kad Australų metodika pateikia ženkliai, t.y. net 16 kartų mažesnes LOJ emisijos vertes nei EMEP.



3.17 pav. LOJ emisija, kai biokuro katilinės galia 5 MW

Kai biokuro katilinė 10 MW, nepriklausomai nuo biokuro rūšies, rezultatas paskaičiuotas pagal EMEP skaičiavimo metodą yra net 12,5 kartų didesnis lyginant su Australijos NPI metodu.



3.18 pav. LOJ emisija, kai biokuro katilinės galia 50 MW

Kai biokuro katilinės galia 50 MW, LOJ skaičiavimo rezultatai lyginant su kitų katilinių – 5 MW ir 10 MW yra didesni, bei rezultatas pagal EMEP metodiką lyginant su Australijos NPI metodika išlieka taip pat didesnis nepriklausomai nuo biokuro rūšies.

Apibendrinant gautus rezultatus, biokuro katilinės galingumas CO emisijai turi įtakos. Kuo didesnis katilinės galingumas, tuo didesnės emisijos paskaičiuojamos naudojant bet kurį skaičiavimo metodą. Atliekant skaičiavimus pagal Australijos NPI ir EMEP metodikas yra svarbu biokuro suvartojimas, o biokuro suvartojimas priklauso nuo kuro kalingumo bei katilinės galios. Mažiausios CO vertės paskaičiuotos naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodiką. Tačiau rezultatai gali būti netikslūs dėl skaičiavimo metu naudotų koeficientų, kurie šiame metode yra specifiški. Tai reiškia, kad kiekvienas koeficientas pritaikytas tik tam tikrai kuro rūšiai ir katilo galingumui.

Kadangi pagal turimus biokuro katilinių galingumo scenarijus (5, 10, 50 MW) ir biokuro rūšį koeficientų nėra, skaičiavimams atlikti buvo priimtas gabalinės medienos atliekų atvejis, kai katilo galia 900 kW. Beveik 9 kartus didesnės CO emisijos buvo paskaičiuotos naudojant EMEP metodą, kur nurodyta, kad emisijos dydis priklauso nuo degimo technologijos bei kuro. Šio darbo metu pati degimo technologija nebuvo nagrinėjama, todėl svarbiu faktoriumi išlieka tik naudojamas kuras. CO emisija apskaičiuojama tada, kai biokuro suvartojimas yra dauginamas iš emisijos faktoriaus, detali kuro sudėtis skaičiuojant EMEP metodika yra visiškai nesvarbi. Naudojant Australijos NPI skaičiavimo metodiką CO emisijos buvo vidutiniškai 1,24 karto didesnės už EMEP. Ši metodika taip pat naudoja faktorius emisijoms apskaičiuoti.

Priešingai nei CO skaičiavimai naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodą NO_x vertės pateikia didžiausias iš visų skaičiavimo metodikų. Tačiau kaip ir minėta anksčiau reikia žinoti, kad naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodą yra skaičiuojama tik NO_2 emisija, kai tuo tarpu tiek EMEP tiek Australijos NPI metodikos pateikia NO_x reikšmes. Taip pat, naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad apskaičiuoti NO_2 emisijoms yra reikalingi minėti koeficientai, kuriuos parengti reikia pagal kuro tipą ir katilinės galią bei šiuo atveju svarbu yra vidutinis katilo našumas. Tuo tarpu su EMEP ir Australų NPI metodais yra daug paprasčiau, nes NO_x apskaičiuojami pritaikant reikiamą faktorių. Pagal Australų NPI NO_x emisijos yra vidutiniškai 6,5 karto mažesnės, o EMEP metodika pateikia mažiausius rezultatus. Pagal visas skaičiavimo metodikas, kai katilinės galia 50 MW emisijos buvo didžiausios. Goskomgidromiet/Lieningrad rezultatai, kai galia 50 MW buvo net 38 kartus didesni, lyginant, kai galia 5 MW. Australijos NPI vertės didesnės buvo 10 kartų, o EMEP beveik 7 kartus.

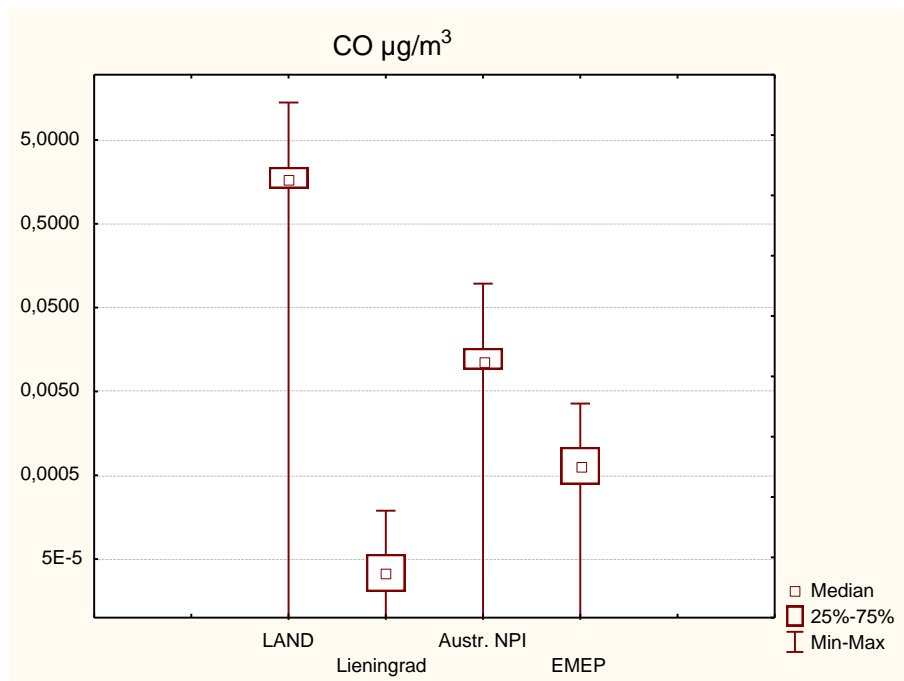
Naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką KD skaičiavimams yra gaunamas tik bendras jų kiekis. Atskirai šis metodas KD_{10} ir $KD_{2,5}$ verčių nepateikia. Todėl bendras kietų dalelių skaičius buvo dauginamas iš koeficientų – 0,35, kad apskaičiuoti $KD_{2,5}$ ir 0,7, kad apskaičiuoti KD_{10} . Taip pat, pagal šią metodiką yra svarbus biokuro peleningumas. Pagal gautus rezultatus matyti, kad kuo didesnis peleningumas (kai biokuras I, peleningumas – 0,7 %, kai biokuras II - 1,2 %, kai III – 0,325 %, o kai IV – 2 %), tuo $KD_{2,5}$ emisija yra didesnė. Pagal pirmą scenarijų mažiausia $KD_{2,5}$ emisija gauta skaičiavimams naudojant Australijos NPI metodiką, o likusiais atvejais, kai naudojamas biokuras II, III ir IV mažiausios $KD_{2,5}$ emisijos vertės gautos pagal EMEP skaičiavimo metodiką (kai biokuro katilinės galia 5 MW). Skaičiuojant KD_{10} emisijas, nepriklausomai nuo katilinės galingumo didžiausias vertes pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad metodika, o mažiausias EMEP.

