



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Rokas Labokas**

Projekto autorius

**Doc. dr. Irina Kliopova**

Vadovė

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose**

Baigiamasis magistro projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

---

**Rokas Labokas**

Projekto autorius

**Doc. dr. Irina Kliopova**

Vadovė

**Doc. dr. Visvaldas Varžinskas**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Rokas Labokas

## **Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, **Roko Laboko**, baigiamasis projektas tema „**Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose**“ 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.

*Rokas Labokas*

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Aplinkos inžinerijos institutas

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Baigiamojo magistro projekto užduotis**

Projekto tema

Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose

Reikalavimai ir sąlygos  
(tikslinti pavadinimą  
pagal poreikį)

Tyrimo objektas – nepavojingų atliekų deginimo įrenginiai ir jų procesai. Detalesnei analizei ir eksperimentui parinkta komunalines ir pramonines atliekas kaip kurą naudojanti kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“.

Atliekas, kaip kurą, naudojanti kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“ yra svarbi ne tik kaip atliekų tvarkytoja, bet kaip nepriklausoma šiluminės ir elektros energijos gamintoja. Pastebima, kad šiltuoju metu laikotarpiu elektros energijos gamyba jėgainėje sumažėja dėl susidarancios perteklinės šilumos. Siekiant stabilizuoti elektros energijos gamybos efektyvumą ir tuo pačiu didinti energijos gamybos efektyvumą, ieškoma būdų ne tik kaip panaudoti atliekama (perteklinę) šiluminę energiją kitiems procesams, pavyzdžiui, šalčio gamybai.

Darbo tikslas siejamas su nepavojingų atliekų deginimo įrenginių – kogeneracinių jėgainių energijos gamybos efektyvumo vertinimu ir šios veiklos poveikio aplinkai mažinimu.

Naudojant mokslinės literatūros analizės rezultatus, ES GPGB ID, magistratūroje įgytas žinias, magistrantas eksperimentui parinktai įmonei turi pasiūlyti alternatyvas, kurių įdiegimas leistų padidinti energijos gamybos efektyvumą, tuo pačiu mažinant poveikį aplinkai ir klimato kaitai. Darbe turi būti atlikta detali siūlomų inovacijų (2-3 eco-inovacijų) įvykdomumo analizė (techninis, aplinkosauginis ir ekonominis vertinimas) bei įvertintas aplinkosauginis veiksmingumas po atrinktos (-ų) inovacijos (-jų) įdiegimo.

Vadovas / Vadovė

Doc. dr. Irina Kliopova

2020-06-03

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Labokas, Rokas. Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas; Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: atliekų tvarkymas, atliekų deginimas, energijos gamybos efektyvumas, poveikio aplinkai mažinimas, kogeneracinė jėgainė, švaresnė gamyba, selektyvinio nekatalitinio valymo sistema.

Kaunas, 2020. 70 p.

### **Santrauka**

Vienas iš tikslų, kuriuos numato Europos Komisija priimtame žiedinės ekonomikos dokumentų rinkinyje – iki 2035 m. sąvartynuose šalinti ne daugiau kaip 10 % susidarančių komunalinių atliekų. Lietuvoje 2018 m. susidarė 1,3 mln. t komunalinių atliekų, iš kurių 24,6 % buvo šalinami sąvartyne ir 12,5 % komunalinių atliekų buvo sutvarkomi deginant – taip gaminant šilumos bei elektros energiją. Vienas iš būdų, kaip galima sutvarkyti pakartotiniam naudojimui, perdirbimui ir kompostavimui netinkančias atliekas – yra jų deginimas. Panaudojant atliekų energinę vertę kogeneracinėse jėgainėse yra gaminama šilumos ir elektros energija.

Baigiamasis magistro projektas yra skirtas energijos gamybos efektyvumo didinimo ir poveikio aplinkai mažinimo nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose galimybių įvertinimui. Tam tikslui buvo iškelti tokie darbo uždaviniai: pagrindinių aplinkosaugos teisės aktų bei darnios pramonės plėtros metodų, taikomų atliekų deginimo įrenginiams, analizė, pasirinkto objekto esamo aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas, energinio efektyvumo didinimo bei poveikio aplinkai mažinimo būdų pasiūlymas, bei rekomendacijų nepavojingas atliekas deginantiems įrenginiams pateikimas. Detalesnei analizei pasirinktas objektas – kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“, kuri kaip kurą naudoja nepavojingas, rūšiuotas komunalines ir pramonines atliekas.

Atliekant tyrimą, buvo atlikta statistinių duomenų, teisinių aktų, mokslinės bei praktinės literatūros analizė. Pagrindiniai baigiamojo projekto tyrimo metodai – Švaresnės gamybos (ŠG) diegimo pramonės įmonėse metodikos elementai, tokie kaip: medžiagų ir energijos srautų analizės, kuro ir energijos balanso sudarymas įmonės ir atskirų procesų lygmenyse. Gautų rezultatų apibendrinimui naudoti atvejo tyrimo ir lyginamosios analizės metodai, aplinkos apsaugos veiksmingumo (AAV) įvertinimas, naudojant santykinius ir absoliutinius aplinkos apsaugos indikatorius.

Nustatyta, kad analizuojamame objekte 2018 m. susidarė 159,97 GWh šiluminės energijos nuostolių, o bendras jėgainės efektyvumas siekė 78,0 %. Bendras produkcijos kiekis 2018 m. siekė 556,43 GWh. Vienai GWh energijos pagaminti buvo sunaudojama 461,56 t kuro, 0,74 t amoniakinio vandens, taip pat buvo išmetama 0,52 t azoto oksidų emisija. Nustatyta, kad didžiausi šiluminės energijos nuostoliai patiriami termofikato pagalbinio aušinimo procese. Perteklinę šilumos energiją siūloma panaudoti vėsumos gamybai, modernizuojant pagalbinio aušinimo procesą panaudojant absorbcinio šaldymo agregatą. Įmonėje būtų pagaminama 10,75 GWh/ m. vėsumos energijos, o bendri energijos nuostoliai sumažėtų 47,3 GWh/ m. ir sudarytų 112,67 GWh/ m. Elektros energijos sąnaudos procesui padidėtų

131,48 MWh/ m. (9,9 %). Tačiau nenaudojant įprastų šaldymo įrenginių, būtų išvengta 648,19 t netiesioginės CO<sub>2eq</sub> emisijos per metus, o bendras jėgainės efektyvumas būtų padidintas iki 86,2 %.

Įdiegus ŠG inovaciją – selektyvinio nekatalitinio valymo (SNKV) sistemos amoniakinio vandens dozavimą perkėlus į trečiąjį lygį, amoniakinio vandens sąnaudos buvo sumažintos 27,7 %. Azoto oksidų emisija sumažinta 16,8 %. Dėl proceso modernizavimo elektros energijos sąnaudos padidėjo 54 MWh/ m., tai sudaro apie 0,27 % nuo viso sunaudojamo elektros energijos kiekio savoms reikmėms per metus. Modernizavus SNKV sistemą buvo pagerintas aplinkosauginis veiksmingumas: 1 GWh produkcijos pagaminti sunaudojama 0,19 t mažiau amoniakinio vandens, o išmetamas azoto oksidų kiekis 0,05 t mažesnis.

Labokas, Rokas. Enhancing the Energy Production Efficiency and Reducing the Environmental Impact in the Non-hazardous Waste Incineration Plants. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. dr. Irina Kliopova; Institute of Environmental Engineering; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: Waste Treatment, Waste Incineration, Energy Production Efficiency, Reducing the Environmental Impact, Cogeneration Plant, Cleaner Production, Selective Non-catalytic Reduction.

Kaunas, 2020. 70 p.

### **Summary**

One of the goals set in the Circular Economy Package adopted by the European Commission is to dispose no more than 10 % of municipal waste in landfills. In Lithuania 1.3 million tons of municipal waste was generated in 2018, of which 24.6 % was disposed in a landfills and 12.5 % of municipal waste was incinerated, producing heat and electricity. One of the ways to dispose non-reusable, non-recyclable and non-compostable waste is to incinerate it. Using the energetic value of waste, cogeneration plants produce heat and electricity.

The final master's project is aimed at assessing the possibilities of increasing the efficiency of energy production and reducing the environment impact in non-hazardous waste incineration plants. For that purpose, the following tasks were set: analysis of the main environmental legislation and sustainable industrial development methods, applied to waste incineration plants, assessment of the existing environmental efficiency of the selected facility, proposing ways to increase energy efficiency and reduce environmental impact, and give recommendations for non-hazardous waste incineration plants. The chosen object of the research is the cogeneration power plant Fortum Klaipėda, UAB which uses non-hazardous municipal and industrial waste as a fuel.

During the research, statistical data, legal acts, scientific and practical literature were analysed. The following main research methods were applied: methodology of implementing Cleaner Production (CP) in industrial enterprises, such as: analysis of materials and energy flows, compilation of fuel and energy balance at the enterprise and specific processes levels. Case study and benchmarking methods, environmental performance assessment (using relative and absolute environmental indicators) were used to summarize the results.

It was determined that in the analysed object 159.97 GWh of thermal energy losses was occurred in 2018 and the overall energy production efficiency of the power plant was 78.0 %. Selected combined heat and power plant produced 556.43 GWh of energy in 2018, using 461.56 t of fuel, 0.74 t of ammonia water to produce one GWh of energy and 0.52 t of nitrogen oxide emissions were emitted. It was found that the largest heat energy losses are incurred in the process of auxiliary cooling. Excess heat energy is proposed to be used for cooling production in the auxiliary cooling process using an absorption chiller. The company would produce 10.75 GWh/ yr. cooling energy, and the total energy loss would be reduced by 47.3 GWh/ yr. and would amount to 112.67 GWh/ yr. Electricity consumption for the own needs would increase by 131.48 MWh/ yr. (9.9 %). However, without the

use of conventional refrigeration equipment 648.19 t of indirect CO<sub>2eq</sub> emissions per year would be avoided. The overall efficiency of the power plant would be increased to 86.2 %.

The ammonia water consumption was reduced by 27.7 % and nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) emissions were reduced by 16.8 % after the evaluation and implementation of suggested CP innovation – modernization of the selective non-catalytic reduction (SNCR) system by changing the ammonia water dosing level. Due to the modernization of the process, the electricity consumption increased by 54 MWh/ yr. which is about 0.27 % of the total electricity consumption for own needs per year. The environmental efficiency was improved after modernization of the SNCR system: 0.19 t less ammonia water was used to produce 1 GWh of production, and nitrogen oxide emissions were 0,05 t lower.



## Turinys

Lentelių sąrašas.....	10
Paveikslų sąrašas .....	11
Santrumpų sąrašas .....	12
Įvadas.....	13
1. Nepavojingų komunalinių atliekų deginimo situacija Europos Sąjungoje.....	15
1.1. Nepavojingų atliekų tvarkymas Europos sąjungoje ir Lietuvoje .....	15
1.2. Pagrindiniai aplinkosaugos teisės aktai (reikalavimai), taikomi nepavojingas atliekas deginantiems įrenginiams .....	17
1.3. ES plačiausiai taikomos nepavojingų atliekų deginimo technologijos .....	19
1.3.1. Energijos gamybos efektyvumas kogeneracinėse jėgainėse .....	22
1.3.2. Absorbcinių šaldymo agregatų pritaikymas kogeneracinėse jėgainėse.....	22
1.4. Būvio ciklo vertinimo požiūris analizuojant nepavojingų atliekų deginimo poveikį aplinkai.	23
2. Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose, diegiant darnios pramonės plėtros metodus.....	26
2.1. Energijos gamybos efektyvumo didinimo metodai nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose .....	26
2.2. Taršos prevencija diegiant taršos integruotos prevencijos ir kontrolės metodus nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose .....	29
2.3. Pramoninės simbiozės galimybės šiluminės energijos gamyboje .....	31
3. Tyrimo metodika .....	32
4. Darnios pramonės plėtros metodų taikymas FKTE.....	40
4.1. UAB „Fortum Klaipėda“ aplinkosaugos problemų ir priežasčių identifikavimas .....	40
4.2. Energijos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas, taikant darnios pramonės plėtros metodus tyrimo objekte .....	44
4.2.1. Selektinio nekatalitinio valymo sistemos modernizavimo FKTE įvykdomumo analizės rezultatai .....	44
4.2.2. Kaskadinės aplinkos valdymo sistemos taikymas FKTE oro teršalų valymui.....	48
4.2.3. Absorbcinio šaldymo agregato naudojimas šalčio energijos gamybai FKTE.....	51
4.3. Darnios pramonės plėtros alternatyvų pasiekto aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas .	56
5. Rekomendacijos nepavojingas atliekas deginančioms įmonėms .....	59
Išvados.....	60
Literatūros sąrašas .....	61
Priedai.....	67
1 priedas. UAB „Fortum Klaipėda“ deginamų atliekų kodai.....	67
2 priedas. Absorbcinio šaldymo įrenginio „2AA1300“ techninės specifikacijos .....	69
3 priedas. Pažymėjimas dėl dalyvavimo mokslinėje konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ Aplinkos apsaugos inžinerija.....	70

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Su GPGB siejami EE rodikliai (%) [18].....	27
<b>2 lentelė.</b> Su GPGB nepavojingų atliekų deginimui susiję EE didinimo metodai [50] .....	27
<b>3 lentelė.</b> Deginant atliekas į orą išmetamų NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O, CO ir NH <sub>3</sub> kiekių mažinimo metodai [18].	30
<b>4 lentelė.</b> Į orą išmetamų teršalų siektinos koncentracijos (mg/ Nm <sup>3</sup> ), deginant atliekas [18].....	31
<b>5 lentelė.</b> Baigiamojo magistro darbo uždaviniai, tyrimo etapai, naudojami metodai.....	32
<b>6 lentelė.</b> FKTE pagrindiniai santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI <sub>s</sub> ), 2018 m.....	42
<b>7 lentelė.</b> FKTE AAI <sub>s</sub> palyginimas, 2017–2018 m. ....	43
<b>8 lentelė.</b> SNKV proceso medžiagų ir energijos srautai ir tiesioginiai kaštai, 2017 m.....	45
<b>9 lentelė.</b> NO <sub>x</sub> koncentracijų palyginimas su ES GPGB nurodytomis siektinomis vertėmis .....	46
<b>10 lentelė.</b> SNKV sistemos modernizavimo aplinkosauginio efekto ir sutaupomų lėšų įvertinimas	47
<b>11 lentelė.</b> SNKV sistemos modernizavimo investicijos .....	48
<b>12 lentelė.</b> Pagalbinio aušinimo proceso esamo aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas .....	52
<b>13 lentelė.</b> Pagalbinio aušinimo proceso AAI palyginimas ir sutaupomų lėšų įvertinimas.....	54
<b>14 lentelė.</b> Pagalbinio aušinimo proceso modernizavimo preliminarios investicijos .....	55
<b>15 lentelė.</b> Planuojamos ir įgyvendintos inovacijų aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas .....	56
<b>16 lentelė.</b> EE palyginimas su ES GPGB nurodytomis siektinomis vertėmis .....	57

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Komunalinių atliekų tvarkymo metodai ES, 1995–2018 [5] .....	16
<b>2 pav.</b> Atliekų tvarkymo būdo pasirinkimo hierarchija [7].....	16
<b>3 pav.</b> Atliekas kaip kurą naudojančios jėgainės Europoje [30] .....	20
<b>4 pav.</b> Atliekų deginimo jėgainės principinė technologinė schema [29] .....	21
<b>5 pav.</b> FKTE atvejo analizės etapai.....	34
<b>6 pav.</b> FKTE naudojama <i>TOPi</i> informacinė proceso sistema.....	37
<b>7 pav.</b> CO <sub>2eq</sub> emisijų atvaizdavimo įrankis [67].....	38
<b>8 pav.</b> Kaskadinė aplinkos oro valdymo sistema KDI [65] .....	39
<b>9 pav.</b> FKTE medžiagų ir energijos srautų diagrama.....	40
<b>10 pav.</b> FKTE medžiagų ir energijos balansas, 2018 m.....	41
<b>11 pav.</b> SNKV sistemos FKTE medžiagų ir energijos srautų diagrama, 2017 m.....	45
<b>12 pav.</b> SNKV sistemos medžiagų ir energijos srautų diagrama po inovacijos įdiegimo .....	46
<b>13 pav.</b> Kaskadinė aplinkos valdymo sistema FKTE oro teršalų valdymui .....	48
<b>14 pav.</b> Klaipėdos miesto oro kokybės tyrimo stoties ir FKTE vietos.....	49
<b>15 pav.</b> FKTE pagalbinio aušinimo proceso medžiagų ir energijos srautų diagrama.....	51
<b>16 pav.</b> Šaldymo/ aušinimo proceso medžiagų ir energijos srautų diagrama po inovacijos įdiegimo .....	53
<b>17 pav.</b> Jėgainės medžiagų ir energijos balansas po siūlomos inovacijos įdiegimo .....	56

## Santrumpų sąrašas

- AAI – aplinkos apsaugos indikatorius;
- AAI<sub>s</sub> – santykinis aplinkos apsaugos indikatorius;
- AAV – aplinkosauginis veiksmingumas;
- AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai;
- CO – anglies monoksidas;
- CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas;
- CO<sub>2eq</sub> – anglies dioksido ekvivalentas;
- DKDĮ – didelis kurą deginantis įrenginys;
- DLK – didžiausia leistina koncentracija;
- EE – energinis efektyvumas;
- FKTE – UAB „Fortum Klaipėda“ termofikacinė elektrinė;
- GPGB – geriausi prieinami gamybos būdai;
- ID – informacinis dokumentas;
- KD – kietosios dalelės;
- KDĮ – kurą deginantis įrenginys;
- NO<sub>x</sub> – azoto oksidai;
- PAV – poveikio aplinkai vertinimas;
- RV – ribinė vertė;
- SKR – selektyvioji katalizinė redukcija;
- SNKV – selektyvinis nekatalitinis valymas;
- SO<sub>2</sub> – sieros dioksidas;
- ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;
- ŠG – švaresnė gamyba;
- TIPK – taršos integruota prevencija ir kontrolė.

## Įvadas

Vienas iš tikslų, kuriuos numatė Europos Komisijos priimtas žiedinės ekonomikos dokumentų rinkinys – iki 2035 m. sąvartynuose šalinti ne daugiau kaip 10 % visų komunalinių atliekų. Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis, Lietuvoje sąvartynuose 2018 m. pašalinta 24,6 % surinktų komunalinių atliekų. Vienas iš būdų, kaip galima sumažinti sąvartynuose disponuojamų atliekų kiekį – jų deginimas. Tolimesniam perdirbimui netinkamos, energinę vertę turinčios atliekos gali būti sudeginamos, taip išgaunant šilumos ir elektros energiją bei sumažinant atliekų masę apie 70–80 %, o tūrį – apie 80–90 %. Lietuvoje 2018 metais sudeginta 163 tūkst. t (12,5 %) surinktų komunalinių atliekų, jas naudojant kaip kurą.

Atliekas kaip kurą naudojanti kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“ yra pirmoji tokio tipo jėgainė Lietuvoje. Ši jėgainė yra svarbi ne tik kaip atliekų tvarkytoja, bet ir kaip nepriklausoma šilumos ir elektros energijos gamintoja. Šiuo metu Lietuvoje yra diegiami dar du atliekas deginantys įrenginiai – Kauno ir Vilniaus kogeneracinės jėgainės. Jėgainėse bus sumontuoti didelio efektyvumo katilai, kartu su pažangiomis dūmų valymo ir monitoringo sistemomis, kurios turi užtikrinti, kad iš jėgainių išmetamų teršalų koncentracijos neviršytų teisės aktuose nurodytų ribinių dydžių.

Darbe yra pateikiami aplinkosauginio įvertinimo rezultatai, taikant Švaresnės gamybos (ŠG) diegimo pramonės įmonėse metodiką, nustatant aplinkosaugines problemas, identifikuojant jų susidarymo priežastis, siūlant sprendimus ir atliekant jų įvykdomumo analizę siekiant padidinti energijos gamybos efektyvumą ir taip mažinti poveikį aplinkai nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose.

**Tyrimo objektas** – nepavojingų atliekų deginimo įrenginiai ir jų procesai.

**Detalesnei analizei ir eksperimentui parinktas objektas** – nepavojingas komunalines ir pramonines atliekas kaip kurą naudojanti kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“.

**Darbo tikslas** – nustatyti nepavojingų atliekų deginimo įrenginiuose energijos gamybos nuostolių susidarymo priežastis ir pasiūlyti darnios pramonės plėtros alternatyvas, galinčias didinti energijos efektyvumą ir mažinti poveikį aplinkai.

### Uždaviniai:

1. Išanalizuoti nepavojingų atliekų deginimo situaciją Europos Sąjungoje, taikomus pagrindinius aplinkosaugos teisės aktus ir plačiausiai naudojamas nepavojingų atliekų deginimo technologijas;
2. Išanalizuoti mokslinę ir praktinę literatūrą dėl darnios pramonės plėtros metodų taikymo šiluminės ir elektros energijos gamybos objektams, ypatingą dėmesį skiriant atliekas deginantiesiems įrenginiams;
3. Analizei parinktam objektui įvertinti esamą aplinkosauginį veiksmingumą ir nustatyti energijos nuostolių atsiradimo priežastis;
4. Remiantis mokslinės ir praktinės literatūros analizės bei atlikto eksperimento rezultatais, pasiūlyti energinio efektyvumo didinimo bei poveikio aplinkai mažinimo alternatyvas; atlikti atrinktų alternatyvų įvykdomumo analizę;

5. Pateikti rekomendacijas nepavojingas atliekas deginantiems įrenginiams dėl energijos gamybos efektyvumo didinimo ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimo.