SO_2 emisijas apskaičiuoti pagal Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką yra reikalinga tik sieros dalis kure ir kuro pelenais surišama SO_2 dalis. Šio metodo atveju pastarasis minėtas rodiklis gali būti pritaikomas tik tam tikrai kuro rūšiai – mazutui, durpėms, skalūnams, anglims bei dujoms. Atliekant skaičiavimus buvo priimtas durpių scenarijus, nes ši metodika nepateikia medienos biokuro pelenais surišamos SO_2 dalies. Pagal gautus rezultatus, nepriklausomai nuo biokuro rūšies ar galios, didžiausias emisijos vertes pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad metodas, o mažiausias – EMEP. Australijos NPI rezultatai lyginant su Goskomgidromiet/Lieningrad ar LAND vertėmis yra mažesni, nes Australijai yra nebūdingi dideli SO_2 kiekiai. Didžiausi šio teršalo kiekiai randami pramonės sektoriuose, šalia elektrinių ar pan., o šioje šalyje tokių vietų vos kelios. Todėl šiame skaičiavimo metode emisijų faktoriai apskaičiuoti SO_2 emisijas nepateikia didelių verčių.

Kalbant apie LOJ emisijas, svarbu paminėti, kad LAND nepateikia ribinių verčių šio teršalo, todėl nėra galimybės palyginti rezultatų, o Goskomgidromiet/Lieningrad nesuteikia galimybės suskaičiuoti emisijų. Todėl skaičiavimai buvo vykdomi tik su EMEP ir Australijos NPI metodikomis. Pagal gautus rezultatus, galima matyti, kad nepriklausomai nuo katilinės galios visais atvejais LOJ emisija didesnė paskaičiuota taikant EMEP metodiką.

3.3 Teršalų sklaidos skaičiavimai

Teršalų sklaidos skaičiavimai atlikti pagal III biokuro scenarijų, kai miško kirtimo atliekos naudojamos kaip biokuras, katilinės galia – 10 MW, kamino aukštis – 40 m, diametras – 1 m, temperatūra – 60 °C. Modeliavimas buvo vykdomas tik pagal vieną scenarijų, nes visų rezultatų tendencijos yra panašios ir nepateikia jokių išskirtinimų. Pagal pateiktus rezultatus (žr. 3.19 pav.) didžiausias CO paros 8 valandų maksimalų vidurkį pateikia Australijos NPI metodika, pagal kurią teršalų koncentracijos siekia 0,138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Mažiausia CO koncentracija gauta pagal Goskomgidromiet/ Leningrad skaičiavimo metodiką, kurios didžiausia vertė yra tik 0,007 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



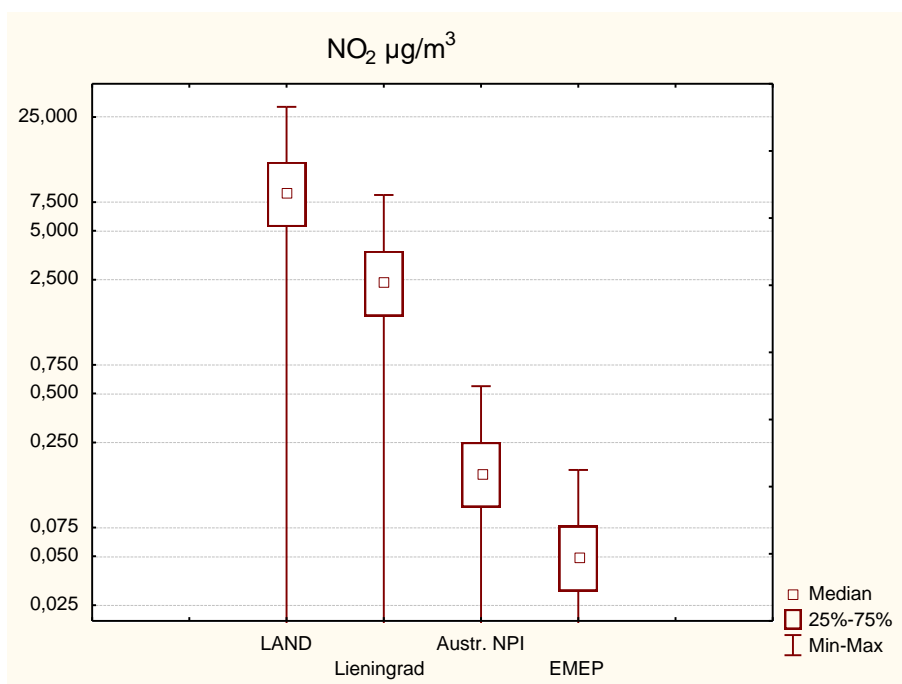
3.19 pav. CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai

Nei vienos metodikos rezultatas neviršija LAND verčių. Rezultatus lyginant su ribine aplinkos CO užterštumo norma – 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, kuri nustato žmonių sveikatos, ekosistemų ir augmenijos apsaugą [43], viršijo tik LAND vertės (žr. 3.2 lentelę).

3.2 lentelė. CO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	1,996	0	10,147	1,191	3,217
Goskomgidromiet/ Lieningrad	0,0008	0	0,007	0,0006	0,001
Austr. NPI	0,016	0	0,138	0,013	0,023
EMEP	0,011	0	0,096	0,009	0,016

NO₂ 1 valandos ribinė vertė – 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [43]. Visų pateiktų metodikų rezultatai ribinių verčių neviršijo, o didžiausius rezultatus pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodika – 0,585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lyginant su Australijos NPI, kurios didžiausia vertė – 0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ar EMEP – 0,001 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (žr. 3.20 pav.).

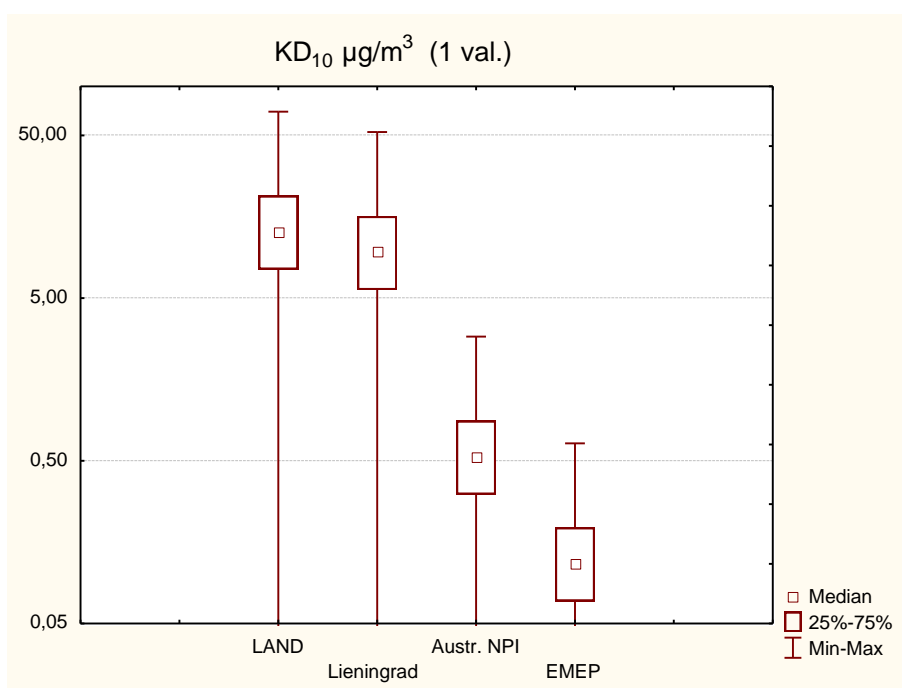


3.20 pav. NO₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai

LAND pateiktų verčių Goskomgidromiet/Lieningrad, Australijos NPI ir EMEP metodikos neviršijo. Tačiau mažo galingumo kurą deginančių įrenginių teršalų išmetimo normos yra didesnės už aplinkos didžiausias leistinas teršalų koncentracijas (žr. 3.3 lentelę).

3.3 lentelė. NO₂ µg/m³ sklaidos rezultatai

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	2,350	0	2,601	2,07	2,511
Goskomgidromiet/ Lieningrad	0,663	0	0,585	0,585	0,707
Austr. NPI	0,044	0	0,03	0,039	0,047
EMEP	0,013	0	0,01	0,011	0,014



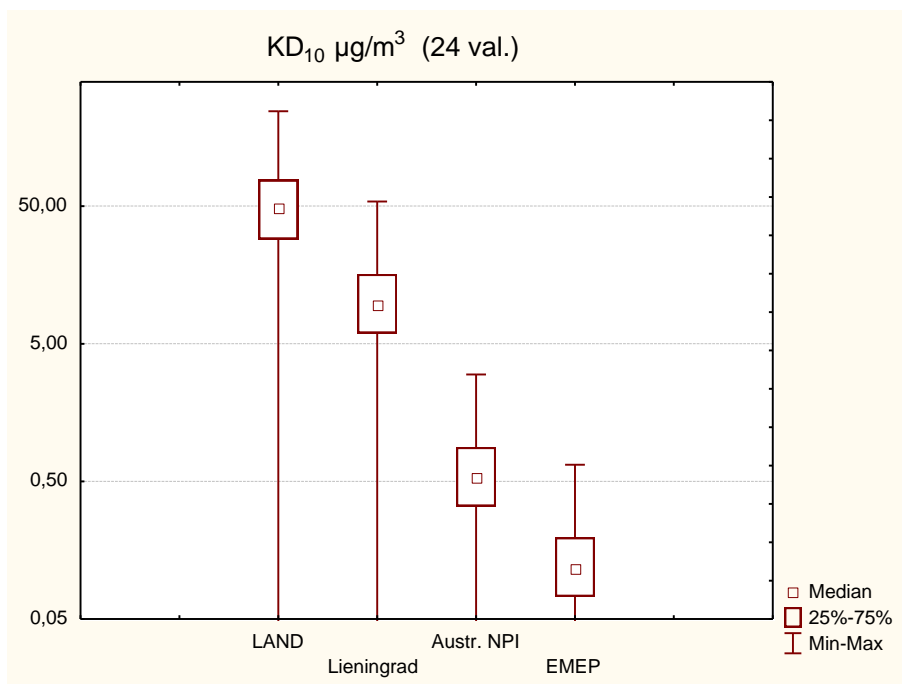
3.21 pav. KD₁₀ µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

Pagal pateiktus rezultatus (žr. 3.21 pav.) KD₁₀ µg/m³ didžiausia vertė yra LAND – 67,5 µg/m³. Beveik 1,3 kartų mažesnes vertes pateikia Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodika – 52,4 µg/m³. Mažiausia koncentracija paskaičiuota naudojant EMEP metodiką – 0,639 µg/m³.

3.4 lentelė. KD₁₀ µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	12,488	0	67,597	7,250	20,563
Goskomgidromiet/ Lieningrad	9,681	0	52,405	5,620	15,942
Austr. NPI	0,535	0	2,898	0,310	0,881
EMEP	0,118	0	0,639	0,068	0,194

Diagramoje galima matyti, kad pagal visas skaičiavimo metodikas kurą deginančių įrenginių normos nebuvo viršytos (žr. 3.22 pav.).

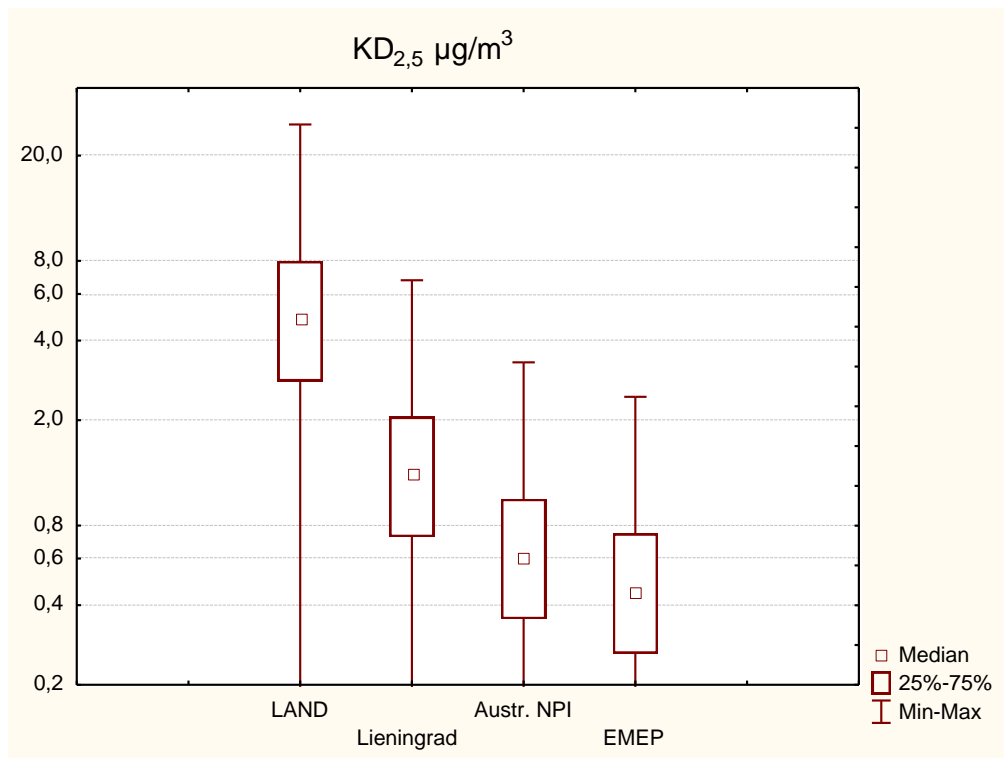


3.22 pav. KD₁₀ µg/m³ sklaidos rezultatai (24 val.)

Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodikos KD₁₀ maksimali koncentracija – 72,275 µg/m³, Australijos NPI koncentracijos beveik 6 kartų mažesnės, o EMEP maksimali vertė tik 0,660µg/m³ (žr. 3.5 lentelę).

3.5 lentelė. KD₁₀ µg/m³ sklaidos rezultatai (24 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	12,912	0	72,275	7,964	21,445
Goskomgidromiet/ Lieningrad	3,608	0	18,345	2,154	5,816
Austr. NPI	0,533	0	2,993	0,329	0,886
EMEP	0,117	0	0,660	0,072	0,195

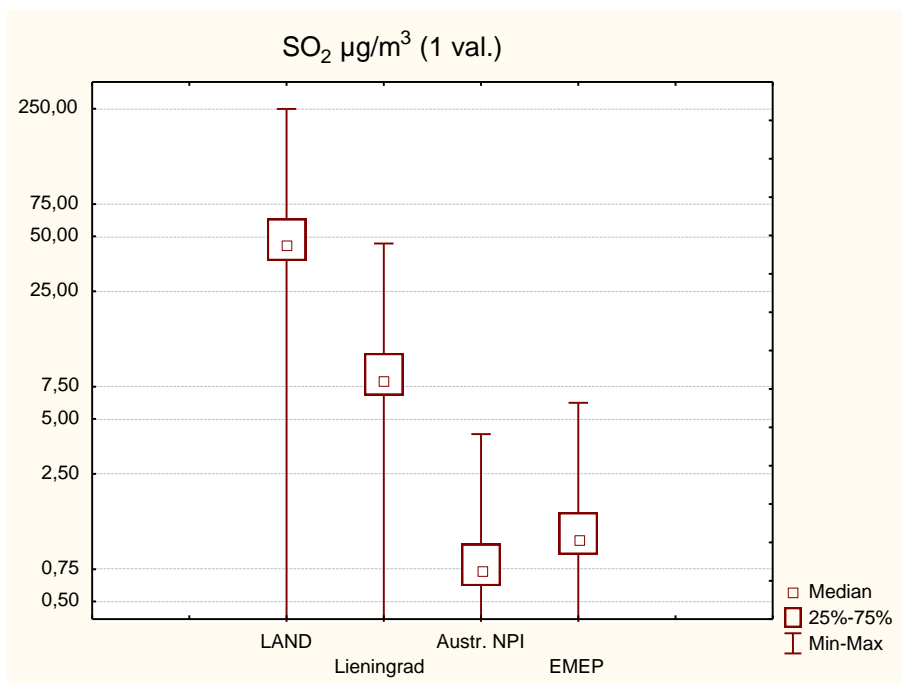


3.23 pav. KD_{2,5} µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

KD_{2,5} koncentracijos vidutinė ribinė vertė per metus – 25µg/m³ [43]. Pagal gautus rezultatus Goskomgidromiet/Lieningrad, Australijos NPI ir EMEP metodikos ribinių verčių neviršijo (žr. 3.6 lentelę). Didžiausias vertes pateikė LAND, kai maksimali vertė – 26,202 µg/m³.