## 1. Nepavojingų komunalinių atliekų deginimo situacija Europos Sąjungoje

Pastaraisiais metais pasaulyje stebima sparti globalizacija, dėl kurios auga pasaulio ekonomika, tobulėja technologijų ir pramonės sritys, o žmonių gyvenimo kokybė tampa vis geresnė. Nors visi šie reiškiniai yra vertinami teigiamai, kartu su jais neišvengiamai vyksta ir spartus gamtos išteklių naudojimas bei aplinkos tarša, įskaitant ir teršimą atliekomis [1].

Žmonių populiacijos augimas pasaulyje ir didėjantis gyvenimo lygis lemia didėjančią taršą atliekomis [2]. Pasak Europos Komisijos, tobulėjant technologijoms, jos tampa labiau prieinamos vis platesnei visuomenės daliai, o tai reiškia, kad kiekvienas žmogus gali sau leisti turėti keletą asmeninių įrenginių ir juos keisti daug dažniau [3]. Be to, tobulėjant technologijoms, dėl tos pačios priežasties išaugo ir elektros energijos suvartojimas, kurią gaminant įprastais būdais (naudojant neatsinaujinančius gamtinius išteklius) taip pat generuojama tarša [4].

Remiantis paskutiniais Eurostato pateikiamais duomenimis, 2018 metais kiekvienas Europos Sąjungoje (ES) gyvenantis žmogus vidutiniškai sugeneravo 489 kg komunalinių atliekų per metus. Pastebima, kad labiau išsivysčiusios šalys, tokios kaip Vokietija, Suomija, Danija ar Liuksemburgas sugeneruoja daugiau komunalinių atliekų, nei bendras Europos sąjungos vidurkis. Lietuvoje vienas žmogus per metus sugeneruoja apie 464 kg komunalinių atliekų (2018 m.) [5]. Tai yra 5,1 % mažiau nei bendras Europos Sąjungos vidurkis. Pagal Aplinkos apsaugos agentūros pateiktus naujausius duomenis, 2018 metais Lietuvoje iš viso buvo surinkta apie 5,4 mln. t. atliekų, iš kurių apie 0,77 mln. t. sudarė mišrios komunalinės atliekos (atliekos kodas 20 03 01) [6].

### 1.1. Nepavojingų atliekų tvarkymas Europos sąjungoje ir Lietuvoje

Pagal Eurostato duomenis, 2018 metais 47,0 % visų komunalinių atliekų Europoje buvo perdirbtos arba kompostuojamos (29,9 % atliekų buvo perdirbtos į kitas medžiagas ar gaminius, o 17,1 % kompostuojama), 27,9 % sudeginta ir likę 22,7 % šalinami sąvartyne. Taip pat ataskaitoje pateikiama, kad 2,4 % atliekų buvo sutvarkytos kitais metodais, kurie nedetalizuojami. Komunalinių atliekų tvarkymo tendencijos ir pokyčiai nuo 1995 m. iki 2018 m. pavaizduojami 1 paveiksle. Pastebėtina, kad sudeginamų atliekų kiekis išlieka pastovus, taip pat pastebimas perdirbamų atliekų kiekio didėjimas ir akivaizdus atliekų, šalinamų sąvartynuose, kiekio mažėjimas.

Lietuvoje 2018 m. susidarė 1 301 tūkst. t. komunalinių atliekų, iš kurių 1 167 tūkst. t. (89,7 %) buvo sutvarkytos. Taip galima teigti, remiantis paskutiniais (2020 m.) Eurostato pateikiamais duomenimis [5]. Lietuva užima vidutinę padėtį tarp kitų ES šalių pagal komunalinių atliekų kiekį, kuris šalinamas sąvartynuose. Taip 2018 m. Lietuvoje buvo sutvarkoma apie 27,4 % komunalinių atliekų. Pagal atliekų, naudojamų energijos išgavimui kiekį, Lietuva lygiuojasi į vakarų Europos Sąjungos šalis. Lietuvoje sudeginama apie 14 % komunalinių atliekų, o likusio sutvarkytų atliekų kiekio (58,5 %) sutvarkymo būdas nenurodomas [5].

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros pateiktais duomenimis, 2018 metais Lietuvoje iš viso buvo sudeginta apie 273 tūkst. t. atliekų, jas naudojant kaip kurą (R1<sup>1</sup>) [6]. Taip pat, remiantis šiais duomenimis pastebėta, kad didžiausią dalį deginamų atliekų sudaro išrūšiuotos komunalinės atliekos,

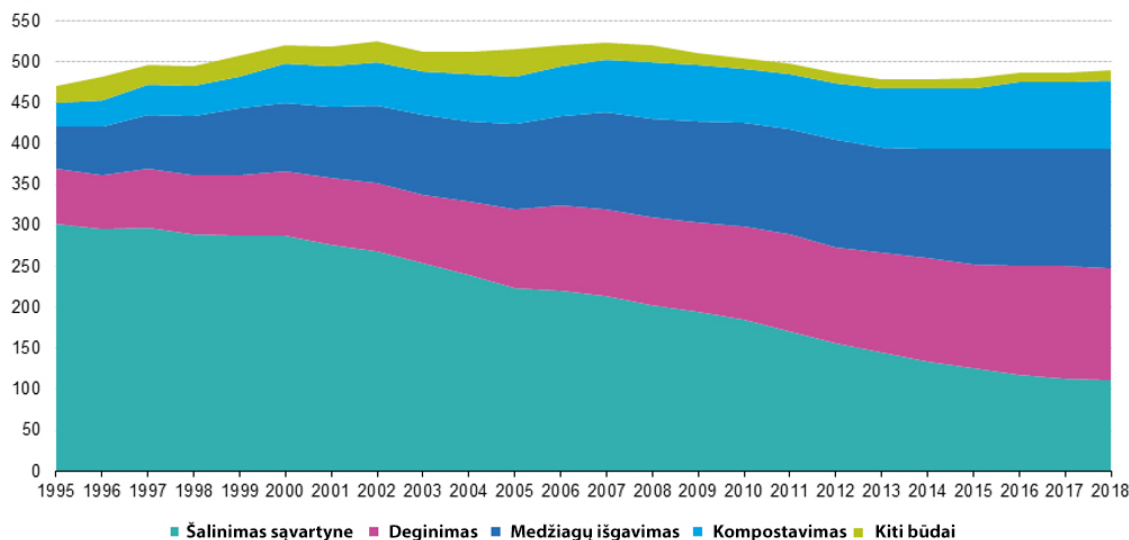
---

<sup>1</sup> R1 – atliekų tvarkymo būdas – atliekų naudojimas kurui arba kitais būdais energijai gauti.

atliekos, kurių negalima perdirbti ir atliekos, kurias perdirbti yra ekonomiškai nenaudinga (tokios kaip užterštos pakuočių atliekos).

**Komunalinių atliekų tvarkymas ES, 1995-2018**

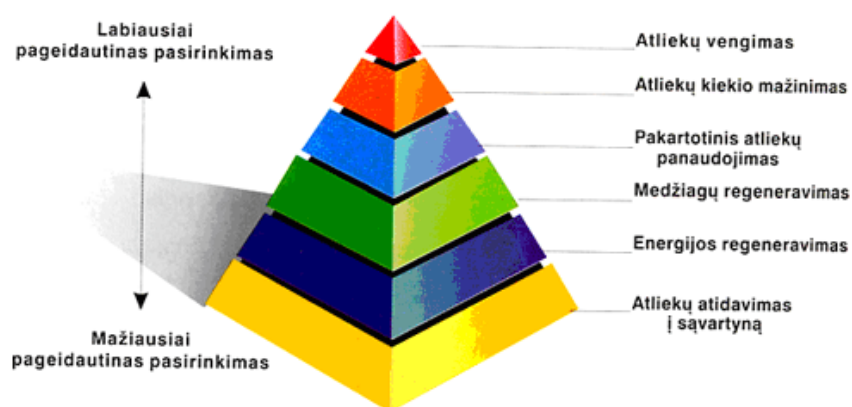
(kg vienam gyventojui)



**1 pav.** Komunalinių atliekų tvarkymo metodai ES, 1995–2018 [5]

Atliekų deginimo įrenginiuose yra deginamos ne tik rūšiuotos komunalinės, bet ir nepavojingos pramoninės atliekos. Remiantis oficialia atliekų deginimo suvestine, didžiausią dalį sudeginamų atliekų – 238 tūkst. t., arba 87,2 % – sudarė atliekos, turinčios atliekų kodus 19 12 10 (degiosios atliekos (iš atliekų gautas kuras)) ir 19 12 12 (kitos mechaninio atliekų (įskaitant medžiagų mišinius) apdorojimo atliekos, nenurodytos 19 12 11 pozicijoje) [6].

Pagrindinius atliekų tvarkymo principus numato Europos Sąjungos teisės aktai. Jais turi vadovautis visos ES šalys, tarp jų ir Lietuva. Remiantis šiais principais, yra sudaryta labiausiai ir mažiausiai pageidaujamų atliekų tvarkymo būdų pasirinkimų hierarchija (žr. 2 pav.) [7].



**2 pav.** Atliekų tvarkymo būdo pasirinkimo hierarchija [7]

Labiausiai pageidaujamas pasirinkimas atliekų tvarkymo hierarchijoje yra atliekų prevencija – t. y., atliekų kiekio mažinimas arba vengimas. Jeigu atliekų negalima išvengti, reiktų pakartotinai jas panaudoti. Tik nesant galimybei pakartotinai panaudoti atliekų, yra taikomas jų perdirbimas arba



deginimas – energijos regeneravimas. Nors atliekų šalinimas į sąvartyną užimą paskutinę pakopą atliekų tvarkymo hierarchijoje, jis vis dar pastebimas mažiau išsivysčiusiose šalyse [5].

Siekiant paspartinti ES direktyvose nustatytų normų pasiekimą, LR aplinkos ministerija pradėjo vykdyti Valstybinį strateginį atliekų tvarkymo planą (VSATP), kuriame nurodomos konkrečios užduotys ir keliami tikslai 2014–2020 metams. Vienas iš tikslų – iki 2020 metų perdirbti ne mažiau nei 45 % komunalinių atliekų ir ne mažiau kaip 50% komunalinėse atliekose esančio popieriaus, kartono, plastiko, metalų ir stiklo paruošti perdirbimui, o sąvartynuose šalinti ne daugiau nei 35 % atliekų [1].

2015 metais Europos Komisija priėmė žiedinės ekonomikos dokumentų rinkinį, kuriame numatomi dar griežtesni atliekų perdirbimo reikalavimai. Bendri ES nustatyti tikslai iki 2035 metų: sąvartynuose šalinamų atliekų kiekį nurodoma sumažinti iki 10 %, perdirbti ne mažiau nei 65 % komunalinių atliekų ir 70 % pakuočių atliekų, atskiriant jų srautus: perdirbti ne mažiau nei 55 % plastikinių, 80 % metalinių, 85% popierinių ir kartono pakuočių. Taip pat, numatoma, kad pavojingos namų ūkių atliekos turi būti surenkamos atskirai iki 2022 m., bio-atliekos – iki 2023 m., o tekstilė – iki 2025 m. [8].

## **1.2. Pagrindiniai aplinkosaugos teisės aktai (reikalavimai), taikomi nepavojingas atliekas deginantiems įrenginiams**

Prieš pradėdant veiklą atliekas deginantiems įrenginiams dažniausiai reikia atlikti planuojamos ūkinės veiklos (PŪV) pilną poveikio aplinkai vertinimo (PAV) procedūrą, kadangi PŪV patenka į Lietuvos Respublikos planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymo 1 priedo išvardintas veiklas:

- „9.9. nepavojingųjų atliekų šalinimas ar naudojimas jas apdorojant terminiais būdais, tokiais kaip deginimas, pirolizė, dujofikavimas, degazacija, plazminis procesas, ar derinant kuriuos nors būdus įrenginiuose, kurių pajėgumas 100 ir daugiau tonų per parą“ [9].

Tuo atveju, jeigu deginamų atliekų kiekis < 100 t per parą, tokie PŪV reikėtų atlikti PŪV dokumentų atranką dėl PAV pagal nagrinėjamo įstatymo 2 priedo šiuos punktus:

- „11.2. nepavojingųjų atliekų naudojimas ar šalinimas jas apdorojant terminiais būdais, tokiais kaip deginimas, pirolizė, dujofikavimas, degazacija, plazminis procesas, ar derinant kuriuos nors būdus įrenginiuose, kurių pajėgumas – mažiau kaip 100 tonų per parą“;
- „3.1. šiluminių elektrinių bei kitų deginimo įrenginių, įskaitant pramoninius įrenginius elektrai, garui gaminti ar vandeniui šildyti, įrengimas (kai įrenginių vardinė (nominali) šiluminė galia – mažesnė kaip 150 MW, bet didesnė kaip 5 MW“ [9].

Šiuo metu Klaipėdoje veikiančioje jėgainėje yra sudeginama apie 255 tūkst. t. atliekų per metus [10], planuojama, kad įrengtoje Kauno kogeneracinėje jėgainėje bus sudeginama apie 200 tūkst. t. atliekų [11], o statomoje Vilniaus kogeneracinėje jėgainėje – apie 160 tūkst. t. atliekų [12]. Tai yra 684 t, 547 t ir 438 t atliekų per parą, atitinkamai. Todėl, remiantis planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymo, 1 priedo 9.9 punktu, visiems objektams yra ir bus reikalingas PAV.

Visiems atliekas, kaip kūrą, naudojančioms įrenginiams yra taikomai Atliekų deginimo aplinkosauginiai reikalavimai, kurie buvo patvirtinti Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2002 m.

gruodžio 31 d. įsakymu Nr. 699. Reikalavimai buvo nustatyti siekiant išvengti ar kiek įmanoma sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, ypač teršalų emisiją į aplinkos orą, dirvožemį, paviršinius ir gruntinius vandenius iš atliekas deginančių įrenginių, ir su tuo susijusią riziką žmonių sveikatai. Reikalavimų taikymas apibrėžtas reikalavimų 3 punkte, kuris teigia, kad „dokumentas nustato eksploatacines sąlygas, išmetamųjų teršalų ribines vertes ir techninius reikalavimus, kurie privalomi visiems veiklos vykdytojams Lietuvos Respublikos teritorijoje, eksploatuojantiems ar planuojantiems eksploatuoti atliekų deginimo įrenginius ar bendro atliekų deginimo įrenginius, deginantiems kietas arba skystas atliekas“ [13].

Kadangi atliekas kaip kurą deginantys įrenginiai dažnu atveju yra didesnės vardinės galios, negu 50 MW [14, 15], jiems yra taikomi specialieji reikalavimai DKDĮ. Šie reikalavimai yra taikomi KDI, kurių bendra nominali (vardinė) šiluminė galia yra lygi arba didesnė kaip 50 MW, nepriklausomai nuo naudojamo kuro rūšies, ir nustato išmetamų į aplinkos orą teršalų (sieros dioksido, azoto oksidų, anglies monoksido ir kietųjų dalelių) kiekio ribojimo, stebėsenos (monitoringo) ir kontrolės reikalavimus [16].

Atliekų deginimo veiklai yra reikalingas TIPK leidimas pagal Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimų išdavimo, pakeitimo ir galiojimo panaikino taisyklių 1 priedo 1.1 punktą, kaip DKDĮ, taip pat pagal 5.2.1 punktą „atliekų šalinimas arba naudojimas atliekų deginimo arba bendro atliekų deginimo įrenginiuose: nepavojingų atliekų, kai pajėgumas didesnis kaip 3 tonų per valandą“ [17].

Atliekant PAV ir rengiant paraišką TIPK leidimui gauti, atliekas deginančiose įėjainėse planuojami naudoti gamybos būdai yra lyginami su GPGB, pateiktais Europos Sąjungos ID. Šiuo atveju nagrinėjami gamybos būdai, pateikti GPGB ID „Atliekų deginimas“ (angl. – *Waste Incineration*) [18]. Dalis pateikiamų gamybos būdų yra pateikiama nuorodomis į kitus GPGB ID, tokius kaip GPGB „Atliekų tvarkymui“ [19] ir GPGB „Dideliems kurą deginantiesiems įrenginiams“ [20].

LR atliekų tvarkymo įstatyme numatoma, kad valstybinės reikšmės atliekų tvarkymo objektuose kaip kuras energijai gaminti gali būti naudojamos ar planuojamos naudoti po rūšiavimo likusios ir netinkamos perdirbti energinę vertę turinčios komunalinės atliekos. Šio įstatymo 4 straipsnio 6 punktas nurodo, kad tokie objektai gali būti statomi ne mažesniu kaip 20 kilometrų nuotoliu nuo gyvenamųjų teritorijų [21].

Atliekų tvarkymo taisyklėse pateikiami reikalavimai atliekų rūšiavimui, laikinajam laikymui, surinkimui, vežimui, apdorojimui, taip pat reikalavimai produktų platintojams, priimantiems vartotojų atiduodamas produktų atliekas, papildomi biologinių ir pavojingųjų atliekų (įskaitant ir alyvos atliekų) tvarkymo reikalavimai, prekybos atliekomis ir tarpininkavimo organizuojant atliekų naudojimą ar šalinimą ypatumai, reikalavimai atliekų naudojimo ar šalinimo techniniam reglamentui, atliekų apskaitos ir tvarkymo dokumentų saugojimo tvarkai. Atliekų deginimu gali užsiimti tik tos atliekų tvarkymo įmonės, kurių darbuotojai, atsakingi už atliekų deginimo įrenginių eksploataciją bei kontrolę, yra išklause mokymo kursus atliekų tvarkymo specialistams ir turi atitinkamą pažymėjimą, patvirtinantį jų žinias. Tokios atliekų tvarkymo įmonės privalo užtikrinti, kad deginant atliekas nebus keliamas neigiamas poveikis nei aplinkai, nei visuomenės sveikatai [22]. Viena iš tokių įmonių – UAB „Fortum Klaipėda“ – atliekas tvarko šiais būdais [23]:

- R1 – kai atliekos iš esmės naudojamos kurui arba energijai gauti kitais būdais;

- R12 – kai atliekų būseną arba sudėtis pakeičiama prieš pradėdant su jomis vykdyti R1 veiklą;
- R13 – R1 ir R12 veikloms skirtų atliekų laikymas.

Deginamų atliekų kodai yra pateikiami atliekų tvarkytojų valstybės registre. Klaipėdoje deginamų atliekų kodai nurodomi 1 priede [23].

Vykdamas atliekų tvarkymo veiklą, susidaro įvairios gamybinės nuotekos, kurios dažnu atveju turi būti sutvarkomos prieš išleidžiant į aplinką arba nuotekų surinkimo sistemą [24]. Remiantis nuotekų tvarkymo reglamentu, pagrindiniai aplinkosauginiai reikalavimai nustatomi nuotekų surinkimui, valymui bei išleidimui, siekiant apsaugoti aplinką nuo galimos taršos [25].

Atliekas deginančiuose įrenginiuose gamybinės nuotekas sudaro vanduo po grindų plovimo bei nuotekos po demineralizuoto vandens gamybos ir naudojimo. Pastarosios yra išleidžiamos į nuotekų liniją, kur yra sutvarkomos. Be gamybinių nuotekų taip pat susidaro ir paviršinės, ūkio-buities bei gaisrinės įrangos testavimo nuotekos. Ūkio-buities nuotekos išleidžiamos kartu su gamybinėmis į tą pačią nuotekų liniją [10]. Paviršinės nuotekos turi būti surenkamos, vykdomas jų valymas ir apskaitymas bei vykdoma jų užterštumo kontrolė atskirai nuo buitinių, komunalinių ir gamybinių nuotekų [26]. Paviršinėse nuotekose nuo stogų ir gaisrinės įrangos testavimo nuotekose kenksmingų aplinkai medžiagų nėra, todėl per išleistuvą jos išleidžiamos į aplinką. Tuo tarpu paviršinės nuotekos nuo kietų dangų yra galimai užterštos aplinkai kenksmingomis medžiagomis. Kadangi jėgainių teritorijos yra atviros ir galimai teršiamos, jose įrengtos paviršinių nuotekų centralizuotos surinkimo sistemos ir vietiniai paviršinių bei lietaus nuotekų valymo įrenginiai, kuriuose anksčiau minėtos galimai užterštos nuotekos yra išvalomos ir išleidžiamos į aplinką [10].

Remiantis Atliekų deginimo aplinkosauginiais reikalavimais, atliekas deginančiose jėgainėse vykdomas oro monitoringas ir mėginių ėmimas. Monitoringo programoje, kuri suderinta su atsakinga institucija, nurodoma: tiksli mėginių paėmimo vieta, būdai, ėmimų dažnumas, mėginių tipai, dydis, naudojama įranga [13]. Mėginiai yra paimami, analizuojami ir tvarkomi vadovaujantis CEN, ISO standartais bei pastarųjų pagrindu parengtais Lietuvos standartais. Už mėginių ėmimą atsakingi darbuotojai yra apmokyti, turintys atitinkamus įgūdžius. Jėgainės aprūpintos kompleksinėmis automatizuotomis išmetimų monitoringo sistemomis, kurios apima mėginių ėmimo, duomenų perdavimo, išmetamų teršalų matavimo duomenų įrašymo ir pateikimo sistemas. Monitoringo sistemos turi atitikti EN14181:2004 keliamus reikalavimus emisijų stebėjimo sistemoms [10]. Pagal GPGB, dėka jėgainėje sumontuotų automatinio matavimo prietaisų, atliekama nepertraukiama emisijų stebėseną [18].