3.6 lentelė. KD_{2,5} µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	4,840	0	26,202	2,810	7,970
Goskomgidromiet/ Lieningrad	1,248	0	6,759	0,725	2,056
Austr. NPI	0,611	0	3,308	0,354	1,006
EMEP	0,452	0	2,451	0,262	0,745

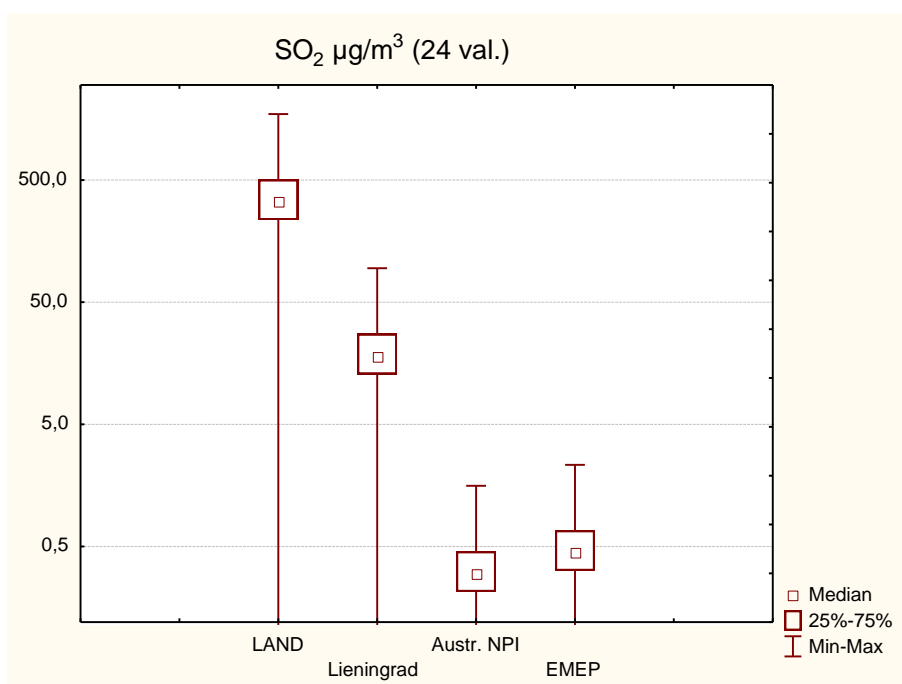


3.24 pav. SO₂ µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

Matuojant SO₂ koncentracijas tris valandas iš eilės ir, kai koncentracija siekia 500 µg/m³ yra laikoma, kad aplinkos oro užterštumo lygis yra pavojingas žmonių sveikatai ir aplinkai [43]. Tačiau kaip pavaizduota 3.24 paveiksle, galima matyti, kad nei Goskomgidromiet/Lieningrad, Australijos NPI ir EMEP metodikos ribinių verčių neviršijo. LAND pateikia 249,278 µg/m³ maksimalią vertę (žr. 3.7 lentelę), kuri yra net 5,5 kartus didesnė nei Goskomgidromiet/Lieningrad metodikos rezultatus, o lyginant su Australijos NPI ir EMEP metodikomis, rezultatai skiriasi dešimtimis kartų.

3.7 lentelė. SO₂ µg/m³ sklaidos rezultatai (1 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	44,578	0	249,278	36,801	62,441
Goskomgidromiet/ Lieningrad	8,163	0	45,646	6,738	11,434
Austr. NPI	0,737	0	4,123	0,608	1,033
EMEP	1,095	0	6,125	0,904	1,534

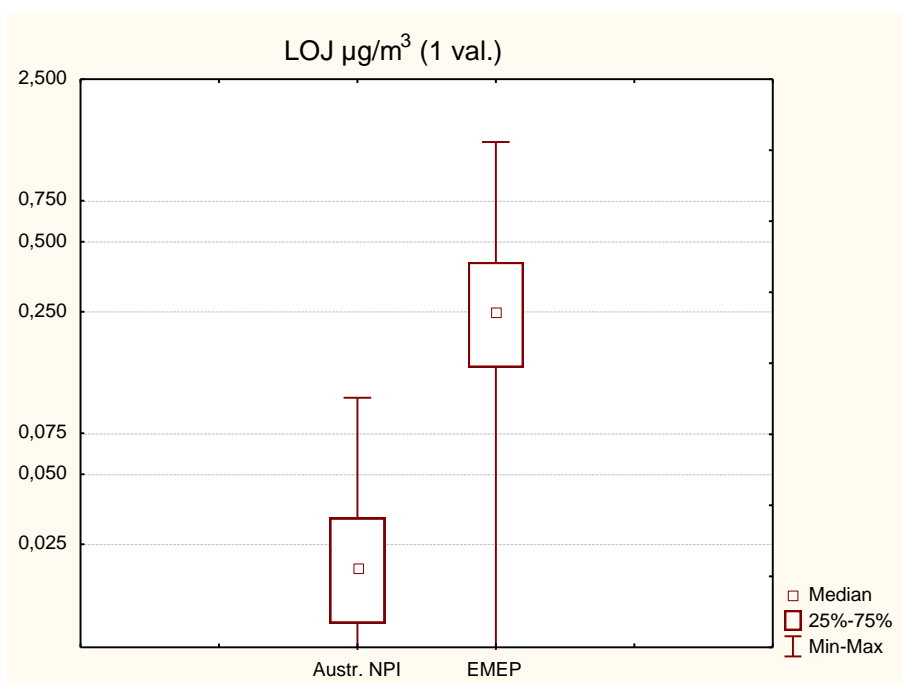


3.25 pav. SO₂ µg/m³ sklaidos rezultatai (24 val.)

Pagal pateiktus rezultatus galima matyti, kad LAND vertės nebuvo viršytos (žr. 3.25 pav.). Didžiausia teršalų koncentracija paskaičiuota naudojant Goskomgidromiet/Leningrad metodiką – 9,522 µg/m³, mažiausia pagal Australijos NPI – 0,158 µg/m³. Didžiausias leistina koncentracija (24 val.) yra 125 µg/m³ ir šios vertės neviršija nei Goskomgidromiet/Leningrad, Australijos NPI nei EMEP.

3.8 lentelė. SO₂ µg/m³ sklaidos rezultatai (24 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	310,933	0	1743,660	192,142	516,691
Goskomgidromiet/ Leningrad	1,698	0	9,522	1,049	2,821
Austr. NPI	0,028	0	0,158	0,017	0,046
EMEP	0,041	0	0,234	0,025	0,069

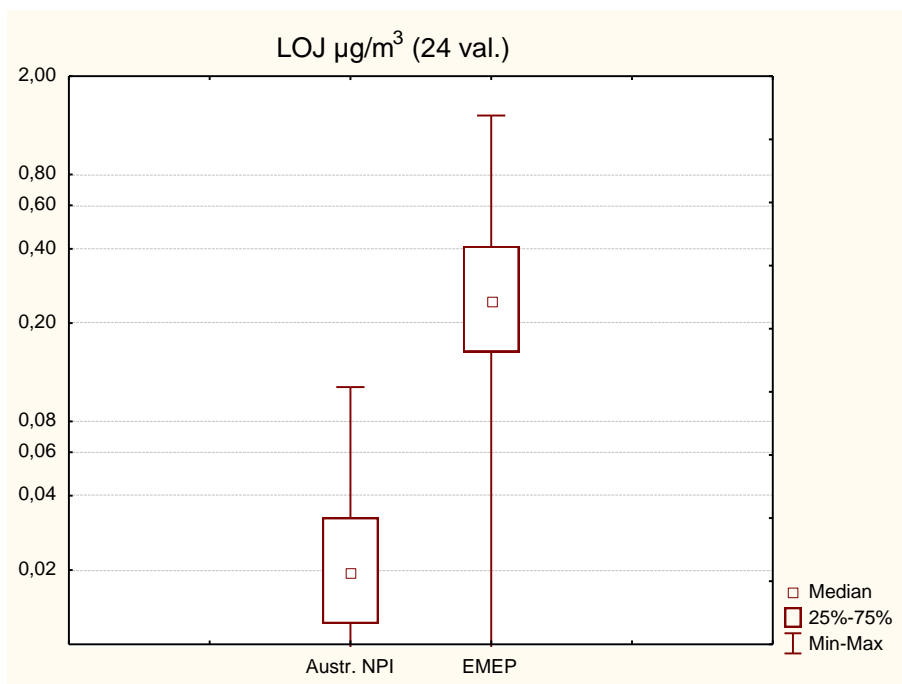


3.26 pav. LOJ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai (1 val.)

Iš diagramos (žr. 3.26 pav.) aiškiai galima matyti, kad LOJ didesnes koncentracijas pateikia EMEP metodika, kurios maksimali vertė – $1,341 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o daugiau nei 12 kartų mažesnes koncentracijas pateikia Australijos NPI metodika. LAND nepateikia LOJ ribinių verčių, o Goskomgidromiet/Lieningrad metodika nesuteikia galimybės paskaičiuoti LOJ verčių, todėl rezultatai negali būti palyginami (žr. 3.9 lentelę).

3.9 lentelė. LOJ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai (1 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų
Goskomgidromiet/ Lieningrad	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų
Austr. NPI	0,019	0	0,106	0,011	0,032
EMEP	0,247	0	1,341	0,143	0,408



3.27 pav. LOJ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai (24 val.)

LOJ maksimali koncentracija (24 val.) pagal EMEP yra $1,385 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o pagal Australijos NPI mažesnė – $0,110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pagal LAND ir Goskomgidromiet/Lieningrad metodikas nėra duomenų (žr. 3.27 pav. ir 3.10 lentelę).

3.10 lentelė. LOJ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sklaidos rezultatai (24 val.)

Metodika	Mediana	Min vertė	Max vertė	25% percentilis	75% percentilis
LAND	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų
Goskomgidromiet/ Lieningrad	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų	Nėra duomenų
Austr. NPI	0,019	0	0,110	0,012	0,032
EMEP	0,247	0	1,385	0,152	0,410

IŠVADOS

1. CO emisijai biokuro katilinės galingumas turi įtakos. Kuo didesnis katilinės galingumas, tuo didesnės emisijos paskaičiuojamos naudojant bet kurį skaičiavimo metodą. Mažiausios CO vertės gautos naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad skaičiavimo metodą. Pagal Australijos NPI metodiką emisijos yra beveik 19 kartų didesnės nei Goskomgidromiet/Lieningrad rezultatų, o pagal EMEP metodiką – 12 kartų. Goskomgidromiet/Lieningrad metodika NO_x vertes pateikia didžiausias iš visų. Tačiau naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką yra skaičiuojama tik NO_2 emisija, kai tuo tarpu tiek EMEP tiek Australijos NPI metodai pateikia NO_x reikšmes. Pagal Australų NPI NO_x emisijos yra vidutiniškai 6,5 karto mažesnės, o EMEP metodika pateikia mažiausius rezultatus. Goskomgidromiet/Lieningrad metodikai yra svarbus biokuro peleningumas, nes kuo jis didesnis, tuo kietųjų dalelių emisija didesnė (kai biokuras I, peleningumas – 0,7 %, kai biokuras II - 1,2 %, kai III – 0,325 %, o kai IV – 2 %). Pagal pirmą scenarijų mažiausia $\text{KD}_{2,5}$ emisija gauta skaičiavimams naudojant Australijos NPI metodą, o likusiais atvejais, kai naudojamas biokuras II, III ir IV mažiausios $\text{KD}_{2,5}$ emisijos vertės gautos pagal EMEP skaičiavimo metodiką (kai biokuro katilinės galia 5 MW). Skaičiuojant KD_{10} emisijas, nepriklausomai nuo katilinės galingumo didžiausias vertes pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad metodas, o mažiausias EMEP. Nepriklausomai nuo biokuro rūšies ar katilinės galios, didžiausias SO_2 emisijos vertes pateikė Goskomgidromiet/Lieningrad metodika, o mažiausias – EMEP. Australijos NPI rezultatai lyginant su Goskomgidromiet/Lieningrad ar LAND vertėmis yra mažesni, nes Australijai yra nebūdingi dideli SO_2 kiekiai. Didžiausi šio teršalo kiekiai randami pramonės sektoriuose, šalia elektrinių ar pan., o šioje šalyje tokių vietų vos kelios. Todėl šiame skaičiavimo metode emisijų faktoriai apskaičiuoti SO_2 emisijas nepateikia didelių verčių. LOJ LAND nepateikia ribinių verčių, o Goskomgidromiet/Lieningrad nesuteikia galimybės suskaičiuoti emisijų. Todėl skaičiavimai buvo vykdomi tik su EMEP ir Australijos NPI metodais. Nepriklausomai nuo katilinės galios visais atvejais LOJ emisija didesnė paskaičiuota taikant EMEP metodiką.

2. Remiantis sklaidos duomenimis ribinės vertės nebuvo viršytos visų metodikų skaičiavimų atvejais. Tai reiškia, kad projektuotojai planuodami naujus kuro įrenginius ir dažniausiai naudodami LAND vertes stipriai pervertina galimą poveikį aplinkai ir taip apdraudžia įmones nuo eksploatavimo metu padidėjančios taršos bei rezervuoja tam tikrą taršos limitą toje teritorijoje.

3. Atlikti inžinierinius skaičiavimus naudojant Goskomgidromiet/Lieningrad metodiką lyginant su kitomis yra sudėtinga. Kadangi ši metodika reikalauja daug duomenų,