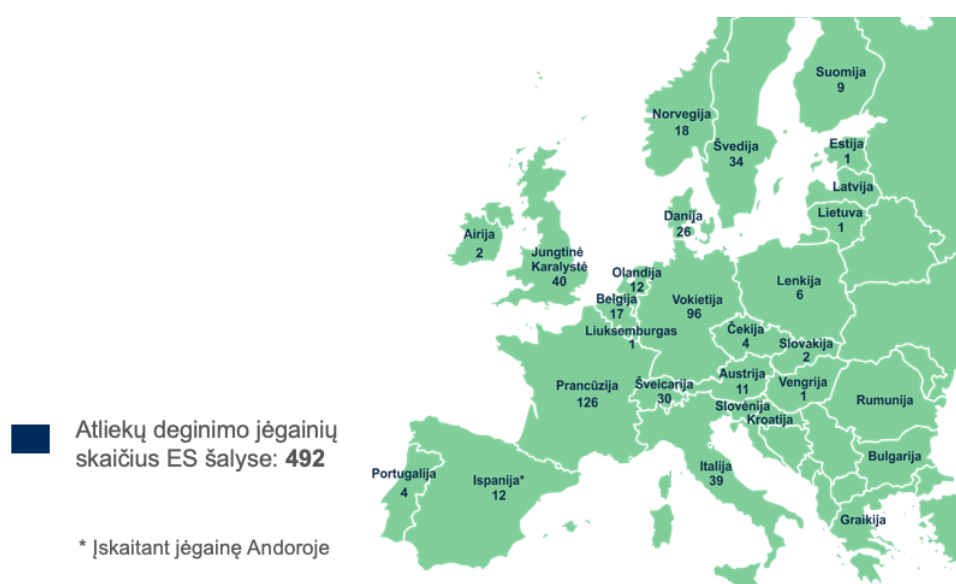
Įsakymo „Dėl atliekų deginimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo“ prieduose Nr. 3, 4 ir 5 nurodomi specialieji reikalavimai bendro deginimo įrenginiams: oro ir vandens teršalų koncentracijų matavimo būdai, išmetamųjų dujų valymo nuotekose esančių teršalų ribinės vertės bei į aplinkos orą išmetamų teršalų ribinės vertės [13].

### **1.3. ES plačiausiai taikomos nepavojingų atliekų deginimo technologijos**

Norint pasiekti vis griežtesnius ES Komisijos nurodytus atliekų tvarkymo normatyvus, atliekos, kurių pakartotinis naudojimas arba perdirbimas yra negalimas, turi būti sudegintos [8]. Tam tikslui yra eksploatuojamos atliekų deginimo jėgainės, kurios kaip kurą naudoja išrūšiuotas komunalines atliekas, taip gamindamos elektros ir šilumos energiją. Dėl atliekų naudojimo kaip kuro, jos

vardinamos „atliekomis į energiją“ (angl. *Waste to Energy*) jėgainėmis [27]. Perdirbimui ir kompostavimui netinkamų atliekų (pavyzdžiui, užterštų naftos produktais) deginimas yra saugiausias ir ekonomiškai naudingiausias atliekų tvarkymo būdas [1]. Deginant atliekas, jų tūrį galima sumažinti 80–90 %, o masę apie 70–80 % [28]. Visos tokio tipo jėgainės pasaulyje, deginant vien komunalines ir pramonines atliekas, sugeneruoja apie 45 TWh elektros energijos per metus.

Atliekas deginančios jėgainės bendruoju atveju yra laikomos kaip šilumos ir elektros gamybos įrenginiai. Tokios jėgainės vadinamos kogeneracinėmis arba termofikacinėmis jėgainėmis (nes gautą šilumos energiją termofikatu perduoda šilumos tinklams) [29]. Šiuo metu Europoje veikia 492 tokio tipo jėgainės, iš kurių 89 yra Skandinavijos ir Baltijos šalyse. Lietuvoje šiuo metu veikia vienintelė tokia atliekų deginimo jėgainė Klaipėdoje [30], tačiau remiantis Energijos išteklių biržos „Baltpool“ pateikiamais šilumos pardavimo aukciono rezultatais [31], nuo 2020 m. balandžio mėn. buvo pradėti paleidimo ir derinimo darbai Kauno kogeneracinėje jėgainėje. Jėgainių, kurios kaip kurą naudoja atliekas, paplitimas Europoje pateikiamas 3 paveiksle.



**3 pav.** Atliekas kaip kurą naudojančios jėgainės Europoje [30]

Daugiausia atliekas kaip kurą naudojančių jėgainių yra Prancūzijoje (126 jėgainės), kur energija gaminama deginant 14,7 mln. t. atliekų, ir Vokietijoje (96 jėgainių), kur termiškai apdorojama 26 mln. t atliekų (3 pav.). Kai kuriose šalyse, tokiose kaip Latvija, Bulgarija ar Graikija, atliekų energinis potencialas nėra išnaudojamas.

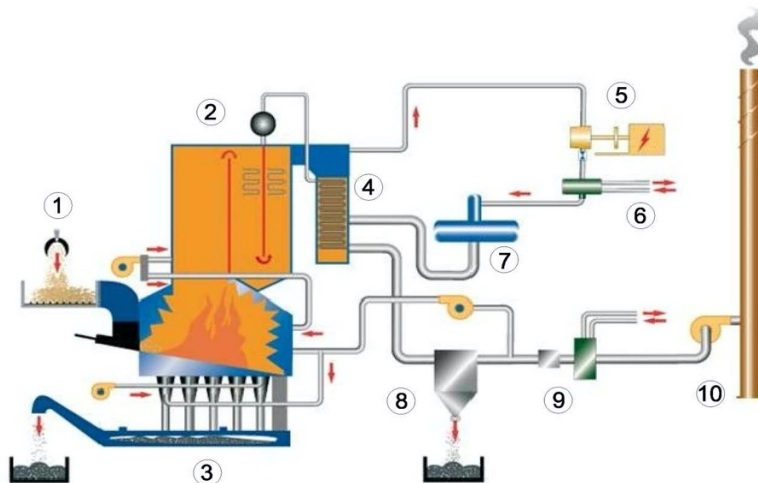
Kaip vieną iš pavyzdinčių atliekas tvarkančių šalių, galima įvardinti Švediją, kadangi sąvartynuose ten šalinama tik iki 1 % susidariusių komunalinių atliekų [5]. 2018 metais Upsalos miestas, esantis Švedijoje, tapo vienos planetos miesto konkurso (angl. *one planet city challenge*) nugalėtoju. Konkursą organizuoja Pasaulio gamtos fondas (angl. *World Wide Fund for Nature*), sutrumpintai WWF [32].

Upsalos mieste, Švedijoje, veikia vienas atliekas deginantis įrenginys, kuris yra valdomas valstybės įmonės *Vattenfall AB*. Jėgainėje gaminama šilumos, elektros ir šalčio energija yra tiekama miesto gyventojams. Jėgainėje tvarkant rūšiuotas komunalines ir pramonines atliekas, yra patenkinama apie 95 % miesto gyventojų energijos poreikio [33].

Priklausomai nuo atliekų tipo, dažniausiai naudojamos šios atliekų deginimo technologijos [18]:

- ardynines pakuras turintys katilai;
- rotacinės krosnys;
- verdančio sluoksnio katilai;
- pirolizės ir dujinimo sistemos.

Remiantis išanalizuota literatūra [34], rūšiuotų komunalinių ir nepavojingų pramoninių atliekų deginimui dažniausiai įrengiamos kogeneracinės atliekų deginimo jėgainės su ardyninę pakurą turinčiu katilu. Tokios jėgainės principinė technologinė schema vaizduojama 4 pav.



4 pav. Atliekų deginimo jėgainės principinė technologinė schema [29]

čia: 1. kuro tiekimo į pakurą sistema; 2. garo katilo agregatas; 3. dugno pelenų (šlako) tvarkymo sistema; 4. garo katilo ekonomizaizeris; 5. garo turbina su generatoriumi; 6. garo-vandens šilumokaičiai; 7. deaeratorius; 8. dujų valymo įrenginys; 9. dūminių dujų kondensatorius; 10. dūmtraukis.

Pirmiausia patikrinama, ar atvežtas kuras neviršija nustatyto radioaktyvumo lygio ir tada kuras pasveriamas. Kadangi visas atliekų apskaitos procesas yra automatizuotas, nesunku nustatyti, kokios atliekos, iš kokio tiekėjo ir koks kiekis buvo atvežtas į jėgainę. Naudojant ardyninio tipo katilą, atliekoms nereikia papildomo apdirbimo prieš jas deginant. Esant būtinybei, stambias atliekas galima susmulkinti įrengtu smulkintuvu. Kuras, naudojant greiferinį krautuvą (4 pav., 1) automatiškai dozuojamas į krosnį. Degant kurui katile (4 pav., 2), išsiskyrusi šiluma šildo katile esantį šilumokaitį, taip užvirindama vandenį ir persotindama vandens garus. Žiemą, kai šilumos poreikis mieste yra didelis, karštų dūmų šiluma regeneruojama garo katilo *ekonomizaizeryje* (4 pav., 4). Po to išmetamosios dujos yra tiekiamos į dujų valymo įrenginius (4 pav., 8) ir dūminių dujų kondensatorių (šaltuoju metų laiku) (4 pav., 9), ir galiausiai išvalyti dūmai pašalinami pro kaminą (4 pav., 10) [29].

Persotintas garas pirmiausia suka garo turbiną (4 pav., 5), kuri sujungta su elektros generatoriumi. Taip kogeneracinėse jėgainėse gaminama elektros energija, kurią jėgainė naudoja savoms reikmėms, o likusi energija yra parduodama. Garas po garo turbinos yra tiekiamas į garo-vandens šilumokaičius (4 pav., 6), pašildydamas termofikacinį vandenį šiluminės energijos gamybai. Lygiagrečiai šilumokaičiams yra sumontuoti pagalbiniai termofikato aušintuvai (4 pav. nepavaizduoti), kurie šiltuoju metų laiku, kai šilumos poreikis mieste yra mažas, ataušina termofikatą prieš grąžinant jį į

termofikato šildymo sistemą. Prieš šilumnešį gražinant į katilą, iš jo pašalinami oro burbuliukai, naudojant deaeratorių (4 pav., 7) [29].

Oras, reikalingas kuro (šiuo atveju – atliekų) degimui, siurbiamas iš kuro paėmimo patalpos ir kuro bunkerio, kurie šioje schemeje nepavaizduoti (4 pav.). Atliekų deginimas vyksta pakuroje palaikant 1100–1200 °C temperatūrą [1]. Atliekų deginimo GPGB ID pateikiama minimali atliekų deginimo temperatūra yra 850–1050 °C [18].

### 1.3.1. Energijos gamybos efektyvumas kogeneracinėse jėgainėse

Elektros gamybos efektyvumas kogeneracinėse jėgainėse dažniausiai priklauso nuo dviejų pagrindinių kriterijų [35]:

- garo slėgio prieš garo turbiną;
- nuo termofikato slėgio ir temperatūros po garo turbinos.

Tačiau atsižvelgiant į tai, kad elektros gamyba naudojant garo turbiną yra kompleksinis ir gana sudėtingas procesas, elektros gamybos efektyvumas gali priklausyti ir nuo kitų veiksnių, susijusių su pačios garo turbinos ar elektros generatoriaus darbu [36].

2018 metais atlikto tyrimo metu [37] buvo nustatyta, kad termofikato slėgio ir temperatūros padidėjimas po garo turbinos turi neigiamą įtaką elektros generatoriaus, prijungto prie garo turbinos, efektyvumui. Termofikato aušinimui yra naudojamos orinės aušyklės, kurioms veikti yra reikalinga elektros energija. Taip pat visa šiluminė energija, kuri yra pašalinama, naudojant orines aušykles, yra laikoma energijos nuostoliais. Atliekinę šilumą (angl. *waste heat*), susidarančią kogeneracinėse jėgainėse, panaudojant šalčio energijai gaminti būtų padidinamas ne tik jėgainės energijos gamybos efektyvumas (dėl mažesnės termofikato temperatūros), bet ir bendras jėgainės energinis efektyvumas, kadangi perteklinę šilumą, naudojamą vėsumos gamybai, galima laikyti naudinga šiluma.

### 1.3.2. Absorbcinių šaldymo agregatų pritaikymas kogeneracinėse jėgainėse

Centralizuotomis termofikacinio vandens tiekimo sistemomis galime perduoti ne tik šilumos, bet ir šalčio energiją. Remiantis atlikta literatūros analize [38] galima teigti, jog centralizuotos vėsumos tiekimas sulaukia vis didesnio susidomėjimo. Dažnu atveju vėsumos tiekimas yra derinamas su darnios energijos gamybos technologijomis, atsinaujinančiais energijos ištekliais, kogeneracinėmis jėgainėmis bei šilumos saugyklomis. Panašiai kaip ir centralizuotai tiekama šiluma, vėsuma gali būti gaminama naudojant daugumą atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) ir procesus, pavyzdžiui [39]:

- geoterminę energiją;
- atliekinę šilumą (pavyzdžiui, suskystintų gamtinių dujų-skirstymo ar saugojimo stotyse);
- absorbcinį šaldymą;
- adsorbcinį šaldymą.

Siekama užtikrinti pastovius darbo parametrus ne tik tose kogeneracinėse jėgainėse, kurios kaip kurą naudoja atliekas, bet ir tokiose, kurios energiją išgauna, deginant iškastinį kurą. Norint gauti maksimalią energijos išėigą, kuri būdinga kogeneracinėms jėgainėms, yra kritiškai svarbu, kad kuro degimas vyktų esant parametrams, kurie užtikrintų efektyviausią energijos išgavimą. Ieškant perteklinės šiluminės energijos panaudojimo galimybių Kinijoje, kogeneracinei jėgainei buvo parinktas ir įrengtas ličio bromido (LiBr)/ vandens tipo absorbcinis šaldymo aparatas. Pagrindinis

kriterijus, pagal kurį buvo parinktas šaldymo aparato tipas, buvo perteklinės šiluminės energijos galia – 52 kW (esant 133 °C). Todėl buvo parinktas absorbcinis šaldytuvas „Thermax 5G1AC“, kurio maksimali šaldymo galia – 47,1 kW, esant perteklinės šilumos kiekiui 70 kW (kai temperatūra 120 °C). Dėl mažesnės tiekiamos galios, tiekama šalčio galia taip pat buvo mažesnė, ir siekė 35 kW. Remiantis to meto elektros iš šalčio kainomis, buvo apskaičiuota, jog investicijų į šaldymo agregatą (30 tūkst. Eur) atsipirkimo trukmė – 1,8 metai [40].

Siekiant patenkinti vis didėjanti šalčio energijos poreikį, Švedijoje eksploatuojamoje kogeneracinėje jėgainėje buvo įdiegtas absorbcinio šaldymo įrenginys. Jėgainės projektinė galia – 80 MW. Vasaros metu jėgainėje susidaro 6,4 MW šiluminės energijos perteklius, kurį būtų galima panaudoti absorbciniam šaldymui. Naudojantis „CHEMCAD“ programine įranga, buvo simuliuojamos jėgainėje esančių įrenginių šiluminės apkrovos ir sumodeliuotas vienos pakopos, LiBr tirpalo ir vandens absorbcinio šaldymo aparatas. Jėgainėje perteklinė šiluma yra akumuliuojama karšto vandens (85 °C) pavidalu, todėl tiekiant tokios temperatūros vandenį į absorbcinio šaldymo agregatą būtų galima pasiekti didelį energijos efektyvumą (EER), kuris dažnu atveju siektų 0,78. Tai reiškia, jog naudojant 6,4 MW perteklinės šiluminės energijos, būtų galima pagaminti 5 MW šalčio energijos. Taip pat pastebėtina, jog dėl efektyvesnio termofikato aušinimo, elektros energijos gamyba, naudojant absorbcinį šaldymą, padidėtų 8,6 %, o bendras jėgainės metinis efektyvumas – 1,3 % [41].

Taivane buvo atliktas tyrimas, kurio metu buvo siekiama optimizuoti absorbcinio šaldymo aparatą maksimaliam efektyvumui pasiekti. Parinkus optimaliausias proceso sąlygas, absorbcinio šaldymo mašina generavo 1406 kW šalčio energijos, pasiekiant 1,44 energijos efektyvumo koeficientą (EER). Tai reiškia, į įrenginio generatorių buvo tiekama 1 MW šiluminės energijos. Pastebėtina, jog šioje, atliekas deginančioje jėgainėje, dviejų pakopų absorbcinio šaldymo agregate buvo naudojamas 140 °C temperatūros garas, kurio srautas siekė 1600 kg/ val. [42].

Mokslinėje ir praktinėje literatūroje nurodomi sekantys centralizuoto šalčio tiekimo privalumai [39, 43, 44]:

- mažesnis šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetamas kiekis;
- geresnė aplinkos oro kokybė;
- sumažėjęs šaldymo agentų naudojimas, ir dėl to – taip pat ŠESD sumažėjimas;
- intensyvesnis AEI naudojimas;
- mažesnė priklausomybė nuo iškastinio kuro.

#### **1.4. Būvio ciklo vertinimo požiūris analizuojant nepavojingų atliekų deginimo poveikį aplinkai**

Atliekų tvarkymo problematika pasaulyje sulaukia didelio dėmesio. Pastaraisiais metais yra atliekama daug įvairiausių mokslinių tyrimų, analizuojant atliekų deginimo, gaminant elektros ir šilumos energiją, poveikį aplinkai, įskaitant būvio ciklo vertinimo analizę.

JAV mokslininkai įvertino skirtingus atliekų (konkrečiai plastiko atliekų) tvarkymo metodus: perdurbimą, šalinimą sąvartyne ir deginimą. Pagrindinis tyrimo tikslas – atlikti plastikinių pakuočių (plėvelių) atliekų tvarkymo būvio ciklo analizę, siekiant palyginti skirtingų plastikinių atliekų perdurbimo metodų poveikį aplinkai. Kaip funkcinis vienetas šiame būvio ciklo vertinime buvo pasirinktas plastiko (plėvelių) atliekų kiekis vienoje tonoje mišrių arba rūšiuotų komunalinių atliekų

(po pirminio rūšiavimo), o vertinamas kiekis – 0,6 % plastiko (plėvelių) atliekų rūšiuotų atliekų sraute ir 2,0 % plastiko (plėvelių) atliekų mišrių atliekų sraute. Analizuojamos būvio ciklo ribos – nuo galutinio panaudojimo iki lopšio (angl. *Grave to Cradle*) [45].

Analizuotame tyrime duomenys apie naudojamas žaliavas (angl. *upstream*) ir atliekų transportavimą buvo surinkti naudojantis duomenų baze „Ecoinvent 2.2“. Naudojantis *SimaPro 8.4 LCA* programine įranga buvo simuliuojami skirtingi atliekų tvarkymo modeliai. Inventorinės analizės rezultatus konvertuoti į atitinkamą poveikį aplinkai, buvo naudojama *BEES 4.0* (angl. *The Building for Environmental and Economic Sustainability*) metodika. Taip buvo įvertintos visos pagrindinės poveikio aplinkai kategorijos: išteklių vartojimas, žmonių sveikata ir aplinkos apsaugos pasekmės. Remiantis atliktos būvio ciklo analizės rezultatais, buvo padaryta išvada, kad plastiko (plėvelių) pakuočių atliekų perdirbimas daro mažesnę neigiamą poveikį aplinkai nei atliekų šalinimas sąvartynuose ar jų deginimas, išgaunant elektros ir šilumos energiją. Tačiau atliekant būvio ciklo vertinimą, nebuvo įvertinamos „nepanaudotos medžiagos“ (angl. *avoided products*). Deginant atliekas yra pagaminamas didelis kiekis šilumos ir elektros energijos, o tai reiškia, kad atitinkamas kiekis elektros energijos nėra gaminamas kitais būdais (pvz. deginant iškastinį kurą ir kt.) ir yra išvengiama neigiamo poveikio aplinkai [45].

Šveicarijoje atlikto tyrimo metu buvo įvertintas komunalinių atliekų deginimo poveikis aplinkai, naudojant pažangias dūmų valymo ir metalo separavimo (iš lakiųjų ir dugno pelenų) technologijas. Pagrindiniai tyrimo tikslai [46]:

- nustatyti ir įvertinti atliekas deginančių jėgainių potencialą aplinkosaugos srityje, diegiant įvairias valymo technologijas;
- atlikti būvio ciklą atliekų deginimui tam, kad būtų galima palyginti poveikį aplinkai su kitais atliekų tvarkymo būdais ir pasirinkti būdą, turintį mažiausią poveikį aplinkai.

Pagrindiniai tyrimo rezultatai [46]:

- išsiskiriančios ŠESD daro didžiausią neigiamą poveikį aplinkai, tačiau šiai dienai nėra žinomu metodų, kaip šias emisijas eliminuoti ar ženkliai sumažinti;
- atliekų perdirbimo poveikis aplinkai priklauso nuo šalies (regiono), vertinamas pagal  $CO_{2ekv.}$ , kuris susidaro pagaminant vieną GWh elektros ir/ arba šilumos energijos ( $CO_{2ekv.}/GWh$ );
- sudeginant (sutvarkant) 1 toną rūšiuotų komunalinių atliekų, susidaro apie 425 kg  $CO_{2ekv.}$ ;
- gaminant energiją atliekas deginančiuose įrenginiuose, priklausomai nuo regiono,  $CO_{2ekv.}$  kiekis yra nuo 67 iki 752 kg mažesnis, nei gaminant energiją deginant iškastinį kurą (priklausomai nuo iškastinio kuro rūšies);
- į aplinkos orą išsiskiriančių oro teršalų ( $NO_x$ ,  $SO_2$ , HCl) sukiamas neigiamas poveikis aplinkai nėra didelis, nes moderniose atliekas deginančiose jėgainėse naudojamos pažangios dūmų valymo sistemos;
- gamybinių nuotekų susidarymas taip pat nesukelia didelio neigiamo poveikio aplinkai, kadangi jų susidaro nedideli kiekiai, be to, nuotekos, prieš jas išleidžiant, yra atitinkamai neutralizuojamos ir išvalomos.