aiškios kuro sudėties bei specifiškumo, kuris riboja platesnį metodikos taikymą. Metodika nesuteikia galimybės paskaičiuoti LOJ emisijų, o KD pateikia tik bendrą kiekį. Atliekant skaičiavimus pagal Australijos NPI ar EMEP metodikas yra svarbu tik biokuro suvartojimas kuris priklauso nuo kuro kaloringumo bei biokatilinės galios, detali kuro sudėtis yra visiškai nesvarbi. Todėl šios metodikos yra daug paprasčiau taikomos, užtrunka mažiau laiko atlikti skaičiavimus, bei yra paprasčiau suprantamos.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Biofuel. Org. Uk [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2016-01-24]. Prieiga per: <http://biofuel.org.uk/biomass.html>
2. SPEAR, B. Coal – Parent of the Industrial Revolution in Great Britain: The early patent history. *World Patent Information*. 2014, 39, 85-88. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wpi.2014.06.002
3. ROY M. M., CORSCADDEN K.W. An experimental study of combustion and emissions of biomass briquettes in a domestic wood stove. *Applied Energy*. 2012, 99, 206-212. Prieiga per: doi: 10.1016/j.apenergy.2012.05.003
4. PNG Biomass [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-02-15]. Prieiga per: <http://www.alignedenergy.net/biomass/what-is-biomass/>
5. Drax Group plc [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-02-14]. Prieiga per: <http://www.drax.com/biomass/benefits-of-biomass/>
6. BOCCI, E., Carlo A. Di., McPhail, S. J., Gallucci K., Foscolo P.U., Moneti M., Villarini M., Carlini M. Biomass to fuel cells state of the art: A review of the most innovative technology solutions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014, 39 (36), 21876-21895. Prieiga per: doi:10.1016/j.ijhydene.2014.09.022
7. WILLIAMS, A., Jones, J. M., Ma L., Pourkashanian M. Pollutants from the combustion of solid biomass fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012, 38 (2), 113-137. Prieiga per: doi:10.1016/j.pecs.2011.10.001
8. SMEETS E. M. W., Faaij A. P. C., Lewandowski I. M., Turkenburg W. C. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2007, 33 (1), 56-106. Prieiga per: doi:10.1016/j.pecs.2006.08.001
9. VASSILEV S.V., Baxter D., Vassileva Ch. G. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*. 2010, 89 (5), 913-933. Prieiga per: doi:10.1016/j.fuel.2009.10.022
10. VARES VILLU., KASK Ü., MUISTE P., PIHU T., SOOSAAR S. *Biokuro naudotojų žinynas* [interaktyvus]. Vilnius: „Žara“, 2007 [žiūrėta 2015-04-15]. ISBN 978-9986-34-180-2. Prieiga per: http://www.ena.lt/doc_atsti/biokuras.pdf
11. QIN K., ir THUNMAN H. Diversity of chemical composition and combustion reactivity of various biomass fuels. *Fuel*. 2015, 147 (1), 161-169. Prieiga per: doi:10.1016/j.fuel.2015.01.047

12. FOURNEL S., Marcos B., Godbout S., Heitz M. Predicting gaseous emissions from small-scale combustion of agricultural biomass fuels. *Bioresource Technology*. 2015, 179, 165-172. Prieiga per: doi:10.1016/j.biortech.2014.11.100
13. NUSSBAUMER T. Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy & Fuels*. 2003, 17 (6), 1510-1521. Prieiga per: doi:10.1021/ef030031q
14. Inforse – Europe [interaktyvus]. 2000 [žiūrėta 2016-02-15]. Prieiga per: <http://www.inforse.dk/europe/dieret/Biomass/biomass.html>
15. ESPOSITO D. & M. ANTONIETTI. Redefining biorefinery: the search for unconventional building blocks for materials. *Chem. Soc. Rev.*, 2015, 44, 5821-5835, prieiga per: doi: 10.1039/C4CS00368C
16. ŠLEPIKAS O. ir ČEREŠKA A. Biokuro džiovinimo proceso efektyvumo tyrimai. *Mokslas – Lietuvos ateitis*. 2013, 5 (6), 609-614. Prieiga per doi:10.3846/mla.2013.99
17. Baltpool. Energijos Išteklių birža. [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2015-09-21]. Prieiga per: <http://www.baltpool.lt/lt/birzoje-prekiaujami-produktai/>
18. AMBRULEVIČIUS R. Biomasės deginimas mažos bei vidutinės galios katilinėse ir emisijų problemos. *Energetika* [interaktyvus]. Lietuvos mokslų akademija: 2010, 2, 103-109 [žiūrėta 2015-04-28]. Prieiga per: Lietuvos mokslų akademijos leidykla.
19. KHODAEI H., Al – Abdeli M. Y., Guzzomi F., Yeoh G. H., An overview of processes and considerations in the modelling of fixed-bed biomass combustion. *Energy*. 2015, 88, 946-972. Prieiga per doi:10.1016/j.energy.2015.05.099
20. MCKENDRY P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 2002, 83, 37-46 [žiūrėta 2015-09-28]. PII: S0960-8524(01)00118-3 Prieiga per: Washington.edu
21. ORECCHINI F. ir BOCCI E. Biomass to hydrogen for the realization of closed cycles of energy resources. *Energy*. 2007, 32 (6), 1006-1011. Prieiga per: doi:10.1016/j.energy.2006.10.021
22. PETERSON D. ir HAASE S. Market Assessment of Biomass Gasification and Combustion Technology for Small- and Medium-Scale Applications. *Technical Report NREL/TP-7A2-46190* [interaktyvus]. 2009 [žiūrėta 2015-04-28], 14-16.
23. VRUBLIAUSKAS S. ir PEREDNIS E. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. *Šiluminė technika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-20]. 2012, 1, 14-16. ISSN 1392-4346.

24. ANDREAE M. O. Ir P. MERLET. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global biogeochemical cycles*. 2001, 15 (4), 955-966. Prieiga per: National Interagency Fire Center.
25. GARBARAS A., Masalaite A., Garbariene I., Ceburnis D., Krugly E., Remeikis V., Puida E., Kvietkus K., Martuzevicius D. Stable carbon fractionation in size-segregated aerosol particles produced by controlled biomass burning. *Journal of Aerosol Science*. 2015, 79, 86-96. Prieiga per: doi:10.1016/j.jaerosci.2014.10.005
26. ENGLING G., James J. Lee, Sie H. J., Wu Yi – Chih, Yet – Pole I. Anhydrosugar characteristics in biomass smoke aerosol – case study of environmental influence on particle-size of rice straw burning aerosol. *Journal of Aerosol Science*. 2013, 56, 2-14. Prieiga per: doi:10.1016/j.jaerosci.2012.10.001
27. KLASSEN M. E., Wills B., Naithani N., Gilman R., Tielsch R.M., Chiang M., Khatry S., Breyse P. N., Menya D., Cosmas Apaka, Carter E.J., Sherman C. B., Miranda J. J., Checkley W. Low correlation between household carbon monoxide and particulate matter concentrations from biomass-related pollution in three resource-poor settings. *Environmental Research*. 2015, 142, 424-431. Prieiga per doi:10.1016/j.envres.2015.07.012.
28. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* [interaktyvus]. Technical report, 2013, 12 [žiūrėta 2015-10-12]. ISSN 1725-2237. Prieiga per <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
29. EnergoVIA [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2015-10-11]. Prieiga per: <http://www.energovia.lt/lt/t/biokuro-naudojimas-lietuvoje/61>
30. LITBIOMA, Lietuvos biomasės energetikos asociacija [interaktyvus]. 2003 [žiūrėta 2015-10-11]. Prieiga per: <http://www.biokuras.lt/dokumentai-ir-statistika-lietuvoje>
31. VERBICKAS D., Juknys R., Kleišmantas A. Kietojo biokuro naudojimas Lietuvos šilumos gamybos sektoriuje, tolesnės perspektyvos ir poveikis aplinkai. *Energetika* [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-04-28] 2013, 59 (3), 144-152. ISBN 2706-1661-1-PB. Prieiga per: 2706-1661-1-PB.pdf
32. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas: 2015 m. gegužės 7 d. Nr. XII-1666*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-15]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/c5c741e0fec511e488da8908dfa91cac>
33. NAGEVIČIUS M. Biokuro rinka. II dalis *Šiluminė technika* [interaktyvus]. 2013, 4 (57), 3-6 [žiūrėta 2015-10-28]. ISSN 1392-4346 Prieiga per:

http://www.lsta.lt/files/Leidiniai/SILUMINE_TECHNIKA/21186_LSTA_Silumine_N_R57.pdf

34. LAAIF, Lietuvos Aplinkos Apsaugos investicijų fondas [interaktyvus] 2016 [žiūrėta 2016-01-18]. Prieiga per: <http://www.laaf.lt/lt/lietuvos-respublikos-aplinkos-ministerijos-kvietimas-teikti-vystomojo-bendradarbiavimo-projektu-paraiskas-paramai-gauti-atsinaujinancius-energijos-isteklius-naudojanciu-technologiju-diegimui-besivysta/>
35. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl apmokestinamų teršalų kiekio nustatymo metodikų asmenims, kurie netvarko privalomosios teršalų išmetimo į aplinką apskaitos. Lietuvos respublikos aplinkos ministras į s a k y m a s: 2009 m. birželio 9 d. Nr. DI-322.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-15]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.210C565F59C2>
36. DENAFAS, Gintaras. *Atmosferos apsauga, I dalis: mokomoji knyga.* 1 – oji laida. Kaunas: KTU leidykla "Technologija", 2000. ISBN 9986-13-767-5.
37. REVOLDAS V. ir DENAFAS G. Degimo procesų ekologiškumo ir emisijų apskaičiavimų metodikos patikimumo tyrimai augaline biomase kūrenamuose katiluose ir krosnyse. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2002, 1(19), 43-51. ISSN 1392-1649
38. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Dėl foninio aplinkos oro užterštumo duomenų ir meteorologinių duomenų naudojimo planuojamos ūkinės veiklos poveikiui aplinkos orui įvertinti rekomendacijų patvirtinimo. Aplinkos apsaugos agentūros direktoriaus įsakymas: 2014 m. gegužės 9 d. Nr. AV-152.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-15]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/af748190d9ab11e3bb00c40fca124f97>
39. AUSTRALLIAN GOVERNMENT. *Emission estimation technique manual for Combustion in boilers Version 3.1.* 2008. ISBN: 978-0-642-55386-7
40. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normų Land 43-2014 patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro į s a k y m a s: 2014 m. kovo 4 d. Nr. DI-226.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-15]. Prieiga per: <https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/7ce44580a39b11e3aeb49a67165e3ad3>
41. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl išmetamų teršalų iš didelių kurų deginančių įrenginių normų ir specialiųjų reikalavimų dideliems kurų deginantiems įrenginiams patvirtinimo. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2015 m. spalio 12 d. Nr. DI-728.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-01-15].

Prieiga

per:

[https://www.e-](https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/3b0336a0727311e5906bc3a96c765ff4)

[tar.lt/portal/lt/legalAct/3b0336a0727311e5906bc3a96c765ff4](https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/3b0336a0727311e5906bc3a96c765ff4)

42. ADMS 5 - Urban, Miesto oro kokybės valdymo sistema. Vartotojo vadovas, 2011 rugsėjo mėn. lietuviška versija, p. 3

43. Aplinkos apsaugos agentūra. [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2016-01-24]. Prieiga per:

<http://oras.gamta.lt/cms/index?rubricId=260ccbe8-5401-4f3b-adb1-b4ab1b9aa2b5>

1 PRIEDAS. SKAIČIAVIMAMS NAUDOJAMO KURO PARAMETRAI IR
TECHNINIAI RODIKLIAI

Scenarijai	Biokuro rūšis	Deginimo įrenginio faktiškasis galimas, kW	Deginimo įrenginio faktiškasis galimas, MW	Kuro drėgmė, (iki 10%)	Kuro peleningumas, %	Kuro kaloringumas, kWh/kg	Kuro kaloringumas, kJ/kg	Momentinis kuro sunaudojimas, kg/s	Įrenginio veikimo laikas, val/metūs	N, %	S, %	Chl, %	H, %	C, %	Metinis kuro sunaudojimas, t/metūs
1	Biokuras I	5000	5	10	0,7	4,6	16560	0,30193	8424	0,3	0	0	5	50	9157
2	Biokuras I	10000	10	10	0,7	4,6	16560	0,60386	8424	0,3	0	0	6	47	18313
3	Biokuras I	50000	50	10	0,7	4,6	16560	3,01932	8424	0,3	0	0	4	48	91565
4	Biokuras II	5000	5	9	1,2	5	18000	0,27778	8424	0,6	0	0,02	6	49	8424
5	Biokuras II	10000	10	9	1,2	5	18000	0,55556	8424	0,6	0	0,02	5	50	16848
6	Biokuras II	50000	50	9	1,2	5	18000	2,77778	8424	0,6	0	0,02	4	48	84240
7	Biokuras III	5000	5	8	0,325	6	21600	0,19290	8424	0,5	0	0,01	3	49	5850
8	Biokuras III	10000	10	8	0,325	6	21600	0,38580	8424	0,5	0	0,01	5	50	11700
9	Biokuras III	50000	50	8	0,325	6	21600	1,92901	8424	0,5	0	0,01	5	48	58500
10	Biokuras IV	5000	5	7	2	7,2	25920	0,17780	8424	0,2	0	0	4	47	5392
11	Biokuras IV	10000	10	7	2	7,2	25920	0,35560	8424	0,2	0	0	6	46	10784
12	Biokuras IV	50000	50	7	2	7,2	25920	1,77801	8424	0,2	0	0	5	50	53921

2 PRIEDAS. EMISIJŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI

g/s					mg/Nm ³			
1 scenarijus, kai 5 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	1,24E+00	6,50E-05	1,23E-03	7,92E-04	4,00E+03	4,10E-05	7,77E-04	4,99E-04
NOx	2,33E-01	3,96E-03	4,50E-04	1,26E-04	7,50E+02	2,50E-03	2,84E-04	7,97E-05
KD10	2,17E-01	1,03E-02	9,78E-04	1,99E-04	7,00E+02	6,51E-03	6,17E-04	1,25E-04
KD2,5	2,17E-01	5,16E-03	8,27E-04	1,94E-04	7,00E+02	3,25E-03	5,22E-04	1,23E-04
SOx	x	x	x	x	x	x	x	x
LOJ	x	x	3,62E-05	4,17E-04	x	x	2,28E-05	2,63E-04
2 scenarijus, kai 10 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,56E+00	1,30E-04	2,46E-03	1,72E-03	4,00E+03	8,19E-05	1,55E-03	1,09E-03
NOx	4,81E-01	1,35E-02	9,00E-04	2,75E-04	7,50E+02	8,49E-03	5,67E-04	1,73E-04
KD10	4,49E-01	2,06E-02	1,96E-03	4,32E-04	7,00E+02	1,30E-02	1,23E-03	2,72E-04
KD2,5	4,49E-01	1,03E-02	1,65E-03	4,23E-04	7,00E+02	6,51E-03	1,04E-03	2,67E-04
SOx	x	x	x	x	x	x	x	x
LOJ	x	x	7,25E-05	9,06E-04	x	x	4,57E-05	5,71E-04
3 scenarijus, kai 50 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,81E+00	6,50E-04	1,23E-02	1,02E-02	1,00E+03	4,10E-04	7,77E-03	6,40E-03
NOx	1,83E+00	1,53E-01	4,50E-03	1,62E-03	6,50E+02	9,65E-02	2,84E-03	1,02E-03
KD10	1,13E+00	1,03E-01	9,78E-03	2,55E-03	4,00E+02	6,51E-02	6,17E-03	1,61E-03
KD2,5	1,13E+00	5,16E-02	8,27E-03	2,49E-03	4,00E+02	3,25E-02	5,22E-03	1,57E-03
SOx	x	x	x	x	x	x	x	x
LOJ	x	x	3,62E-04	5,34E-03	x	x	2,28E-04	3,37E-03
4 scenarijus, kai 5 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	1,31E+00	6,50E-04	1,13E-03	1,14E-03	4,00E+03	4,10E-04	7,15E-04	7,19E-04
NOx	4,66E-01	3,64E-03	4,14E-04	1,82E-04	7,50E+02	2,30E-03	2,61E-04	1,15E-04
KD10	1,97E+00	2,33E-02	9,00E-04	2,86E-04	7,00E+02	1,47E-02	5,67E-04	1,80E-04
KD2,5	1,69E-01	8,14E-03	7,61E-04	2,80E-04	7,00E+02	5,13E-03	4,80E-04	1,77E-04
SOx	1,13E+00	2,86E-03	4,72E-05	2,20E-05	2,00E+03	1,81E-03	2,98E-05	1,39E-05
LOJ	x	x	3,33E-05	6,00E-04	x	x	2,10E-05	3,78E-04
5 scenarijus, kai 10 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,48E+00	1,32E-04	2,27E-03	1,58E-03	4,00E+03	8,31E-05	1,43E-03	9,98E-04
NOx	4,66E-01	2,53E-03	8,28E-04	2,53E-04	7,50E+02	1,60E-03	5,22E-04	1,59E-04
KD10	4,35E-01	3,26E-02	1,80E-03	3,97E-04	7,00E+02	2,05E-02	1,13E-03	2,50E-04
KD2,5	4,35E-01	1,63E-02	1,52E-03	3,89E-04	7,00E+02	1,03E-02	9,60E-04	2,45E-04
SOx	5,64E+00	5,73E-03	1,03E-04	1,41E-04	3,56E+00	3,61E-03	6,47E-05	8,86E-05
LOJ	x	x	6,67E-05	8,33E-04	x	x	4,20E-05	5,25E-04
6 scenarijus, kai 50 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,82E+00	6,59E-04	1,13E-02	7,28E-03	1,00E+03	4,15E-04	7,15E-03	4,59E-03
NOx	1,83E+00	1,41E-01	4,14E-03	1,16E-03	6,50E+02	8,88E-02	2,61E-03	7,33E-04
KD10	1,13E+00	1,63E-01	9,00E-03	1,83E-03	4,00E+02	1,03E-01	5,67E-03	1,15E-03
KD2,5	1,13E+00	8,14E-02	7,61E-03	1,79E-03	4,00E+02	5,13E-02	4,80E-03	1,13E-03
SOx	5,64E+00	2,86E-02	4,72E-04	1,41E-04	2,00E+03	1,81E-02	2,98E-04	8,86E-05
LOJ	x	x	3,33E-04	3,83E-03	x	x	2,10E-04	2,42E-03