Pastebėtina, kad poveikio aplinkai mažinimui dažniausiai naudojamos antrinės priemonės – taip vadinami „vamzdžio galo“ metodai. Būvio ciklo vertinimo rezultatai buvo gauti naudojant skirtingus modeliavimo metodus: *Carbon footprint*, *CExD*, *non-renewable* ir *ReCiPe (H)*. Kaip funkcinis



vienetas šiame būvio ciklo vertinime buvo pasirinktas perdirbamų atliekų kiekis: 1 t komunalinių atliekų sutvarkymas deginant. [46].

Švedijos mokslininkai įvertino sukeliamą poveikį aplinkai, kuomet šilumos energija gaminama deginant rūšiuotas komunalines atliekas, biokurą ir gamtines dujas. Kaip funkcinis vienetas šiame būvio ciklo vertinime buvo pasirinkta 42 PJ šilumos energijos, t. y. toks šilumos kiekis, kuris per metus pagaminamas visose atliekas deginančiose jėgainėse Švedijoje. Buvo modeliuojami 5 skirtingi scenarijai: atliekų deginimas gaminant elektros ir šilumos energiją, atliekų deginimas gaminant tik šilumos energiją, biomasės deginimas gaminant šilumos ir elektros energiją, biomasės deginimas gaminant tik šilumos energiją, ir gamtinių dujų deginimas gaminant šilumos ir elektros energiją. Vertinimas buvo atliekas naudojantis būvio ciklo vertinimo (BCV) programine įranga *SimaPro* ir *CML 2000* metodika. Pagrindiniai tyrimo tikslai [47]:

- prisidėti prie politikos formavimo energetikos sektoriuje, palyginant šilumos gamybos iš rūšiuotų komunalinių atliekų ir kitų kuro rūšių, daromą poveikį aplinkai Švedijoje;
- atlikti jautrumo analizę ir nustatyti, kokie kintamieji daro didžiausią įtaką sukeliama poveikiui aplinkai, gaminant šilumos energiją iš skirtingų kuro rūšių.

Kadangi atliekas deginančios jėgainės dažniausiai yra kogeneracinės, todėl šio tyrimo metu buvo įvertintas ir pagamintas elektros energijos kiekis, bei išvengtas neigiamas poveikis aplinkai, gaminant elektros energiją deginant alternatyvų kurą. Tyrimo metu taip pat buvo įvertinti ir kiti procesai, kurie susiję su atliekų deginimu (tai kuro transportavimas, šlako transportavimas ir laikymas sąvartyne).

Pagrindiniai tyrimo rezultatai [47]:

- mažiausias neigiamas poveikis aplinkai buvo nustatytas deginant rūšiuotas komunalines atliekas, kuomet gaminama elektros ir šilumos energija, o atliekų deginimas pakeičia atliekų šalinimą sąvartynuose;
- neigiamas poveikis aplinkai deginant rūšiuotas komunalines atliekas priklauso nuo kuro rūšies, kuris naudojamas elektros energijos gamybai;
- rūšiuotų komunalinių atliekų deginimas dažniausiai (bet ne visada) yra geriausias pasirinkimas, kai pakeičia atliekų šalinimą sąvartynuose;
- rūšiuotų komunalinių atliekų deginimas dažniausiai (bet ne visada) yra blogiausias pasirinkimas, kai pakeičia atliekų perdirbimą.

Apibendrinant išanalizuotus mokslinės ir praktinės literatūros šaltinius, galima teigti, jog deginant rūšiuotas komunalines atliekas ir gaminant šilumos bei elektros energiją, neigiamas poveikis aplinkai yra mažesnis, palyginti su energijos gamyba, deginant iškastinį kurą, arba mažesnis, negu poveikis, sukeliamas atliekas šalinant sąvartynuose, ir kartais mažesnis, atliekas tvarkant kitais būdais, pavyzdžiui, perdirbant. Tačiau būtina pabrėžti, kad kalbama būtent apie komunalinių atliekų išrūšiuotos dalies deginimą, t. y. tų atliekų, kurios nėra tinkamos perdirbti, išgaunant žaliavas arba šių atliekų perdirbimas yra ekonomiškai nenaudingas analizuojamos šalies mastu (dažnu atveju toks perdirbimo būdas daro ir didesnę poveikį aplinkai). Taip pat reikia paminėti, kad poveikis aplinkai skiriasi nuo regiono (šalies), kuriame nepavojingos komunalinės atliekos yra deginamos, nes skirtingose šalyse skiriasi atliekų sudėtis, taip pat elektros ir šiluminės energijos gamybai deginamas įvairus iškastinis kuras.

## **2. Energijos gamybos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose, diegiant darnios pramonės plėtros metodus**

Kaip buvo pateikta 1.2 skyriuje, nepavojingas atliekas deginantys įrenginiai priskiriami prie TIPK įrenginių, kuriuose naudojami gamybos būdai turi būti periodiškai lyginami su pateiktais ES GPGB ID „Atliekų deginimas“. Taip pat, kadangi nepavojingos atliekos deginamos DKDI, tokiems įrenginiams galima analizuoti ES GPGB ID „Dideliems kurą degintiems įrenginiams“.

Reikia paminėti, kad ID naudojami norint nustatyti siektinas išmetamų teršalų ribines vertes (RV) analizuojamame sektoriuje, bei gauti informaciją apie gamybos būdus, kurie taikomi norint pasiekti šias RV arba išvengti teršalų. Taip pat šiuose ID analizuojamos išteklių bei energinio efektyvumo didinimo galimybės. GPGB ID apima sritis nuo įrenginio projektavimo, statymo, iki naudojamų pagrindinių ir pagalbinių technologijų, valymo įrenginių bei jų aptarnavimo, išlaikant kuo mažesni neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai.

Nagrinėjant nepavojingų atliekų deginimo įrenginių, kurie yra DKDI, veiklą, GPGB yra taikomi siekiant [48]:

- padidinti energijos gamybos efektyvumą (kad sudeginus tokį patį atliekų kiekį būtų pagaminama kuo didesnis energijos kiekis);
- sumažinti oro taršą, deginant skirtingų rūšių kurą.

### **2.1. Energijos gamybos efektyvumo didinimo metodai nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose**

Su GPGB siejami energinio efektyvumo rodikliai išreiškia procentinį santykį tarp DKDI atiduodamos galios ir to paties įrenginio sunaudoto kuro energinės vertės. Tokiems, bendrai šilumą ir elektrą gaminantiems, įrenginiams taikomi EE rodikliai, susiję su GPGB [49]:

- bendras grynasis kuro naudingumas – kai pilna apkrova veikiantis DKDI yra sureguliuotas taip, kad pirmiausia gamintų kuo daugiau šilumos, o elektros energiją generuotų tik iš likusių išteklių;
- bendras elektrinis naudingumas – kai pilna apkrova veikiantis DKDI generuoja tik elektros energiją.

Nepavojingų atliekų (išskyrus nuotekų dumblą) deginimui taikomi EE rodikliai, siejami su GPGB, išreiškiami kaip [18]:

- bendras elektrinis naudingumas – deginimo įrenginio (arba jo dalies), kuriame naudojant kondensacinę turbiną gaunama elektros energija;
- bendras energinis efektyvumas – deginimo įrenginio arba tokio įrenginio dalies, kur:
  - gaminama tik šiluma;
  - gaminama elektros energija, panaudojant priešslėgio turbiną, o iš jos išeinantys garai šildo termofikacinį vandenį.

1 lentelėje nurodyti su GPGB susiję EE rodikliai, kurie taikomi atliekų deginimo įrenginiams.

**1 lentelė.** Su GPGB siejami EE rodikliai (%) [18]

Įrenginys	Kietosios komunalinės ir kitos nepavojingos atliekos	
	Bendras elektrinis naudingumas, %	Bendras energinis efektyvumas, %
Naujas įrenginys	25–30	72–91
Esamas įrenginys	20–30	

Kalbant apie bendrą elektrinį naudingumą, su GPGB siejami EE rodikliai taikomi tik įrenginiams (arba jų dalims), elektros energiją gaminantiems panaudojant kondensacinę turbiną, o norint pasiekti viršutinę rodiklio intervalo ribą, kaip priemonę galima panaudoti aukštos temperatūros ir didelio slėgio garą. Tuo tarpu bendro energinio efektyvumo rodikliai, siejami su GPGB, taikomi tik įrenginiams (arba jų dalims), kuriuose gaminama tik šiluma arba elektros energija, naudojant priešslėgio turbiną, o iš jos išeinantys garai, naudojami išgauti šilumai. Bendro energinio efektyvumo viršutinę EE rodiklio intervalo ribą galima viršyti ir daugiau kaip 100%, jei yra naudojamas dūmtakių dujų kondensatorius [18].

Pagal GPGB išvadas dėl nepavojingų atliekų deginimo [50], kad būtų pasiektas kuo didesnis deginimo įrenginio EE, yra taikomi tokie metodai (arba jų derinys) kaip nuotekų dumblo džiovinimas, dūmtakių dujų srauto sumažinimas, šilumos nuostolių sumažinimas, katilų konstrukcijos optimizavimas, žemos temperatūros dūmtakių dujų šilumokačiai, aukštos temperatūros ir didelio slėgio garas, bendra šilumos ir elektros energijos gamyba, dūmtakių dujų kondensatorius, sausų nuosėdinių pelenų tvarkymas. Išsamesnis EE didinimo metodų aprašymas pateikiamas 2 lentelėje.

**2 lentelė.** Su GPGB nepavojingų atliekų deginimui susiję EE didinimo metodai [50]

Metodas	Apibūdinimas
Nuotekų dumblo džiovinimas	Mechaniškai iš nuotekų dumblo pašalinus vandenį, prieš patiekiant deginimui, jis dar padžiovinamas. Kaip pavyzdys gali būti naudojama žemos temperatūros šiluma. Dumblo sudžiovinimo laipsnis priklauso nuo krosnies tiekimo sistemos.
Dūmtakių dujų srauto sumažinimas	Kaip pavyzdį, norint sumažinti dūmtakių dujų srautą, galima taikyti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- pirminį ir antrinį degimo oro paskirstymą;</li> <li>- dūmtakių dujų recirkuliaciją – kai dalis dūmtakių dujų yra gražinamos į krosnį ir pakeičia dalį šviežio degimo oro. Taip ne tik mažėja temperatūra, bet ir ribojamas N oksidacijai reikalingo O<sub>2</sub> kiekis, ko pasekoje susidaro mažiau NO<sub>x</sub>.</li> </ul> Sumažinus dūmtakių dujų srautą, sumažinamas ir įrenginio ar jo dalių energijos poreikis.
Šilumos nuostolių sumažinimas	Siekiant sumažinti šilumos nuostolius, galima: <ul style="list-style-type: none"> <li>- naudoti katilus, kurių pakura aušinama vandeniu. Taip gaunama galimybė rekuperuoti degimo kameros sienų išskiriamą šilumą;</li> <li>- atlikti šiluminę krosnių ir katilų izoliaciją;</li> <li>- taikyti dūmtakių dujų recirkuliaciją;</li> <li>- rekuperuoti šilumą, kuri išsiskiria vėsinant šlaką ir nuosėdinius pelenus.</li> </ul>
Katilų konstrukcijos optimizavimas	Siekiant pagerinti šilumos perdavimą naujų ar iš esmės modifikuotų esamų įrenginių katiluose, kaip pavyzdį, galima optimizuoti: <ul style="list-style-type: none"> <li>- dūmtakių dujų srauto greitį ir paskirstymą;</li> <li>- vandens/ garo cirkuliaciją, konvekcinių vamzdžių pluoštus;</li> <li>- veikiančio ir išjungto katilo valymo sistemas, kad būtų sumažintas konvekcinių vamzdžių pluoštų užteršimas.</li> </ul>

**2 lentelės tęsinys. Su GPGB nepavojingų atliekų deginimui susiję EE didinimo metodai [50]**

Metodas	Apibūdinimas
Žemos temperatūros dūmtakių dujų šilumokaičiai	Siekiant papildomai rekuperuoti energiją iš dūmtakių dujų, kurios yra išleidžiamos iš katilo, panaudojant elektrostatinį nusodintuvą arba sauso sorbento įpurškimo sistemą. Turi būti naudojami specialūs, atsparūs korozijai, šilumokaičiai.
Aukštos temperatūros ir didelio slėgio garas	Kuo aukštesnės temperatūros ir didesnio slėgio garas, tuo didesnis garo ciklo užtikrinimas elektros energijos konversijos efektyvumui. Esant tokioms sąlygoms naujuose ar iš esmės modernizuotuose esamuose įrenginiuose, kurių veikla labiau orientuota į elektros energijos gamybą, būtina naudoti specialius plieno lydinius arba ugniai atsparią iškloją katilo skyriams apsaugoti, kurie veikiami pačios aukščiausios temperatūros. Tačiau šio metodo taikymo galimybes gali riboti lakiųjų pelenų lipnumas bei dūmtakių dujų koroziskumas.
Bendra šilumos ir elektros energijos gamyba	Metodo esmė, kai šiluma, kuri daugiausia gaunama iš garo (išeinančio iš turbinos), yra naudojama karštam vandeniui ir/arba garui ruošti, vėliau juos panaudojant pramoninėje veikloje arba tiekiant centralizuoto šilumos / vėsumos tinklui.
Dūmtakių dujų kondensatorius	Dūmtakių dujose esantys vandens garai gali būti kondensuojami šilumokaičio arba dujų plautuvo su šilumokaičiu. Taip vandens garuose esanti slaptoji šiluma perduodama gana žemos temperatūros vandeniui, pavyzdžiui grįžtančiam iš centralizuoto šilumos tiekimo tinklo. Energijos kiekį, gaunamą kondensuojant dūmtakių dujas, galima padidinti panaudojant šilumos siurblius. Šis metodas teikia papildomą naudą, padėdamas sumažinti į orą išmetamų teršalų, tokių kaip dulkių ar rūgščiųjų dujų, kiekį.
Sausų nuosėdinių pelenų tvarkymas	Metodas taikomas išimtinai tik ardyninėms krosnims, kuriose sausi ir karšti nuosėdiniai pelenai krenta nuo ardyno ant transportavimo sistemos, o aplinkos oras juos atvėsina. Tokiu būdu, panaudojant aušinimo orą degimui, gaunama energija.

2008 metais Vienoje atlikto tyrimo metu pastebėta, kad KDĮ energinis efektyvumas turi tiesioginę įtaką išmetamam ŠESD kiekiui: padidinus deginimo įrenginio sistemos EE nuo 25% (kai gaminama vien elektros energija) iki 75% (kai bendrai gaminama ir šiluma, ir elektra), ŠESD emisija sumažinama 50% [51]. Taigi, siekiant sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir daug dėmesio skiriant klimato kontrolės aspektams, deginimo įrenginių energinio efektyvumo didinimas tampa labai svarbus. Tyrime analizuoti ne tik atliekas deginančios įrangos EE didinimo, bet ir išmetamų teršalų kiekio mažinimo metodai [51]:

- dujinimas (angl. *gasification*) – tai terminis atliekų apdorojimas, kai dalis jų suskaidoma iki paprastesnių dujinių junginių, tokių kaip anglies monoksidas, metanas ir kiti. Taip atliekos paruošiamos tolimesniam deginimui, sąlygojamas efektyvesnis šilumos ir elektros išgavimas [52]. Ant ardyno patekusios atliekos kaitinamos mažai deguonies turinčioje aplinkoje, todėl jos iškart neužsiliepsnoja ir yra išdžiovinamos, taip jas paruošiant laipsniškam degimo įvedimui. Atliekos tampa homogeniškos, o tai sąlygoja laipsnišką šilumos išsiskyrimą;
- procesų valdymas – taikant efektyvų procesų valdymą, galima kontroliuoti oro kiekį, tiekiamą į skirtingas ardyno zonas (taikant dujinimą) bei degimo kamerą. Gebant kontroliuoti deguonimi praturtinto oro naudojimą deginimui, ženkliai sumažinamas išmetamųjų dujų kiekis. Taip optimizuotai valdant degimo įrangos procesus, sumažinamas pačios įmonės energijos poreikis;
- dujų homogenizavimas – cheminis procesas, priklausantis nuo to, ar yra pakankamai deguonies, bei nuo išsiskyrusių dujų ir degimo oro kontakto. Dujinant susidaro organiniai junginiai, kurie turi būti oksiduojami, siekiant išlaikyti leidžiamas išmetamų teršalų ribas. Šis

būdas ypač pasiteisina, kai deginant susidariusias dujas atsiranda oro perteklius, ko pasekoje padidėja šilumos nuostolis per išmetamąsias dujas ir susidaro didesnis išmetamųjų dujų apdorojimo įrangos poreikis;

- aukštų parametrų garas;
- sausas arba pusiau sausas išmetamųjų dujų valymas – palyginti su šlapiu išmetamųjų dujų valymu, reikalauja mažiau elektros energijos, taigi pastaroji yra panaudojama efektyviau. Šiuolaikiniuose deginimo įrenginiuose yra įrengtos sistemos, kurios surenka išmetamosiose dujose likusią šilumą, ir toliau ją panaudoja deginimo procese arba tiekia centralizuotam šilumos tinklui;
- dūmtakių dujų kondensatorius.

Atliekas deginančių įrenginių EE įtakos turi ne tik anksčiau minėti veiksniai, tačiau ir tinkamas vietos pasirinkimas bei pačio įrenginio techniniai parametrai – įrenginio amžius, naudojamos energijos sistemos, paties įrenginio šilumos ir elektros poreikio bei kt. [51].

## **2.2. Taršos prevencija diegiant taršos integruotos prevencijos ir kontrolės metodus nepavojingas atliekas deginančiuose įrenginiuose**

Dėl didėjančio atliekų kiekio, atliekų tvarkymas tampa vis svarbesnis. Kalbant apie atliekų deginimą, šia veikla užsiimančioms įmonėms taikomos griežtos išmetamų teršalų ribos, kurias apsprendžia galiojantys teisės aktai ir kiti norminiai dokumentai.

Deginant atliekas, kaip ir bet kurio kuro deginimo metu, susidaro oro teršalų: sieros oksidų ( $SO_x$ ), azoto oksidų ( $NO_x$ ), anglies oksidų (CO), druskos rūgšties (HCl), kietųjų dalelių (KD), įskaitant sunkiuosius metalus, vandenilio fluorido (HF), dioksinų, furanų [53]. Tiesa, dauguma šių teršalų pašalinami, naudojant klasikinius „vamzdžio galo“ metodus: neutralizaciją, filtravimą, absorbciją aktyvuota anglimi ir kt. Tačiau CO ir  $NO_x$  vis dar išlieka reikšmingiausi teršalai, susidarantys atliekų deginimo metu, todėl norint sumažinti ir kontroliuoti jų kiekį, kaip vienas iš prevencinių būdų yra optimalus oro pertekliaus santykio palaikymas degimo kameroje [54]. Taip pat mažesniame CO kiekiui išmetamosiose dujose įtakos turi degimo kameros būgno sukimosi laikas ir antrinio degimo oro srautas, kai tuo tarpu  $NO_x$  koncentracijai įtakos turi tik antrinio degimo oro srautas [55].

Kiti, pažangesni „vamzdžio galo“ metodai, mažinantys  $NO_x$  koncentraciją dujose – selektyvioji katalizinė redukcija (SKR) ir selektyvioji nekatalizinė redukcija (SNKR). Naudojant SKR metodą,  $NO_x$  redukcija vykdoma 400–800°C temperatūros diapazone. Naudojamas reduktorius – amoniakas arba karbamidas, tačiau, kad reakcija būtų efektyvi, reikalingas katalizatorius (taurieji metalai, katalizatoriai su netauriųjų metalų oksidais, metalai, kurių jonai pakeisti ceolitu arba kristaliniu silikatu). Naudojant SNKR metodą, reduktorius yra amoniakas, kuris purškiamas tiesiai į išmetamąsias dujas. Optimalus temperatūros diapazonas – 1100–1300°C. Jei temperatūra žemesnė nei apatinė riba, amoniakas surenkamas į garus, tačiau jei viršijama 1300°C riba, reduktorius dega ir susidaro dar daugiau nepageidaujamų  $NO_x$  dujų. Lyginant šių metodų  $NO_x$  išvalymo efektyvumą, SKR siekia 85%, o SNKR – 75%. Nors SKR – efektyvesnė, tačiau SNKR taikoma ženkliai dažniau dėl savo ekonominio ir techninio pranašumo. SKR pritaikymą atliekų deginimo įmonėse apriboja katalizatorių poreikis, dėl ko išauga kaštai, didinama korozijos tikimybė, galimas apsinuodijimas išmetamosiomis dujomis, be to jie veikia ribotą laiką. Taip pat SKR metodas sunkiai pritaikomas, jei generuojami dideli išmetamųjų dujų kiekiai [56].

Didelė pažanga išmetamųjų dujų valymo technologijoje ženkliai sumažino išmetamųjų teršalų kiekį į orą. Remiantis GPGB atliekų deginimui, siekiant sumažinti į aplinkos orą išmetamų oro teršalų ( $\text{NO}_x$ , CO ir  $\text{NH}_3$ ) ir ŠESD ( $\text{N}_2\text{O}$ ) kiekį, taikomi prevenciniai metodai ir/ arba jų deriniai su pažangiais valymo metodais, pvz. SNKR arba SKR (žr. 3 lentelę).

**3 lentelė.** Deginant atliekas į orą išmetamų  $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CO ir  $\text{NH}_3$  kiekių mažinimo metodai [18]

Metodas	Apibūdinimas
Deginimo proceso optimizavimas	Atliekų tiekimo greičio ir sudėties, temperatūros, srauto, pirminio ir antrinio degimo oro įpurškimo vietų optimizavimas, siekiant veiksmingai oksiduoti organinius junginius ir reikšmingai sumažinti $\text{NO}_x$ susidarymą. Taip pat krosnies veikimo ir konstrukcijos optimizavimas.
Dūmtakių dujų recirkuliacija	Dalis dūmtakių dujų gražinama į krosnį ir taip pakeičia dalį šviežio degimo oro. Taip sumažinama temperatūra ir ribojamas azoto oksidacijai reikalingo $\text{O}_2$ kiekis, ko pasekoje susidaro mažiau $\text{NO}_x$ .
SNKR	Selektyvioji azoto oksidų redukcija naudojant amoniaką arba karbamidą, aukštoje temperatūroje, nenaudojant katalizatoriaus. Šios sistemos veiksmingumą galima padidinti valdant reagento įpurškimą per vamzdelius akustine arba infraraudonųjų spindulių temperatūros matavimo sistema. Taip reagentas visada būtų įpurškiamas optimalios temperatūros zonoje.
SKR	Selektyvioji azoto oksidų redukcija amoniaku arba karbamiu, veikiant katalizatoriui. $\text{NO}_x$ redukuojamas į azotą reakcijai vykstant su amoniaku katalizatoriaus sluoksnyje, esant 200–450°C temperatūrai, kai yra daug dulkių, ir 170–250°C temperatūroje galutiniu etapu. Amoniakas dažniausiai išpurškiamas vandeninio tirpalo pavidale. Efektyviau $\text{NO}_x$ redukuojamas naudojant didesnę vieno arba daugiau sluoksnių katalizatoriaus paviršių.
Katalizinis rankovinis filtras	Rankoviniai filtrai arba impregnuojami katalizatoriumi, arba katalizatorius tiesiogiai maišomas su organine medžiaga gaminant filtro pluoštą. Kartu naudojant $\text{NH}_3$ šaltinį, naudojami išmetamų $\text{NO}_x$ kiekiui sumažinti.
SNKR/ SKR proceso ir vykdymo optimizavimas	Reagento ir $\text{NO}_x$ santykio krosnies ar dūmtakio skerspjūvyje, reagento lašų dydžio ir reagento įpurškimo temperatūros intervalo optimizavimas.
Drėgnas dujų plautuvas	Rūgščiosioms dujoms, kitiems tirpiems junginiams ir kietosioms medžiagoms iš dūmtakių dujų pašalinti taikant absorbciją, panaudojant skystį, dažniausiai vandenį arba vandeninį tirpalą ar suspensijas.

Į orą išmetamų teršalų koncentracijos, priklausomai nuo įrenginio tipo ir emisijų valymo sistemos, pateikiamos 4 lentelėje. Analizuojant siektiną  $\text{NO}_x$  koncentraciją esamiems įrenginiams, viršutinė su GPGB siejamo intervalo riba, jei netaikoma SKR, yra 180 mg/ Nm<sup>3</sup>. Taip pat analizuojant  $\text{NH}_3$  siektiną koncentraciją esamiems DKDI, kuriuose įrengta SNKR sistema ir netaikomi šlapieji valymo metodai, viršutinė su GPGB siejamo intervalo riba yra 15 mg/ Nm<sup>3</sup>. Tiek naujiems, tiek esamiems įrenginiams, pritaikant SKR metodą, gali būti pasiekta apatinė su GPGB siejama išmetamų teršalų ( $\text{NO}_x$  ir  $\text{NH}_3$ ) vertė. Tačiau, jei deginamos atliekos, kurios turi daug azoto, apatinių išmetamų teršalų kiekio intervalo ribų gali ir nepavykti pasiekti [50].

Azoto oksidų emisijos priklauso ne tik nuo naudojamos  $\text{NO}_x$  valymo sistemos, tačiau ir nuo atliekų deginimo temperatūros, kuri turi įtakos tiek SKR, tiek SNKR sistemoms [56].

**4 lentelė.** Į orą išmetamų teršalų siektinos koncentracijos (mg/ Nm<sup>3</sup>), deginant atliekas [18]

Parametras	Naujas įrenginys	Esamas įrenginys	Vidurkinimo laikotarpis
NO <sub>x</sub>	50–120	50–150 (180) <sup>2</sup>	Paros vidurkis
CO	10–50	10–50	
NH <sub>3</sub>	2–10	2–10 (15) <sup>3</sup>	

### 2.3. Pramoninės simbiozės galimybės šiluminės energijos gamyboje

Pramoninė simbiozė (PS) teikia tiek ekonominę, tiek aplinkosauginę naudą įvairioms, į grupes susitelkusioms, pramonės bendruomenėms [57, 58] Atlikti tyrimai rodo, kad lyginant su įprastu verslu, PS ne tik padeda sumažinti kietųjų atliekų kiekį, bet ir prisideda prie bendro energijos taupymo. Taip pat fiksuotas ir CO<sub>2</sub> bei kitų oro teršalų (SO<sub>2</sub> ir NO<sub>x</sub>) išmetimo sumažėjimas [59].

Norint užtikrinti aukštą šilumos poreikį visus metus ir taip išlaikyti deginimo įrenginių EE rodiklius, labai svarbu pritraukti pramonės vartotojus, kuriems reikalingas didelis garo kiekis vykdomų procesų sąnaudoms nepriklausomai nuo sezono ar oro sąlygų. Vidurio Europoje atliekas deginantys įrenginiai dažniausiai telkiami pramoniniuose kompleksuose, kad būtų paprasčiau patenkinti poreikius tokių pramoninių gamyklų kaip popieriaus, celiuliozės, medienos plaušų plokščių ir kt. [51].

Pelenai, susidarantys katilų pakurose, gali būti naudojami energetinėms reikmėms skirtų augalų tręšimui [60]. Tačiau tokie pelenai turi atitikti reikalavimus, pateiktus LR aplinkos ministro įsakyme „Dėl medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“ [61], kuriame pateiktos didžiausios leistinos koncentracijos (DLK) sunkiųjų metalų (V, Ni, Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, As, Hg) (mg/kg SM) ir benz(a)pireno (µg/kg SM), kurie gali būti pelenuose, norint juos naudoti tręšimui miškų ūkyje arba pažeistų teritorijų atstatymui.

<sup>2</sup> Kai netaikoma SKR.

<sup>3</sup> Kai taikoma SNKR ir netaikoma šlapieji valymo metodai.

### 3. Tyrimo metodika

Tyrimo etapai bei juose taikomi moksliniai metodai ir metodikos pateikti 5 lentelėje žemiau. Kiekvieno etapo uždavinys iš esmės sutampa su darbo uždaviniu.

**5 lentelė.** Baigiamojo magistro darbo uždaviniai, tyrimo etapai, naudojami metodai

Taikomi moksliniai metodai, metodikos, programinė įranga	Tyrimo etapai/ uždaviniai
<b><i>Uždavinys – nustatyti darbo aktualumą, pagrindinius taikomus aplinkosaugos teisinius reikalavimus ir plačiausiai naudojamas nepavojingų atliekų deginimo technologijas</i></b>	
Statistinių duomenų analizė	1.1 Nepavojingų atliekų deginimo situacijos analizė Lietuvos ir ES mastu.
Teisinių aktų analizė	1.2 Pagrindinių nepavojingų atliekų deginimo įmonėms taikomų aplinkosaugos teisinių aktų apžvalga
Mokslinės ir praktinės literatūros analizė	1.3 ES plačiausiai naudojamų nepavojingų atliekų degimo technologijų analizė
	1.4 Poveikio aplinkai deginant nepavojingas atliekas įvertinimas
<b><i>Uždavinys – nustatyti darnios pramonės plėtros metodus, taikomus energijos gamybos objektams</i></b>	
Mokslinės ir praktinės literatūros analizė	2.1 EE didinimo ir poveikio aplinkai mažinimo galimybių įvertinimas
	2.2 Pramoninės simbiozės taikymo galimybių šiluminės energijos gamyboje įvertinimas
<b><i>Uždavinys – analizei parinktam objektui įvertinti esamą aplinkosauginį veiksmingumą ir nustatyti esamų aplinkosaugos problemų atsiradimo priežastis</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atvejo tyrimo metodas;</li> <li>- Švaresnės gamybos (ŠG) diegimo pramonės įmonėse metodikos elementai: <ul style="list-style-type: none"> <li>- medžiagų ir energijos srautų analizė (įmonės lygmenyje);</li> <li>- medžiagų ir energijos balanso sudarymas (įmonės lygmenyje);</li> <li>- kuro ir energijos balanso sudarymas (įmonės lygmenyje);</li> </ul> </li> <li>- „TOPi“ informacinė proceso sistema;</li> <li>- Išmetamų oro teršalų monitoringo sistema „GASMET CEMS II“;</li> <li>- Įrankis „Electricity Map“ CO<sub>2eq</sub> vertinimui;</li> <li>- AAV vertinimas, naudojant AAI;S;</li> <li>- Lyginamoji analizė</li> </ul>	3.1 Esamo aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas
	3.2. Aplinkosaugos problemų ir priežasčių identifikavimas
	3.3 Jėgainės darbo efektyvumo ir gamybos nuostolių įvertinimas
<b><i>Uždavinys – pasiūlyti energinio efektyvumo didinimo bei poveikio aplinkai mažinimo alternatyvas; atlikti atrinktų alternatyvų įvykdomumo analizę ir įvertinti planuojamą aplinkosauginį veiksmingumą</i></b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ŠG įvykdomumo analizė: techninis aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas;</li> <li>- Pramoninė simbiozė;</li> <li>- AAV vertinimas, naudojant AAI;S;</li> <li>- Įrankis „Electricity Map“ CO<sub>2eq</sub> vertinimui;</li> <li>- Aplinkos sistemų teorija.</li> </ul>	4.1 EE didinimo ir poveikio aplinkai mažinimo galimybių pasiūlymas
	4.2 Atrinktų alternatyvų įvykdomumo analizė
	4.3 Atrinktų alternatyvų AAV ir sutaupomų lėšų įvertinimas
	4.4 Atrinktų inovacijų atsipirkimo trukmės įvertinimas
	4.5 Aplinkos valdymo sistemos pritaikymas oro teršalų valdymui



**5 lentelės tęsinys.** Baigiamojo magistro darbo uždaviniai, tyrimo etapai, naudojami metodai

Taikomi moksliniai metodai, metodikos, programinė įranga	Tyrimo etapai/ uždaviniai
<i>Uždavinys – pateikti rekomendacijas nepavojingas atliekas deginantiesiems įrenginiams dėl energijos gamybos efektyvumo didinimo ir neigiamo poveikio aplinkai mažinimo</i>	
- Lyginamoji analizė; - Rezultatų apibendrinimas.	5.1 Rekomendacijų pateikimas nepavojingas atliekas deginantiesiems įrenginiams dėl energijos gamybos efektyvumo didinimo ir poveikio aplinkai mažinimo

Siekiant įvertinti ŠG galimybes pasirinktame objekte, buvo naudojama tarptautinė ŠG diegimo pramonės įmonėse metodika. Jungtinių Tautų Aplinkos apsaugos programa Švaresnę gamybą apibūdina kaip prevencinę ir integruotą aplinkos apsaugos vadybos strategiją, kuri turi būti nuolat taikoma gamybiniais procesams bei produktams per visą jų egzistavimo ciklą, siekiant sumažinti poveikį žmonėms ir aplinkai. Švaresnės gamybos koncepcijos taikymas – sisteminis aplinkos apsaugos problemų sprendimo būdas, kurio pagrindinis tikslas yra atliekų, teršalų prevencija bei neefektyvaus energijos resursų ir išteklių sąnaudų mažinimas ekonomiškai pagrįstais prevenciniais metodais [48, 53].

Tyrimui pasirinktas atvejo tyrimo metodas. Atvejo analizės būdu buvo analizuota UAB „Fortum Klaipėda“ termofikacinė jėgainė (FKTE).

Tyrimo laikotarpis: 2017–2018 metai.

Tiriami atvejai:

1. Esamos situacijos analizė (2017–2018 m.) FKTE: procesų įvertinimas, medžiagų ir energijos srautų analizė, medžiagų ir energijos bei kuro ir energijos balansų sudarymas, aplinkosaugos problemų identifikavimas, konkretaus proceso ir/arba įrenginio parinkimas tolimesniam įvertinimui, aplinkosaugos problemos priežasčių nustatymas, esamų santykinų aplinkos apsaugos indikatorių (AAI<sub>s</sub>) įvertinimas.

2. Planuojamos ir faktinės situacijų analizė FKTE: medžiagų ir energijos bei kuro ir energijos balansų sudarymas po siūlytos (-ų) inovacijos (-ų) įdiegimo; planuojamų ir faktinių santykinų aplinkos apsaugos indikatorių (AAI<sub>s</sub>) ir aplinkosauginio veiksmingumo (AAV) įvertinimas.

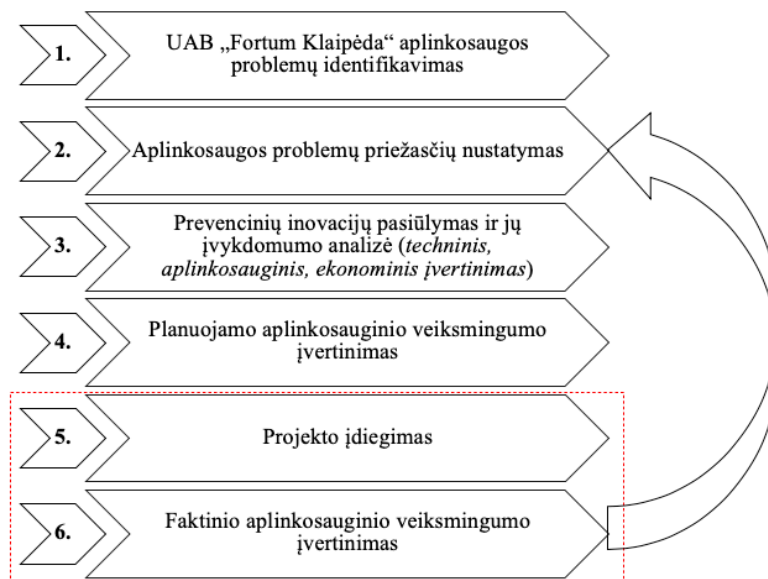
Įvertinant esamą situaciją įmonėje, atliktas stebėjimas – tai metodas, kai tikslingai stebimi įmonės veiklos procesai, o gauti rezultatai sistemaiškai fiksuojami [62]. Esamos situacijos analizė buvo atlikta 2 kartus, 2018 m. ir 2019 m. pravedant aplinkosauginius auditus, kurių metų buvo išanalizuota įmonės dokumentacija bei informacinės procesų sistemos *TOPi* duomenys atitinkami už 2017 m. ir 2018 m.

Pagal TIPK taisyklių 1 priedo 1.1, 5.2.1 punktus [17], FKTE yra TIPK įrenginys. Todėl pirmiausia analizuojami sekantys FKTE dokumentai:

- UAB „Fortum Klaipėda“ TIPK leidimas Nr. T-KL.1-3/2014 [10];
- 2016 m. paraiška UAB „Fortum Klaipėda“ TIPK leidimo Nr. T-KL.1-3/2014 pakeitimui [63].

Siekiant sudaryti faktinį kuro (atliekų) – energijos balansą bei įvertinti neproduktyviai sudegintų atliekų kiekį arba įvertinti gamybos nuostolius, analizuoti atliekų apskaitos dokumentai apie 2017–2018 metų FKTE sutvarkytą atliekų kiekį.

Esminiai atvejo analizės etapai, kuriuose taikyti veiksmai laikomi kaip pagrindiniai diegiant sėkmingas inovacijas, pateikiami 5 paveiksle. Pastebėtina, kad pagrindiniai tyrimo etapai sutampa su Prevencinių inovacijų diegimo energetikos objektuose metodikos pagrindiniais etapais [53].



5 pav. FKTE atvejo analizės etapai

### 1. FKTE aplinkosaugos problemų identifikavimas

Identifikuojant aplinkosaugos problemas FKTE, be 5 lentelėje pateiktų mokslinių metodų, buvo atlikta ir lyginamoji analizė – išmetamų teršalų koncentracijų palyginimas su didžiausiomis leistinomis koncentracijomis (DLK), kurios nustatytos:

- aplinkosaugos teisės aktuose;
- informaciniuose dokumentuose apie GPGB DKDĮ [20], GPGB atliekų tvarkymui [19] ir GPGB atliekų deginimui [18];
- specialiuosiuose reikalavimuose DKDĮ [16].

Energijos gamybos įrenginyje kuro ir energijos balansas nustatomas pagal formulę [53]:

$$B \times Q_z = Q + N; \quad (1)$$

čia  $B$  – per analizuojamąjį laikotarpį sudeginto kuro kiekis, t arba 1000  $\text{nm}^3$ ;  
 $Q_z$  – kuro žemutinė šilumingumo vertė ( $\text{MWh}/\text{t}$  arba  $\text{MWh}/1000 \text{ m}^3$ ) [64];  
 $Q$  – per ataskaitinį laikotarpį pagamintas kuro kiekis (šiluminės arba elektros energijos apskaitos prietaisų rodmenys);  
 $N$  – tai skirtumas tarp sunaudoto kuro energinės vertės ir KDĮ pagamintos energijos apskaitos prietaiso rodmenų:  $N = Q_k - Q$ .

Sudeginto kuro energinė vertė ( $Q_k$ ) nustatoma pagal formulę 2:

$$Q_k = B \times Q_z / 3,6; \quad (2)$$

Norint pagamini tam tikrą kiekį šiluminės energijos, sunaudoto kuro kiekis darbe apskaičiuojamas pagal formulę [53]:

$$B = Q \times 3,6 / (Q_z \times \eta); \quad (3)$$

čia  $\eta$  – KDĮ naudingumo koeficientas (n. k.) (100 proc. = 1).

Energinis jėgainės efektyvumas buvo įvertintas kaip pagamintos produkcijos (pagamintos šilumos ir elektros energijos) kiekio santykis su sudeginto kuro energine verte [18].

## 2. Aplinkosaugos problemų priežasčių nustatymas FKTE

Pradiniame aplinkos apsaugos įvertinimo etape pasiekti rezultatai:

- nustatytos pagrindinės FKTE aplinkosaugos problemos;
- atrinkti procesai tolimesniam detaliau įvertinimui.

Siekiant įvertinti nustatytų aplinkosauginių problemų susidarymo priežastis, buvo sudaryti medžiagų ir energijos srautų diagramos ir balansai procesų, atrinktų tolimesniam tyrimui, lygmenyje. Tam tikslui buvo naudojami absoliutiniai AAI.

Tokios aplinkosaugos problemos kaip energijos tiekimo nuostoliai, didelė teršalų koncentracija ore bei didelis ŠESD išsiskyrimas, energiją gaminančiuose objektuose dažniausiai atsiranda dėl šių priežasčių [53]:

- pasenusi gamybos technologija;
- žemas KDĮ n. k.;
- didelė išmetamų dūmų temperatūra;
- nevisiškas cheminis ar mechaninis kuro sudegimas;
- iškastinio kuro naudojimas;
- nedujofikuotas įrenginys;
- nuosėdiniai ir lakieji pelenai sauso dugno katiluose;
- šlakas ir lakieji pelenai šlapio dugno katiluose;
- laidumas ir spinduliuotė;
- seni vamzdynai;
- izoliacijos nebuvimas;
- ir kt.;

## 3. Prevencinių inovacijų pasiūlymas FKTE ir jų įvykdomumo analizei

Pasiūlymams generuoti pasitelkti ŠG koncepcijos pagrindiniai taršos prevencijos ir atliekų mažinimo metodai [48, 53]. Šiame darbe daugiau dėmesio skiriama procesų optimizavimo, technologijos pagerinimo bei pakeitimo metodams.

Pritaikant Švaresnės gamybos diegimo metodiką, atlikta inovacijų įgyvendinimo analizė pasirinktoms alternatyvoms:

- techninis įvertinimas – analizuotas techninis inovacijos įvykdomumas, sudarytas DKDĮ medžiagų ir energijos bei kuro ir energijos balansas situacijai, susidariusiai po įdiegimo;

- aplinkosauginis įvertinimas – pastarajam atlikti naudota lyginamoji analizė: palyginami absoliutiniai AAI prieš įdiegiant projektą ir po jo įdiegimo, nustatomas planuojamas aplinkosaugos efektas (W) arba aplinkosauginis veiksmingumas (AAV):

$$W = AAI_{iki} - AAI_{po}; \quad (4)$$

čia  $AAI_{iki}$  – AAI iki projekto įdiegimo, vnt./ m., pavyzdžiui, kuro sąnaudos tonomis per metus;  
 $AAI_{po}$  – AAI po projekto įdiegimo, vnt./ m.

- ekonominis įvertinimas – pritaikant lyginamosios analizės metodą, lyginami tiesioginiai procesų kaštai prieš ir po projekto įdiegimo, skaičiuojamos sutaupomos lėšos (S):

$$S = K_{iki} - K_{po}; \quad (5)$$

čia  $K_{iki}$  – procesų tiesioginiai kaštai iki projekto įdiegimo, EUR/ m.;  
 $K_{po}$  – procesų tiesioginiai kaštai po projekto įdiegimo, EUR/ m.