2 PRIEDO TĘSINYS KITAME PUSLAPYJE

2 PRIEDO TĖSINYS

7 scenarijus, kai 5 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	9,63E-01	5,57E-05	7,87E-04	5,50E-04	4,00E+03	3,51E-05	4,96E-04	3,47E-04
NOx	1,81E-01	2,53E-03	2,87E-04	8,78E-05	7,50E+02	1,60E-03	1,81E-04	5,53E-05
KD10	1,69E-01	3,06E-03	6,25E-04	1,38E-04	7,00E+02	1,93E-03	3,94E-04	8,70E-05
KD2,5	1,69E-01	1,53E-03	5,29E-04	1,35E-04	7,00E+02	9,65E-04	3,33E-04	8,51E-05
SOx	4,82E-01	9,95E-04	3,28E-05	1,06E-05	2,00E+03	6,27E-04	2,07E-05	6,69E-06
LOJ	x	x	2,31E-05	2,89E-04	x	x	1,46E-05	1,82E-04
8 scenarijus, kai 10 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,27E+00	1,11E-04	1,57E-03	1,10E-03	4,00E+03	7,03E-05	9,92E-04	6,93E-04
NOx	4,25E-01	8,60E-03	5,75E-04	1,76E-04	7,50E+02	5,43E-03	3,62E-04	1,11E-04
KD10	3,97E-01	6,12E-03	1,25E-03	2,76E-04	7,00E+02	3,86E-03	7,88E-04	1,74E-04
KD2,5	3,97E-01	3,06E-03	1,06E-03	2,70E-04	7,00E+02	1,93E-03	6,66E-04	1,70E-04
SOx	1,13E+00	2,86E-03	6,56E-05	2,12E-05	2,00E+03	1,81E-03	4,14E-05	1,34E-05
LOJ	x	x	4,63E-05	5,79E-04	x	x	2,92E-05	3,65E-04
9 scenarijus, kai 50 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	2,77E+00	5,57E-04	7,87E-03	6,49E-03	1,00E+03	3,51E-04	4,96E-03	4,09E-03
NOx	1,80E+00	9,78E-02	2,87E-03	1,04E-03	6,50E+02	6,16E-02	1,81E-03	6,53E-04
KD10	1,11E+00	3,06E-02	6,25E-03	1,63E-03	4,00E+02	1,93E-02	3,94E-03	1,03E-03
KD2,5	1,11E+00	1,53E-02	5,29E-03	1,59E-03	4,00E+02	9,65E-03	3,33E-03	1,00E-03
SOx	5,64E+00	1,43E-02	3,28E-04	1,41E-05	2,00E+03	6,27E-04	3,28E-04	1,53E-05
LOJ	x	x	2,31E-04	3,41E-03	x	x	1,46E-04	2,15E-03
10 scenarijus, kai 5 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	6,98E-01	6,25E-05	7,25E-04	7,30E-04	4,00E+03	3,94E-05	4,57E-04	4,60E-04
NOx	1,31E-01	2,33E-03	2,65E-04	1,16E-04	7,50E+02	1,47E-03	1,67E-04	7,34E-05
KD10	1,22E-01	1,74E-02	5,76E-04	1,83E-04	7,00E+02	1,09E-02	3,63E-04	1,15E-04
KD2,5	1,22E-01	8,68E-03	4,87E-04	1,79E-04	7,00E+02	5,47E-03	3,07E-04	1,13E-04
SOx	3,49E-01	2,75E-03	3,02E-05	1,41E-05	2,00E+03	1,73E-03	1,91E-05	8,88E-06
LOJ	x	x	2,13E-05	3,84E-04	x	x	1,35E-05	2,42E-04
11 scenarijus, kai 10 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	1,59E+00	1,25E-04	1,45E-03	9,32E-04	4,00E+03	7,88E-05	9,15E-04	5,88E-04
NOx	2,99E-01	7,93E-03	5,30E-04	1,49E-04	7,50E+02	5,00E-03	3,34E-04	9,39E-05
KD10	2,79E-01	3,47E-02	1,15E-03	2,34E-04	7,00E+02	2,19E-02	7,26E-04	1,47E-04
KD2,5	2,79E-01	1,74E-02	9,74E-04	2,29E-04	7,00E+02	1,09E-02	6,14E-04	1,44E-04
SOx	7,97E-01	5,50E-03	6,05E-05	1,80E-05	2,00E+03	3,47E-03	3,81E-05	1,13E-05
LOJ	x	x	4,27E-05	4,91E-04	x	x	2,69E-05	3,09E-04
12 scenarijus, kai 50 MW	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP	LAND	Leningrad	Australijos NPI	EMEP
CO	1,95E+00	6,25E-04	7,25E-03	4,66E-03	1,00E+03	3,94E-04	4,57E-03	2,94E-03
NOx	1,27E+00	9,01E-02	2,65E-03	7,44E-04	6,50E+02	5,68E-02	1,67E-03	4,69E-04
KD10	7,80E-01	1,74E-01	5,76E-03	1,17E-03	4,00E+02	1,09E-01	3,63E-03	7,37E-04
KD2,5	7,80E-01	8,68E-02	4,87E-03	1,15E-03	4,00E+02	5,47E-02	3,07E-03	7,22E-04
SOx	3,90E+00	2,75E-02	3,02E-04	9,00E-05	2,00E+03	1,73E-02	1,91E-04	5,67E-05
LOJ	x	x	2,13E-04	2,45E-03	x	x	1,35E-04	1,55E-03

3 PRIEDAS. VĖJO ROŽĖ SUMODELIUOTA NAUDOJANT ADMS 5 SISTEMĄ