Siekiant apskaičiuoti projekto atsipirkimo trukmę (AT), įvertinami tokie pinigų srautai, kaip investicijos, metiniai sutaupymai bei papildomai skirtos lėšos. Kai inovacija atsiperka per 3 metus ar greičiau, ji laikoma ŠG projektu. Projekto atsipirkimo trukmė apskaičiuojama [53, 63]:

$$AT = I / S = I / \sum(AAI_{iki} - AAI_{po}); \quad (6)$$

čia  $I$  – projekto (inovacijos) įdiegimo investicijos, EUR;  
 $S$  – lėšos, kurios sutaupomos įdiegus projektą, EUR/ m.

Atliekant ŠG įvykdomumo analizę, dažniausiai vertinami absoliutiniai aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI), kurie parodo, kiek bus sutaupoma vienetais arba EUR per metus, įdiegus ŠG inovaciją [53].

#### 4. FKTE planuojamo aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas po atrinktos (-ų) inovacijos (-ų) įdiegimo

Atliekant aplinkos apsaugos inovacijų planavimą, būtina įvertinti AAI<sub>s</sub>, kurie parodo pokyčius po inovacijos įdiegimo ir apibrėžia aplinkosauginio veiksmingumo (AAV) rodiklį, nepriklausomai nuo gamybos apimčių pokyčių [66].

Santykinių aplinkos apsaugos indikatorių (AAI<sub>s</sub>) įvertinimas [53]:

$$AAI_{s(t-1)} = X_{(t-1)} / G_{(t-1)} \quad (7)$$

čia  $AAI_{s(t-1)}$  – santykinis AAI prieš inovacijos įdiegimą per laikotarpį  $t$ , pvz.: energijos vienetai pagaminti sunaudojamo kuro kiekis (tūkst. Nm<sup>3</sup>/ MWh);

$t-1$  – ankstesnis ciklas;

$X_{(t-1)}$  – išmatuota arba apskaičiuota sąnaudų reikšmė per fiksuotą  $t$  laikotarpį;

$G_{(t-1)}$  – produkcijos kiekis, pagamintas per fiksuotą  $t$  laikotarpį prieš inovacijos įdiegimą.

$$AAI_s = X_t / G_t \quad (8)$$

čia  $AAI_s$  – AAI po inovacijos įdiegimo per fiksuotą  $t$  laikotarpį.

Planuojamas AAV apskaičiuojamas, palyginant AAI<sub>s</sub> prieš ir po projekto įdiegimo [53]:

$$AAV_{planas} = AAI_{s_{iki}} - AAI_{s_{po}}; \quad (9)$$

čia  $AAI_{s_{iki}}$  – santykinis AAI iki projekto įdiegimo, pvz.: energijos vienetui pagaminti sunaudojamo kuro kiekis (tūkst. Nm<sup>3</sup>/ MWh);

$AAI_{s_{po}}$  – planuojamas santykinis AAI po projekto įdiegimo.

### 5. Atrinktos (-ų) inovacijos (-ų) įdiegimas ir faktinio aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Įvykdomumo analizės metu atrinkta(-os) alternatyva(-os) diegiamos pagal FKTE galiojančias tvarkas ir procedūras.

Faktinio AAV įvertinimui pritaikomas lyginamosios analizės metodas. Pamatotos oro teršalų koncentracijos palygintos su nurodytomis TIPK leidime (pastarosios parinktos iš GPGB ID).

Sudaromas medžiagų ir energijos balansas situacijai po inovacijos įdiegimo ir nustatomi absoliutiniai ir santykiniai AAI gauti:

$$AAV_{faktas} = AAI_{s_{iki}} - AAI_{s_{po\ faktas}}; \quad (10)$$

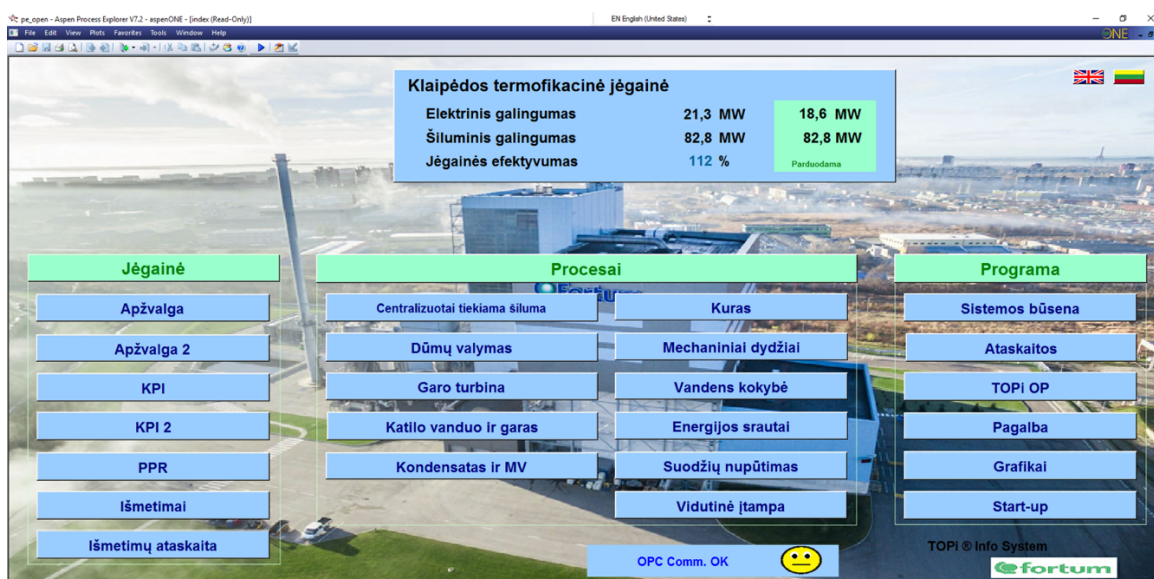
čia  $AAI_{s_{iki}}$  – santykinis AAI iki projekto įdiegimo, pvz.: energijos vienetui pagaminti sunaudojamo kuro kiekis (tūkst. Nm<sup>3</sup>/ MWh);

$AAI_{s_{po\ faktas}}$  – faktinis santykinis AAI po projekto įdiegimo.

Duomenys, reikalingi tyrimui, buvo surinkti naudojantis jėgainėje naudojama informacine procesų sistema *TOPi*.

#### Informacinė duomenų saugojimo ir atvaizdavimo sistema

Duomenys, reikalingi atlikti aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimą buvo surinkti, naudojant įmonėje įdiegta *TOPi* informacine proceso sistema, kuri veikia *AspenTech* programinės įrangos pagrindu. Įmonėje naudojamos programinės įrangos *Aspen Process Explorer 7.2* darbo langas pavaizduotas 6 paveiksle.



6 pav. FKTE naudojama *TOPi* informacinė proceso sistema

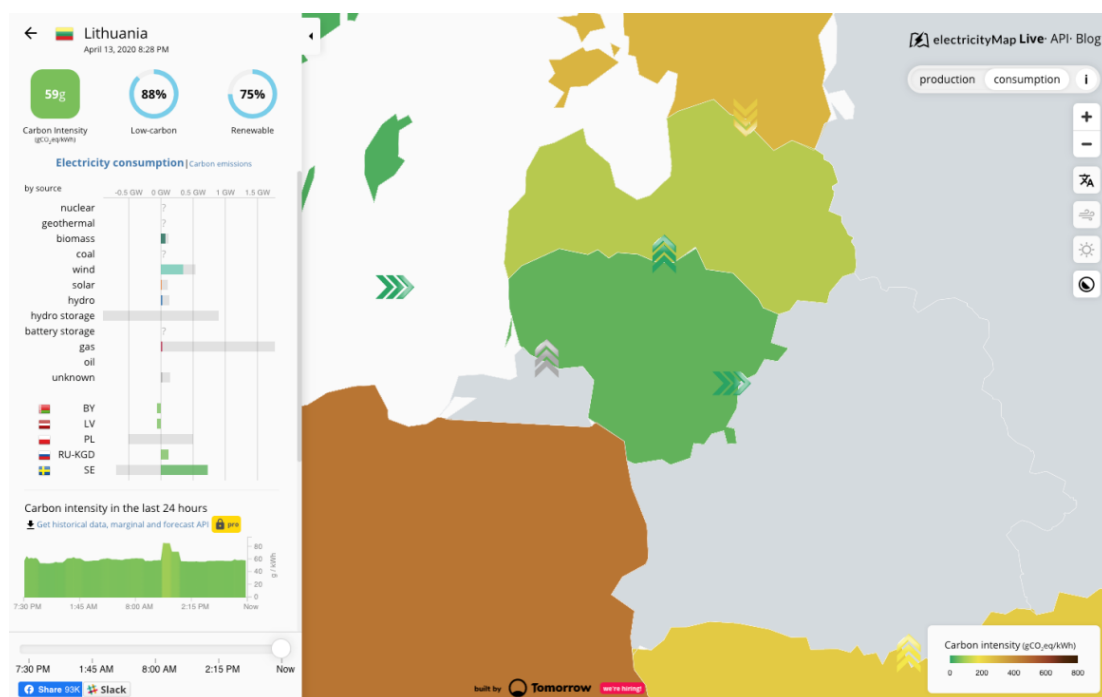
Darbiniam programos lange galima matyti pagrindinius jėgainės procesų parametrus, tokius kaip: elektrinis ir šiluminis galingumai, jėgainės efektyvumas, parduodamos energijos kiekiai ir kt. Informacinėje sistemoje yra saugoma kiekvieno proceso informacija nuo jėgainės eksploatavimo pradžios (žr. 6 pav.). Žinant matavimo prietaiso identifikacinį numerį, galima gauti jo matavimo rezultatus pasirinktam periodui.

### Aplinkos oro teršalų skaičiavimas

Metinis išmetamas teršalų kiekis apskaičiuojamas remiantis įmonėje naudojamos kompleksinės, automatizuotos išmetamų oro teršalų monitoringo sistemos „GASMET CEMS II“ rodmenimis. Sistema atitinka EN14181:2004 keliamus reikalavimus ir apima išmetamų teršalų matavimo duomenų įrašymo ir pateikimo sistemas. „GASMET CEMS II“ atitinka GPGB ID numatytus emisijų monitoringo reikalavimus [10].

### Netiesioginės ŠESD emisijos įvertinimas

Netiesioginės CO<sub>2</sub> emisijos vertinamos naudojantis bendru prancūzų ir danų startuolio sukurtu internetiniu įrankiu „Electricity Map“ [67]. Tai yra atviro kodo projektas, kuriame pateikiama informacija apie pagaminamos ir sunaudojamos elektros energijos kiekius kiekvienoje šalyje, elektros energijos gamybos apimtį, gamybos būdą ir kt. Taip pat pateikiama informacija apie kiekvienoje šalyje išmetamą emisiją, pagaminant arba sunaudojant 1 kWh elektros energijos. Emisija yra pateikiama ŠESD – anglies dioksido ekvivalentu vienai elektros energijos kilovatvalandei (CO<sub>2eq</sub>/1 kWh). Emisija apskaičiuojama remiantis IPCC (2014 m.) pateikta metodika, visame energijos būvio cikle. 7 paveiksle vaizduojama elektros energijos šaltinio pagal gamybos būdą pasiskirstymas bei CO<sub>2eq</sub> intensyvumas.



7 pav. CO<sub>2eq</sub> emisijų atvaizdavimo įrankis [67]

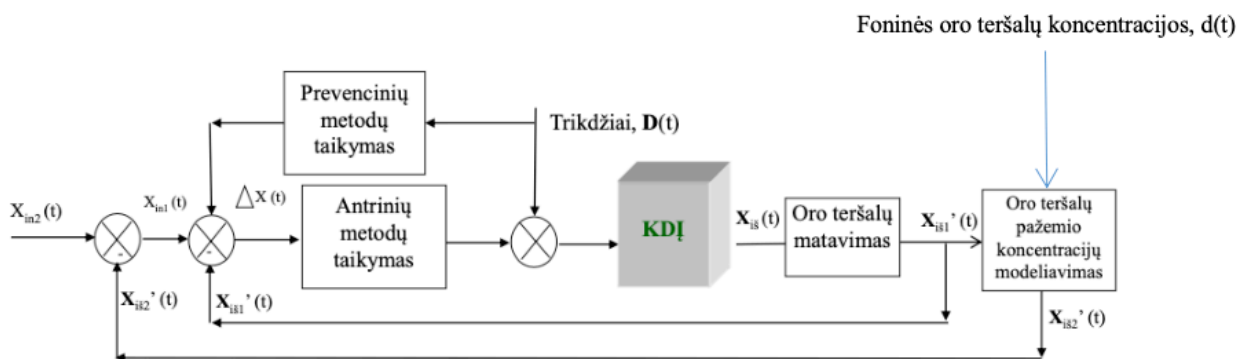
Naudojantis įrankiu „Electricity Map“ galima gauti informaciją ne tik apie realiu metu gaminamą ir naudojamą elektros energiją, tačiau ir apie norimą praeities laikotarpį. Šiame darbe buvo naudojamas vidutiniai 2017–2018 m. elektros energijos gamybos metu išmetami CO<sub>2eq</sub> kiekiai.

### Aplinkos sistemų teorijos taikymas

Procesų valdymas ir optimizavimas yra prevencinės priemonės, kurios plačiai taikomos diegiant ŠG koncepciją įmonėse [65].

Aplinkos sistemų teorijoje kiekvienas valdomas technologinis procesas apibudinamas įėjimo ir išėjimo elementais: medžiaga, energija, informacija.

Siekiant mažinti FKTE poveikį aplinkos orui, darbe parinkta kaskadinė aplinkos valdymo sistema su 2 grįžtamaisiais ryšiais ir trikdžio kompensavimu pateikta 8 paveiksle.



**8 pav.** Kaskadinė aplinkos oro valdymo sistema KDI [65]

Valdomi parametrai –  $X_{is}$  – oro teršalų koncentracijos,  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ :

- $X_{is1}$  – iš stacionaraus oro taršos šaltinių išmetamų teršalų išmatuotos koncentracijos, (FKTE atveju – naudojant oro teršalų monitoringo sistemą „GASMET CEMS II“), ppm;
- $X_{is1}'$  – perskaičiuotos koncentracijos į  $\text{mg}/\text{m}^3$  ir į  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ;
- $X_{is2}'$  – išlakų kiekis aplinkos ore su fonu (oro teršalų pažemio koncentracijų modeliavimo rezultatas),  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Atliekant PŪV PAV procedūras,  $X_{is2}'$  randamas modeliavimo būdu, vertinant aplinkos oro užterštumo prognozę. Parametrų apribojimo arba valdymo tikslai:

- pagrindinis valdymo tikslas  $X_{in1}$  – didžiausios leistinos koncentracijos (DLK), pagal reikalavimus, taikomus sistemos objektui (siektinos reikšmės pagal GPGB ID),  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ;
- tikslai  $X_{in2}$  – teršalų ribinė vertė (RV) aplinkos ore pagal Lietuvos Respublikoje galiojančios teisės aktus [13, 16].

**D (t)** – galimi trikdžiai, dėl kurių gali atsirasti nukrypimai nuo nustatytų tikslų  $X_{in1}$  ir  $X_{in2}$ .

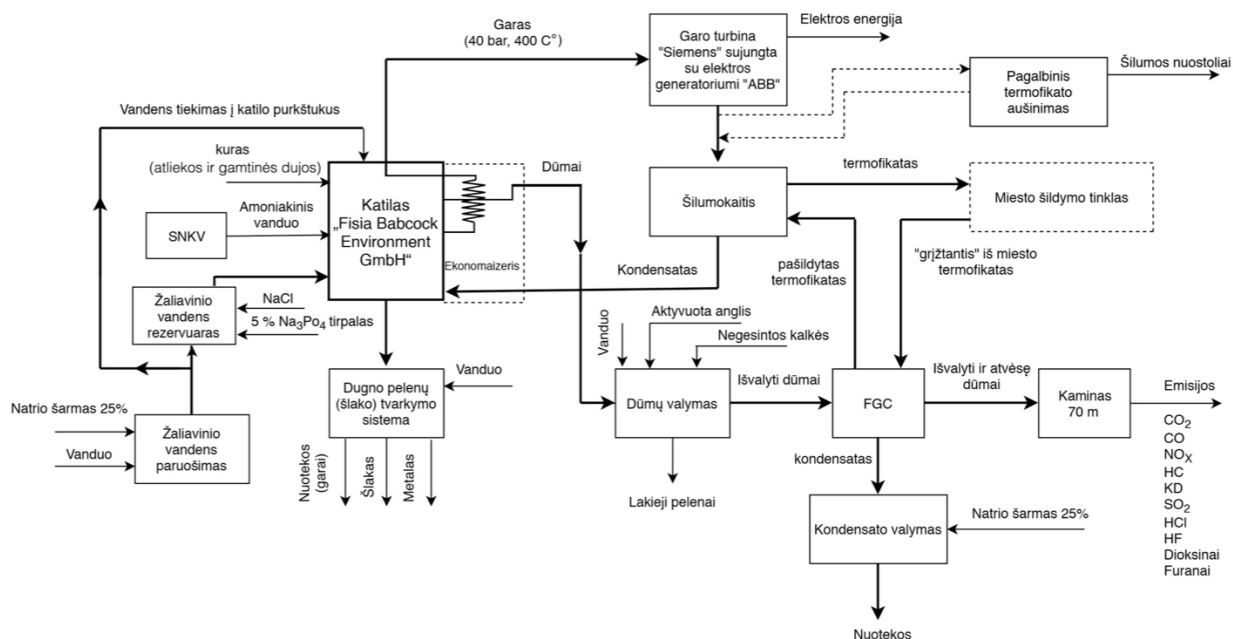
#### 4. Darnios pramonės plėtros metodų taikymas FKTE

Detalesnei rūšiuotų komunalinių ir pramoninių nepavojingų atliekų deginimo objekto analizei buvo pasirinkta Klaipėdoje veikianti, atliekas, kaip kurą, naudojanti kogeneracinė jėgainė UAB „Fortum Klaipėda“ (FKTE).

FKTE projektinis pajėgumas – 140 GWh elektros energijos ir 400 GWh šiluminės energijos [10].

##### 4.1. UAB „Fortum Klaipėda“ aplinkosaugos problemų ir priežasčių identifikavimas

FKTE medžiagų ir energijos gamybos srautų diagrama pateikta 9 paveiksle.



9 pav. FKTE medžiagų ir energijos srautų diagrama

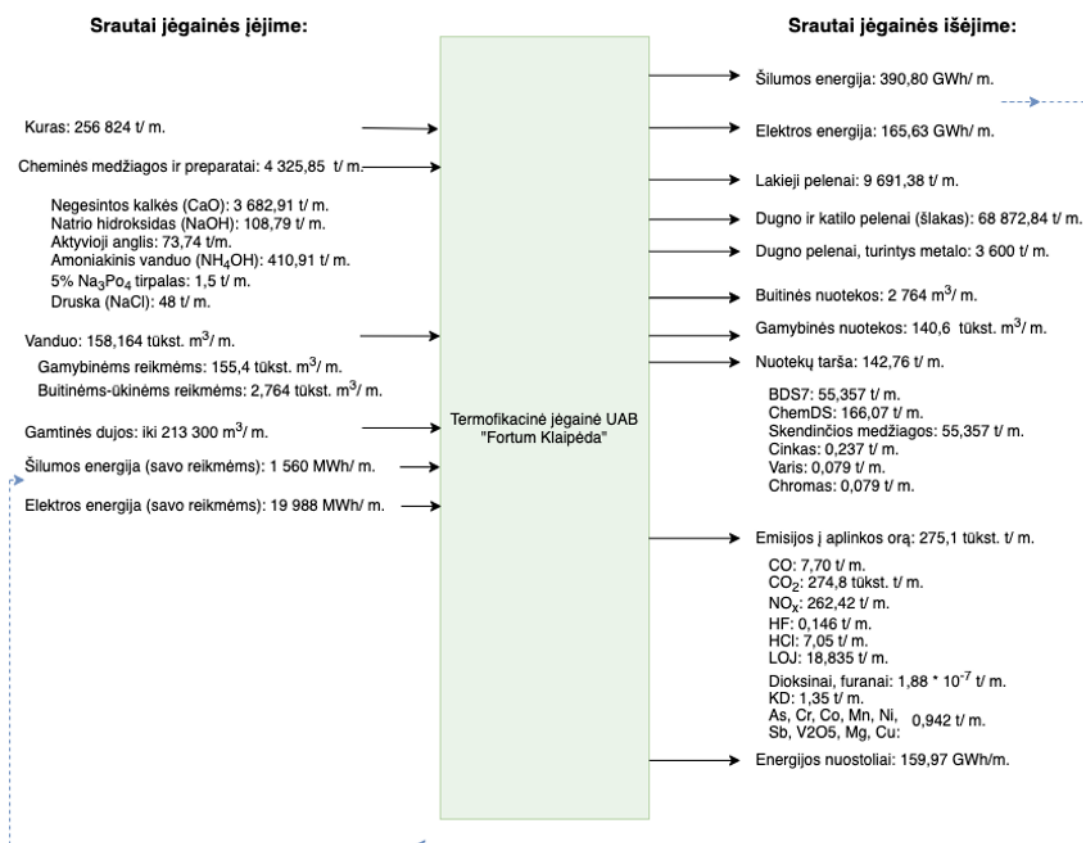
Jėgainėje yra sumontuotas įmonės „Fisia Babcock Environment GmbH“ katilas su ardynine pakura, kuriame yra deginamos rūšiuotos, energinę vertę turinčios atliekos. Jėgainės stabdymo ir paleidimo metu yra naudojamos gamtinės dujos, kurios deginamos per katile sumontuotus degiklius. Dujos deginamos todėl, kad visos jėgainės sistemos, tarp kurių yra ir dūmų valymas, turi pasiekti savo darbinę temperatūrą tam, kad dūmų valymo sistema veiktų maksimaliai efektyviai ir jėgainės paleidimo ir stabdymo metu į aplinką nebūtų išmetamos didesnės teršalų koncentracijos, nei leidžiama [63].

Vanduo, grįždamas iš termofikato sistemos yra pašildomas katile įrengtame ekonomizaizeryje – taip padidinamas katilo efektyvumas. Degant atliekoms išsiskyrusi šiluma užvirina vandenį, kuris virsta garu. Garas yra tiekiamas į perkaitintuvus, kurie įrengti katile, tačiau paveiksle nepažymėti. Taip yra gaunamas 400 °C temperatūros ir 40 bar. slėgio garas. Pagamintas garas suka garo turbiną, prie kurios, per reduktorių yra prijungtas elektros generatorius. Garas po garo turbinos yra tiekiamas į termofikato sistemą, per kurią šiluma yra tiekiamą į centralizuotus Klaipėdos miesto šilumos tinklus. Vasaros metu šilumos poreikis Klaipėdos mieste yra nedidelis, todėl lygiagrečiai miesto šildymo šilumokaičio yra įrengtas pagalbinio aušinimo kompleksas, kurį šiuo metu sudaro 14 orinių „Alfa Laval“ aušintuvių. Pagalbinio aušinimo sistema yra užpildyta etilenglikolio ir vandens mišiniu,



kadangi žiemą sistema yra nenaudojama. Grįžtantis iš miesto termofikatas yra pašildomas kondensatoriuje išmetamųjų dūmų srautu. Kondensatorius naudojamas tik šaltuoju metų laiku, kuomet šilumos poreikis mieste yra didelis [10].

Dūmai, prieš išmetant į atmosferą yra išvalomi. Katile yra palaikoma aukšta temperatūra – apie 1050 °C. Esant tokiai temperatūrai, aplinkos ore esantis azotas oksiduoja, suformuodamas azoto oksidus (NO<sub>x</sub>). Todėl dūmų valymo procesas prasideda jau pačiame katile, į kurį yra dozuojamas amoniakinis vanduo (25%), kuris selektyviai redukuoja azoto oksidus, juos paversdamas į elementinį azotą (N<sub>2</sub>) ir vandens garus. Ši amoniakinio vandens dozavimo sistema yra vadinama selektyvinio nekatalitinio valymo (SNKV) sistema arba selektyvioji nekatalizinė redukcija (SNKR). Į iš katilo išeinantį dūmų srautą yra dozuojamos gesintos kalkės ir aktyvuota anglis, kuri suriša dūmuose esančius teršalus (HCl, HF). Toliau dūmai keliauja į rankovinius filtrus, kur yra išfiltruojami. Išvalyti dūmai tiekiami į kondensatorių, kuriame atiduoda šiluma iš miesto grįžtančiam termofikatui. Galiausiai išvalyti ir atvėsę dūmai (žiemą dūmų temperatūra yra tik apie 40° C) yra išmetami į atmosferą per 70 m aukščio kaminą [63].



10 pav. FKTE medžiagų ir energijos balansas, 2018 m.

Atliekant aplinkosaugos auditą nustatyta, kad FKTE 2018 metais buvo pagaminta 165,63 GWh elektros energijos ir 390,80 GWh šiluminės energijos. Bendrai pagaminta 556,43 GWh energijos, sudeginta 256 824 t kuro. FKTE medžiagų ir energijos balansas už 2018 metus pateiktas 10 pav. Duomenys, kurie pateikti balanse, buvo surinkti naudojantis įmonėje veikiančia vidine apskaitos sistema, nepertraukiama išmetamųjų dūmų emisijos matavimo sistema, oro teršalų kiekio metinėmis ataskaitomis bei automatišų sunkvežimių svarstyklių ataskaitomis. Vandens sąnaudos įvertintos pagal faktinius apskaitos duomenis. Nuotekų tarša įvertinta remiantis TIPK leidime pateikta

informacija apie teršalų DLK [10]. Emisijas į aplinkos orą sudaro ir daugiau cheminių junginių, tačiau balanse detalizuojami tik pagrindiniai teršalai.

2018 m. sudegintų atliekų vidutinė energinė vertė buvo apie 10 MJ/ kg. Naudojant metodikos 1 formulę, įvertinta, kad energijos gamybos nuostoliai sudarė 159,97 GWh/ m., t.y. bendras jėgainės efektyvumas siekė tik 78,0 %. Įvertinant pramoninės ekologijos metodų pritaikymo galimybes buvo svarbu ne tik sumažinti poveikį aplinkai, tačiau ir padidinti bendrą jėgainės efektyvumą. Pagrindiniai absoliutūs ir santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI), kurie toliau vertinami, pateikti 6 lentelėje. Pagrindiniai AAI<sub>s</sub> buvo įvertinti naudojant metodikos 7 formulę.

**6 lentelė.** FKTE pagrindiniai santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI<sub>s</sub>), 2018 m.

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Vnt.	AAI, vnt./ m.	<sup>1</sup> AAI <sub>s</sub>
1	2	3	4
<b>Įėjimo srautai</b>			
Kuras (atliekos)	t	256 824	461,56
Natrio hidroksidas (NaOH)	t	108,79	0,20
Amoniakinis vanduo (NH <sub>4</sub> OH)	t	410,91	0,74
Negesintos kalkės (CaO)	t	3 682,91	6,62
<b>Išėjimo srautai</b>			
Pagaminta šilumos energija	GWh	390,80	0,70
Pagaminta elektros energija	GWh	165,63	0,30
Dugno pelenai ir šlakas	t	68 872,84	123,78
Lakieji pelenai	t	9 691,38	17,42
Dugno pelenai, turintys metalo	t	3 388,98	6,09
Anglies monoksidas (CO)	t	7,05	0,01
Azoto oksidai (NO <sub>x</sub> )	t	262,52	0,47

**Pastaba:**

<sup>1</sup> AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2018} = 556,43 \text{ GWh}$  – 2018 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis.

Analizuojant pagrindinius AAI<sub>s</sub> galima pastebėti, kad 2018 m. pagaminant 1 GWh energijos (šiluminės ir elektros) buvo sudeginta 461,56 t atliekų, sunaudota 0,74 t amoniakinio vandens bei 6,62 t negesintų kalkių. Sudeginant 1 t atliekų susidarė 0,27 t dugno pelenų ir šlako bei 0,04 t lakiųjų pelenų.

2018 m. buvo įdiegta amoniakinio vandens dozavimo sistemos inovacija. Todėl buvo įvertintas 2017 m. jėgainės aplinkosauginis veiksmingumas oro, energijos gamybos bei atliekų susidarymo srityse ir palygintas su 2018 m. duomenimis.

Aplinkosauginio veiksmingumo oro, energijos gamybos bei atliekų susidarymo srityse pokytis, lyginant 2018 m. su 2017 m. pateiktas 7 lentelėje.

7 lentelė. FKTE AAI<sub>s</sub> palyginimas, 2017–2018 m.

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Vnt.	2017 m.		2018 m.	
		AAI, vnt./ m.	<sup>1</sup> AAIs	AAI, vnt./ m.	<sup>2</sup> AAIs
1	2	3	4	5	6
<b>Įėjimo srautai</b>					
Kuras	t	<sup>3</sup> 278 000	454,99	256 824	461,56
Natrio hidroksidas (NaOH)	t	120,00	0,20	108,79	0,20
Amoniakinis vanduo (NH <sub>4</sub> OH)	t	568,10	0,93	410,91	0,74
Negesintos kalkės (CaO)	t	4066,82	6,66	3 682,91	6,62
<b>Išėjimo srautai</b>					
Pagaminta šilumos energija	GWh	440,40	0,72	390,80	0,70
Pagaminta elektros energija	GWh	170,6	0,28	165,63	0,30
Dugno pelenai ir šlakas	t	67 300	110,15	68 872,84	123,78
Lakieji pelenai	t	9 000	14,73	9 691,38	17,42
Dugno pelenai, turintys metalo	t	3 600	5,89	3 388,98	6,09
Anglies monoksidas (CO)	t	6,18	0,01	7,05	0,01
Azoto oksidai (NO <sub>x</sub> )	t	315,54	0,52	262,42	0,47

**Pastabos:**

<sup>1</sup> AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2017} = 611,00 \text{ GWh}$  – 2017 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>2</sup> AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2018} = 556,43 \text{ GWh}$  – 2018 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>3</sup>kuro mišinio kiekis, sudegintas per 2017 m. yra preliminarus, neatmetant kuro inertinės dalies, metalo bei išgaravusios drėgmės kiekio.

Jėgainė dėl mažo šiluminės energijos poreikio mieste pagamino mažiau šiluminės ir elektros energijos (54,57 GWh mažiau). Dėl to, sudegintų ir susidariusių atliekų (dugno pelenų, šlako ir lakiųjų pelenų) AAI<sub>s</sub> yra didesni. Tačiau dėl įdiegtos amoniakinio vandens dozavimo sistemos inovacijos, amoniakinio vandens sąnaudų bei NO<sub>x</sub> emisijų santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai yra sumažėję net ir pagaminus 8,93 % mažiau naudingos energijos.

Remiantis FKTE TIPK leidimu [10], iš FKTE stacionarių taršos šaltinių į aplinkos orą per metus gali būti maksimaliai išmesta 339,034 t azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) ir 56,506 t anglies monoksido (CO). 2018 m jėgainė į aplinkos orą išmetė 22,6 % mažiau NO<sub>x</sub> ir 87,5 % mažiau CO nei leidžiama TIPK leidime.

Šiuo metu Lietuvoje dugno pelenai ir šlakas, susidarantys atliekų deginimo jėgainėje yra laikomi atlieka. Tačiau kitose užsienio valstybėse ši atlieka yra naudojama kaip rišamoji medžiaga statybos vietoje žvyro frakcijos. Visas jėgainėje susidarantis šlakas (pvz., 2018 m. – virš 68,8 tūkst. t) yra disponuojamas Klaipėdos regione esančiame Dumpių sąvartyne, tačiau mokslininkai atlieka įvairius tyrimus, siekiant nustatyti dugno pelenų ir šlako panaudojimo civilinėje inžinerijoje galimybes [68].

Per metus jėgainėje susidaro didelis kiekis perteklinės šiluminės energijos, kuri yra pašalinama į aplinkos orą naudojant pagalbinę termofikato aušinimo sistemą (žr. 9 pav.). Ši perteklinė šiluma taip

pat yra naudojama šildyti sunkvežimiams, kurie gabena aplinkos temperatūroje kietus produktus (įvairius aliejus, riebalus ir kt.). Jie yra šildomi naudojant specialias autocisternas, į kurias tiekiamas perteklinis garas. Autocisternos yra gerai izoliuotos, todėl iki 60–70 °C pašildytas produktas išlieka skystas iki iškrovimo Skandinavijos šalyse.

Taip pat perteklinė šiluma garo pavidalu galėtų būti naudojama šalia esančiose įmonėse, kadangi UAB „Fortum Klaipėda“, veiklą vykdo pramoninėje zonoje – Klaipėdos laisvojoje ekonominėje zonoje (Klaipėdos LEZ). Tačiau perduoti atitinkamų parametrų garą yra sudėtinga, o didžiausias perteklinės šiluminės energijos kiekis susidaro karšto vandens pavidalu, kuris iš esmės nėra tinkamas daugumai technologinių procesų. Reikia paminėti, kad didžiausias perteklinės šiluminės energijos kiekis susidaro šiltuoju metų laiku. Todėl nėra galimybės užtikrinti perteklinės šilumos tiekimo kitoms įmonėms visus metus.

#### **4.2. Energijos efektyvumo didinimas ir poveikio aplinkai mažinimas, taikant darnios pramonės plėtros metodus tyrimo objekte**

Pramonės materialijų srautų dematerializavimas – tai pastangos sumažinti medžiagų ir energijos naudojimo intensyvumą gamybos procese. Sieniant sumažinti poveikį aplinkos orui ir energijos bei papildomos medžiagos – amoniakinio vandens naudojimo intensyvumą, 2018 m. buvo pasiūlyta modernizuoti SNKV sistemą. Šios inovacijos įvykdymo analizės rezultatai pateikti 4.2.1 poskyryje.

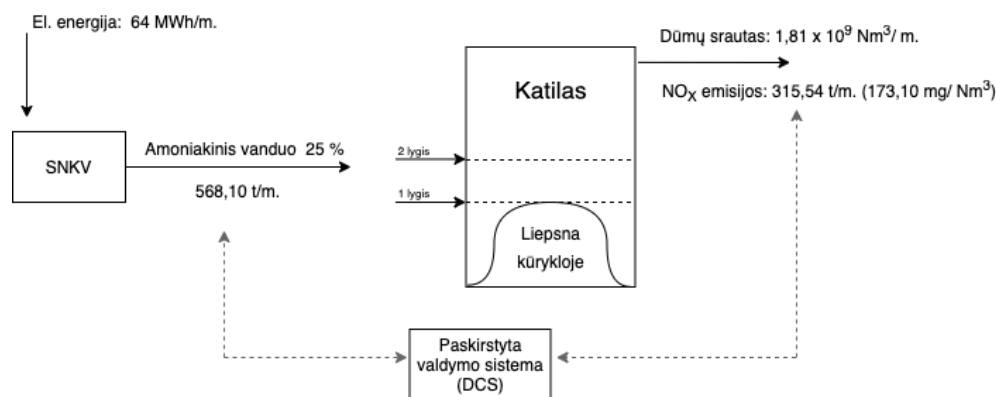
Įvertinant pramoninės ekologijos metodų pritaikymo galimybes FKTE, buvo svarbu ne tik sumažinti poveikį aplinkai, tačiau ir padidinti bendrą jėgainės energijos gamybos efektyvumą, siekiant išgauti maksimalų energijos kiekį, sutvarkant tą patį kiekį atliekų.

Siekiant padidinti energijos gamybos efektyvumą ir tuo pačiu sumažinti poveikį aplinkai, siūloma ne šildymo sezono metu gaminti šalčio energiją, naudojant absorbcinio šaldymo agregatą. Šios inovacijos įvykdymo analizės rezultatai pateikti 4.2.3 poskyryje.

##### **4.2.1. Selektinio nekatalitinio valymo sistemos modernizavimo FKTE įvykdymo analizės rezultatai**

2018 m. buvo įdiegta SNVK inovacija, kuri leido sumažinti naudojamo reagento – amoniakinio vandens sąnaudas 27,67 %, o kartu sumažinti ir susidarančių NO<sub>x</sub> kiekį 16,83%. Inovacijos įdiegimui nebuvo reikalinga jokios papildomos žaliavos. Po inovacijos įdiegimo elektros energijos sąnaudos savoms reikmėms padidėjo 54 MWh/ m., kas sudaro apie 0,27 % nuo viso sunaudojamo elektros energijos kiekio per metus.

Įdiegta ŠG inovacija – remiantis GPGB, amoniakinio vandens dozavimo perkėlimas į trečiąjį dozavimo lygį. Dėl azoto oksidų redukcijos reakcijos pusiausvyros, dozuojuojant amoniakinį vandenį į aukštesnį liepsnos lygį, yra pasiekiamas didesnis azoto oksidų konversijos į elementinį azotą ir vandens garus, laipsnis. Azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) emisijos mažinimo sistemos, kurios pagrindas yra SNKV, medžiagų ir energijos srautų diagrama prieš inovacijos įdiegimą pateikiama 11 paveiksle.



**11 pav.** SNKV sistemos FKTE medžiagų ir energijos srautų diagrama, 2017 m.

Dozuojamo amoniakinio vandens kiekis yra parenkamas pagal realiu laiku matuojamas  $\text{NO}_x$  emisijas, siekiant jas kuo labiau sumažinti ir neviršyti teisės akte nustatytos vertės. Amoniakinis vanduo į katilą yra išpurškiamas per dviejuose skirtinguose lygiuose įrengtus purkštukus (8 purkštukai kiekviename lygyje). Reagentas į katilą yra dozuojamas naudojant siurbli, kuris naudoja elektros variklį ir per metus sunaudoja 64 MWh elektros energijos. Esamo SNKV proceso srautai ir tiesioginiai kaštai įvertinti 8 lentelėje.

**8 lentelė.** SNKV proceso medžiagų ir energijos srautai ir tiesioginiai kaštai, 2017 m.

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Sąnaudos prieš projekto įdiegimą			<sup>1</sup> AAI <sub>Siki</sub>
	Vnt./ m.	EUR/ vnt.	EUR/ m.	
1	2	3	4	5
Amoniakinis vanduo (25 %)	568,096 t	348,75	198124,88	0,93
<sup>3</sup> Elektros energija (amoniakinio vandens siurbliui)	64 MWh	<sup>2</sup> 51,00	3264,00	0,10
$\text{NO}_x$ išlakos	315,54 t	196,00	61845,84	0,52
Iš viso:			263613,90	

**Pastabos:**

<sup>1</sup>AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2017} = 611,00 \text{ GWh}$  – 2017 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>2</sup>mokestis už  $\text{NO}_x$  buvo apskaičiuotas remiantis LR mokesčio už aplinkos teršimą įstatymu;

<sup>3</sup>elektros energijos sąnaudos amoniakinio vandens tiekimui įvertintos pagal siurblio instaliuotą galią ir darbo valandas.

Galima pastebėti, kad vienai GWh energijos pagaminti yra sunaudojama beveik viena tona (0,93 t/GWh) amoniakinio vandens ir išmetama 0,52 t  $\text{NO}_x$  emisijos.

*Techninis įvertinimas*

Remiantis informacija, pateikta GPGB ID, norint pagerinti SNKV sistemos efektyvumą ir sumažinti poveikį aplinkai, yra būtina dozuoti amoniakinį vandenį į tą katilo vietą, kurioje liepsnos temperatūra yra labiausiai tinkama azoto oksidų redukavimui, t. y. redukcijos reakcijos greitis yra didžiausias.

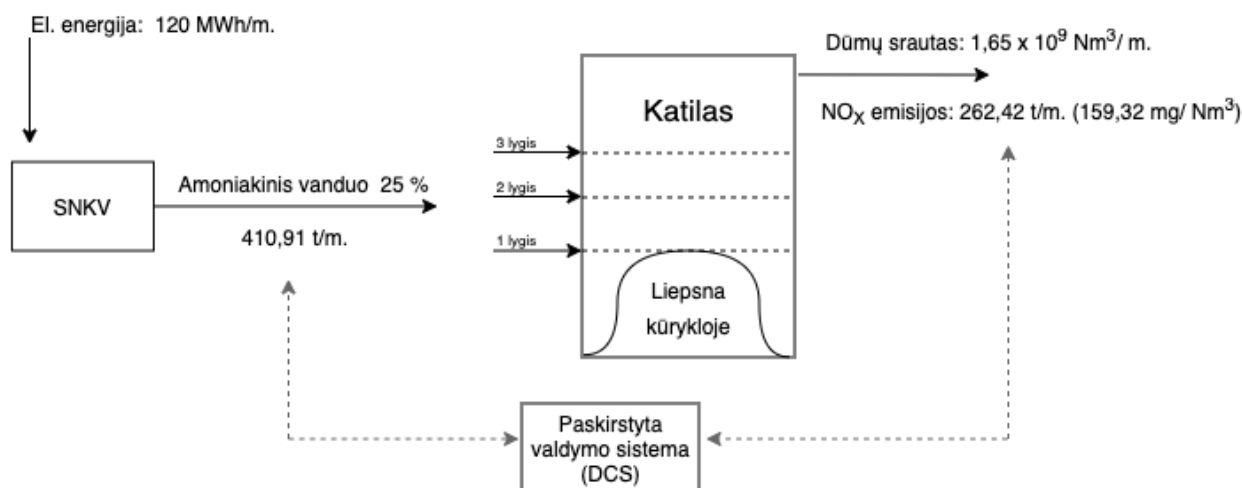
Kadangi jėgainėje yra deginamos atliekos, kurių sudėtis, o taip pat ir žemutinio šilumingumo vertė, nuolat skiriasi, liepsnos aukštis ir jos temperatūra nuolat kinta. Tam tikslui buvo pasiūlyta įrengti dar vieną (trečiąjį) amoniakinio vandens dozavimo lygį. Esant poreikiui iš paskirstytos valdymo sistemos (DCS) galima reguliuoti amoniakinio vandens srautą kiekviename lygyje.

Eksperimentiniam tyrimui sistema buvo sumontuota nestacionariai, t. y. naudojant lanksčias žarnas ir kilnojamą reagento tiekimo siurbį. Keletą savaičių buvo stebimi valandiniai amoniakinio vandens sunaudojimo vidurkiai, išmetamų NO<sub>x</sub> ir CO koncentracijos. Pastebėjus akivaizdų amoniakinio vandens sąnaudų ir azoto oksidų emisijos sumažėjimą (NO<sub>x</sub> koncentracija sumažėjo nuo vidutiniškai 173,10 iki 159,32 mg/ Nm<sup>3</sup> (žr. 9 lentelę)), buvo nuspręsta sistemą įdiegti stacionariai. Reikia paminėti, kad eksperimento metu nebuvo pastebėta CO emisijos padidėjimo.

**9 lentelė.** NO<sub>x</sub> koncentracijų palyginimas su ES GPGB nurodytomis siektinomis vertėmis

Lyginami parametrai	Dimensija	NO <sub>x</sub>
Reali koncentracija prieš projekto įdiegimą	mg/ Nm <sup>3</sup>	173,10
Reali koncentracija po projekto įdiegimo		159,32
DLK pagal TIPK leidimą, išduotą 2016 m. [10]		200
DLK pagal naujus reikalavimus DKDĮ [16]		300
Siektina RV pagal GPGB atliekų deginimo įrenginiams [18]		50-180

Atsižvelgiant į GPGB ir pravešto eksperimento rezultatus, buvo pateiktas pasiūlymas įrengti trečiąjį amoniakinio vandens dozavimo lygį, siekiant tiekti reagentą į zoną, kurioje NO<sub>x</sub> reakcija vyktų efektyviau. SNKV sistemos medžiagų ir energijos srautų diagrama po inovacijos įdiegimo pateikiama 12 paveiksle.



**12 pav.** SNKV sistemos medžiagų ir energijos srautų diagrama po inovacijos įdiegimo

### Aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas

SNKV sistemos modernizavimo aplinkosauginio efekto ir sutaupomų lėšų įvertinimas pateiktas 10 lentelėje.

**10 lentelė.** SNKV sistemos modernizavimo aplinkosauginio efekto ir sutaupomų lėšų įvertinimas

Srautai proceso įėjime ir išėjime	vnt.	AAI, jų ekonominė išraiška ir AAI <sub>s</sub>						
		Prieš priemonės įdiegimą (2017 m.)		Po priemonės įdiegimo (2018 m.)		Sutaupoma / sumažėja (+) / padidėja (-)		
		AAI, vnt./ m.	<sup>2</sup> AAI <sub>s</sub> , Vnt./ GWh	AAI, vnt./ m.	<sup>3</sup> AAI <sub>s</sub> , Vnt./ GWh	AAI, vnt./ m.	EUR/ vnt.	EUR/ m.
Elektros energija siurbliui	MWh	64,00	0,105	120,00	0,216	-54,00	51,00	-2856,00
Amoniakinis vanduo	t	568,10	0,930	410,91	0,739	157,19	348,75	54820,01
NO <sub>x</sub>	t	315,54	0,516	262,42	0,472	53,12	196,00	410411,52
Iš viso sutaupoma, įdiegus inovaciją:								62 375,53

**Pastabos:**

<sup>1</sup>kadangi inovacija buvo atrinkta diegimui, šioje lentelėje situacijai „Po priemonės įdiegimo“ pateikta informacija apie faktines elektros energijos ir sunaudoto amoniakinio vandens sąnaudas bei susidariusių NO<sub>x</sub> kieki;

<sup>2</sup> AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2017} = 611,00$  GWh – 2017 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>3</sup> AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2018} = 556,43$  GWh – 2018 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>4</sup>remiantis LR mokesčio už aplinkos oro teršimą įstatymo 5 straipsnio 1 dalimi, sumažinus išmetamųjų teršalų kiekį daugiau nei 5 % nuo ribinės vertės (RV), įmonė atleidžiama nuo taršos mokesčio projekto įdiegimo laikotarpiu. Todėl įmonė nuo taršos mokesčio atleidžiama vieneriems metams.

Modernizavus SNKV sistemą elektros energijos sąnaudos padidėjo 54 MWh per metus, kadangi buvo parinktas našesnis siurblys, kuris reagentą gali pakelti į aukštesnį lygį, bet naudoja daugiau elektros energijos. Tačiau amoniakinio vandens sąnaudos sumažėjo 157,19 t/ m. arba 27,7 %. Reikia paminėti, kad gaminant amoniakinį vandenį taip pat yra išmetama tarša į aplinką, kuri šiame darbe nevertinama.

Didžiausią ekonominę naudą (55 tūkst. Eur) šiame projekte suteikia sunaudojamo reagento kiekio sumažinimas. Tačiau remiantis LR mokesčio už aplinkos oro teršimą įstatymo 5 straipsnio 1 dalimi, sumažinus išmetamųjų teršalų kiekį daugiau nei 5 % nuo ribinės vertės (RV), įmonė atleidžiama nuo taršos mokesčio projekto įdiegimo laikotarpiu. Kadangi jėgainėje yra deginamos atliekos, kurių sudėtis nuolat kinta, kitais metais azoto oksidų koncentracija gali padidėti (arba sumažėti), taip priimama, kad įmonė nuo taršos mokesčio atleidžiama vienerius metus.

Išmetamųjų azoto oksidų koncentracija prieš projekto įdiegimą neviršijo leidžiamos ribinės vertės pagal galiojantį TIPK leidimą, taip pat atitiko siektinas ribines vertes, nurodytas GPGB ID. Tačiau po projekto įdiegimo azoto oksidų koncentracijos ne tik kad neviršija didžiausios RV pagal GPGB, bet ir priartėjo prie minimalios siektinos vertės.

SNKV sistemos modernizavimo preliminarios investicijos pateiktos 11 lentelėje.

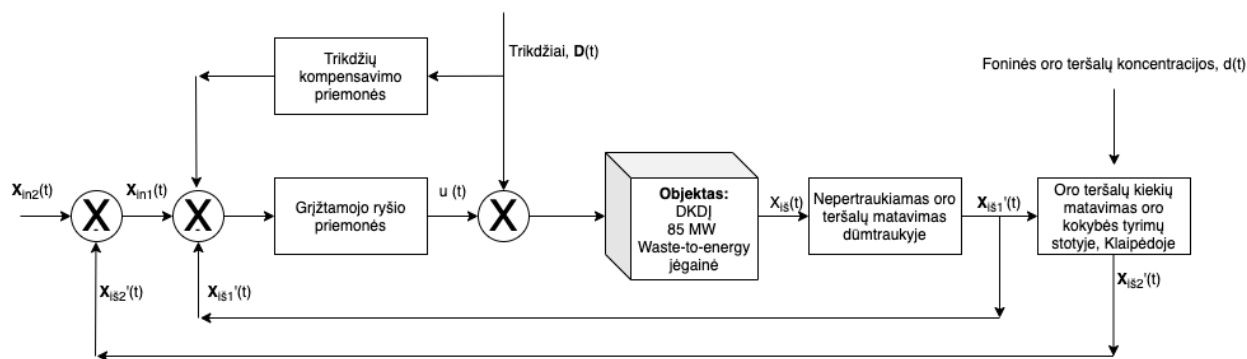
**11 lentelė.** SNKV sistemos modernizavimo investicijos

Nr.	Darbai, paslaugos, įranga	Vnt.	Kaina EUR/ vnt.	EUR	Pastabos
1.	PAV dokumentų rengimas	-	-	-	-
2.	Techninio projekto rengimas	-	-	-	-
3.	Amoniakinio vandens purkštukai	8	1 600,00	12 800,00	
4.	Amoniakinio vandens siurblys „Grundfoss CRNE64-2-2“	1	8 580,00	8 580,00	
5.	Siurblio montavimas, naujos vamzdžių linijos pravedimas iki 3 lygio	-	-	7 600,00	Kartu su medžiagomis
6.	Suspausto oro privedimas	-	-	1 400,00	Kartu su medžiagomis
Projekto investicijos be PVM				30 380,00	
PVM, 21 % (tik paslaugoms, suteiktoms įmonių iš Lietuvos)				6 379,80	
Projekto investicijos su PVM				36 759,80	

Planuojama sutaupyti įdiegus projektą (S) – 62 375,53 Eur/ m. (žr. 10 lentelę). Projekto bendros investicijos (I) – 36 759,80 Eur Projekto atsipirkimo trukmė (AT) – 7 mėn.

**4.2.2. Kaskadinės aplinkos valdymo sistemos taikymas FKTE oro teršalų valdymui**

Siūloma FKTE aplinkos oro teršalų emisijų valdymui taikyti kaskadinę aplinkos valdymo sistemą su 2 grįžtamaisiais ryšiais ir trikdžio kompensavimu. Aplinkos valdymo sistema pavaizduota 13 paveiksle.



**13 pav.** Kaskadinė aplinkos valdymo sistema FKTE oro teršalų valdymui

Valdomas parametras  $X_{i8}$  – oro teršalų (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, KD) koncentracijos.

$X_{i81}'(t)$  – iš stacionaraus oro taršos šaltinio išmetamų teršalų išmatuotos koncentracijos (dūmtraukyje), kurios perskaičiuojamos į koncentracijas normalinėmis sąlygomis (esant 6 proc. O<sub>2</sub>), mg/ Nm<sup>3</sup>:

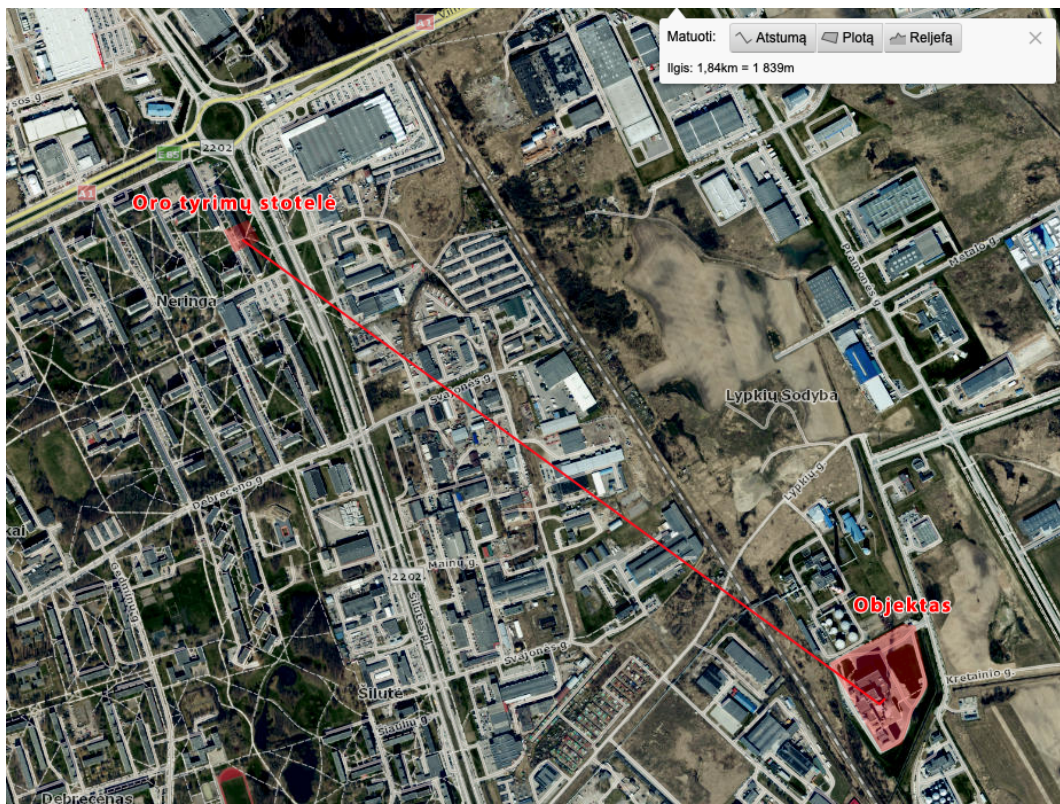
- $X_{i811}'(t)$  – CO koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje), mg/ Nm<sup>3</sup>;
- $X_{i812}'(t)$  – NO<sub>x</sub> koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje), mg/ Nm<sup>3</sup>;
- $X_{i813}'(t)$  – SO<sub>2</sub> koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje), mg/ Nm<sup>3</sup>;
- $X_{i814}'(t)$  – KD<sub>10</sub> koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje), mg/ Nm<sup>3</sup>.



Remiantis jėgainės dūmtraukyje sumontuotos emisijų matavimo sistemos duomenimis, 2018 metų vidutinės išlakos:

- CO: 4,509 mg/ Nm<sup>3</sup>;
- NO<sub>x</sub>: 159,32 mg/ Nm<sup>3</sup>;
- SO<sub>2</sub>: 6,334 mg/ Nm<sup>3</sup>;
- KD<sub>10</sub>: 0,645 mg/ Nm<sup>3</sup>.

X<sub>iš2</sub>(t) bus nustatomi matuojant oro teršalus matavimo stotyje, esančioje Klaipėdoje, Šilutės pl., nutolusioje nuo objekto 1,84 km. (žr. 14 pav.).



14 pav. Klaipėdos miesto oro kokybės tyrimo stoties ir FKTE vietos

X<sub>iš2</sub>'(t) – išlakų kiekis aplinkos ore su fonu, μg/m<sup>3</sup>:

- X<sub>iš21</sub>'(t) – CO koncentracija aplinkos ore, μg/ m<sup>3</sup>;
- X<sub>iš22</sub>'(t) – NO<sub>x</sub> koncentracija aplinkos ore, μg/ m<sup>3</sup>;
- X<sub>iš23</sub>'(t) – SO<sub>2</sub> koncentracija aplinkos ore, μg/ m<sup>3</sup>;
- X<sub>iš24</sub>'(t) – KD<sub>10</sub> koncentracija aplinkos ore, μg/ m<sup>3</sup>.

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros pateikta informacija [69], vidutinės 2018 m. oro teršalų koncentracijos (X<sub>iš2</sub>'(t)):

- CO: 0,277 μg/ m<sup>3</sup>;
- NO<sub>x</sub>: 57,3 μg/ m<sup>3</sup>;
- SO<sub>2</sub>: 2,5 μg/ m<sup>3</sup>;
- KD<sub>10</sub>: 37,8 μg/ m<sup>3</sup>.

Koncentracijos (DLK) pagal Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimą [10].

- $X_{in11}(t)$  – CO koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje)  $< 50 \text{ mg/ Nm}^3$ .
- $X_{in12}(t)$  –  $\text{NO}_x$  koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje)  $< 200 \text{ mg/ Nm}^3$ .
- $X_{in13}(t)$  –  $\text{SO}_2$  koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje)  $< 50 \text{ mg/ Nm}^3$ .
- $X_{in14}(t)$  – KD koncentracija išlakose (matuojant dūmtraukyje)  $< 10 \text{ mg/ Nm}^3$ .

Galimi trikdžiai  $D(t)$  – dėl ko gali atsirasti nukrypimai nuo nustatytų tikslų  $X_{in1}$ :

- deginamo kuro (atliekų) kokybė ir sudėtis;
- neplanuoti gedimai ir sutrikimai (nukrypimai nuo technologinių parametrų).

Trikdžių kompensavimo priemonės:

- atliekų srauto suregulavimas, siekiant užtikrinti atliekų homogeniškumą ir maišymąsi.
- didelį sieros kiekį turinčių atliekų išfiltravimas (naudotos automobilių dalys, padangos ir pan.);
- sudažninta techninė priežiūra ir remontas, siekiant išvengti gedimų ir sutrikimų;
- ekonomizaizerio/ dūmų drėkinimo sistemos pritaikymas vasaros metu, siekiant sumažinti KD kiekį išlakose.

Grįžtamojo ryšio priemonės:

- SNKR sistema (amoniakinio vandens dozavimas), siekiant sumažinti  $\text{NO}_x$  emisijas;
- pirminio/ antrinio oro ir kuro santykio reguliavimas, siekiant sumažinti CO emisiją, (bet nepadidinti  $\text{NO}_x$ ).

Galimi tikslai  $X_{in2}(t)$  – teršalų ribinės vertės (RV) aplinkos ore pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro ir Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2001-12-11 įsakymo Nr. 591/640 „Dėl aplinkos oro užterštumo normų nustatymo“ reikalavimus [70], kurios naudojamos oro teršalų pažemio koncentracijų vertinimui:

- $X_{in21}(t)$  – CO koncentracija aplinkos ore (8 val. slenkančio vidurkio)  $< 10 \text{ mg/ m}^3$ ;
- $X_{in22}(t)$ :
  - $\text{NO}_x$  koncentracija aplinkos ore (1 val. 99,8 procentilio)  $< 200 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
  - $\text{NO}_x$  koncentracija aplinkos ore (vidutinė metinė)  $< 40 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
- $X_{in23}(t)$ :
  - $\text{SO}_2$  koncentracija aplinkos ore (1 val. 99,7 procentilio)  $< 350 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
  - $\text{SO}_2$  koncentracija aplinkos ore (24 val. 99,2 procentilio)  $< 125 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
- $X_{in24}(t)$ :
  - $\text{KD}_{10}$  koncentracija aplinkos ore (24 val. 90,4 procentilio)  $< 50 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
  - $\text{KD}_{10}$  koncentracija aplinkos ore (vidutinė metinė)  $< 40 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ ;
  - $\text{KD}_{2,5}$  koncentracija aplinkos ore (vidutinė metinė)  $< 25 \text{ } \mu\text{g/ m}^3$ .

Galimi trikdžiai  $D(t)$  – dėl kurių gali atsirasti nukrypimai nuo nustatytų tikslų  $X_{in2}$ :

- foninio aplinkos oro užterštumo padidėjimas (dėl kitų ūkinių veiklų mieste, analizuojant kaip stacionarius, taip ir mobilius oro taršos šaltinius);

- meteorologinės sąlygos (vėjo kryptis, vėjo greitis (m/ s), aplinkos oro temperatūra (°C), debesuotumas (oktanais)).

Todėl realiai  $X_{in2}(t)$  dėl minėtų trikdžių veikimo gali viršyti RV.

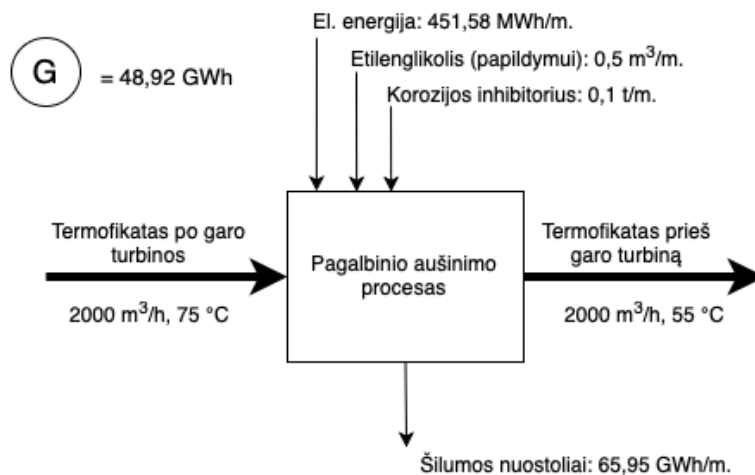
#### Valdymo sprendimas ir aplinkosauginė nauda

Valdymo sistemoje siūloma tikslus  $X_{in1}(t)$  nustatinėti pagal  $X_{in2}(t)$  realius parodymus (pvz., nukreipiant perdavimo signalą iš Klaipėdos miesto oro kokybės tyrimo stoties į FKTE). Esant dideliame aplinkos oro užterštumui mieste, tarkime,  $NO_x$  teršalais, dėl transporto, žmonių veiklos, meteorologinių sąlygų ir kt.  $D(t)$ , kintamojo apribojimas  $X_{in12}(t)$  galėtų būtų mažinamas. Atsirastų nuokrypis nuo nustatytų tikslu ir suveiktų siūloma valdymo sistema – į SNKV sistemą būtų paduodamas didesnis kiekis amoniakinio vandens taip mažinant  $NO_x$  koncentracija iš FKTE išmetamuose dūmuose.

Panašus principas galėtų būti taikomas ir kitiems oro teršalams ( $X_{i2}(t)$ ), kurių kiekis yra reguliuojamas tik pagal  $X_{in1}$  kintamųjų apribojimus, o į esamą aplinkos oro taršą mieste yra neatsižvelgiama.

#### 4.2.3. Absorbicinio šaldymo agregato naudojimas šalčio energijos gamybai FKTE

FKTE pagalbino aušinimo proceso medžiagų ir energijos srautų diagrama pateikiama 15 paveiksle.



15 pav. FKTE pagalbino aušinimo proceso medžiagų ir energijos srautų diagrama

Kaip galima pastebėti iš pateikto medžiagų ir energijos balanso, siekiant ataušinti termofikatą vasaros metu, į aplinkos orą per metus yra pašalinama 65,95 GWh perteklinės šiluminės energijos, kuri yra vertinama kaip nuostoliai. Remiantis 2018 metais atliktu tyrimu [37], yra pageidautina, kad termofikato temperatūra prieš garo turbiną būtų 42 °C, tuomet elektros generatorius gali pasiekti didžiausią galią. Šiuo metu termofikatas po pagalbino aušinimo proceso yra ataušinamas tik iki 55 °C, todėl garo turbina negali dirbti maksimaliu pajėgumu ir nėra pasiekiami maksimali generatoriaus elektros galia.

Pagalbino aušinimo proceso medžiagų ir energijos balansas, tiesioginių proceso kaštų ir AAI<sub>s</sub> vertinimas pateiktas 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Pagalbinio aušinimo proceso esamo aplinkosauginio veiksmingumo vertinimas

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Sąnaudos prieš projekto įdiegimą			<sup>2</sup> AAI <sub>siki</sub>
	AAI, vnt./ m.	EUR/ vnt.	EUR/ m.	
1	2	3	4	5
<b>Proceso įėjimo srautai</b>				
Elektros energija (pagalbinio aušinimo sistemos siurbliui)	352,80 MWh	51,00	17992,80	7,21
Elektros energija (14 orinių aušintuvų ventiliatorių varikliams)	987,84 MWh	51,00	50379,84	20,19
Etilenglikolis	0,5 m <sup>3</sup>	2320,00	1160,00	0,01
Korozijos inhibitorius	0,1 t	22400,00	2240,00	0,002
<sup>1</sup> Elektros energija šaldymui (už proceso ribų)	2987,04 MWh	51,00	153339,04	61,06
<b>Proceso išėjimo srautai</b>				
Netiesioginė šaldymo agento emisija į aplinką	0,2 t	-	-	0,004
Šilumos nuostoliai	65,95 GWh	-	-	1,35
<sup>3</sup> Netiesioginės CO <sub>2e</sub> emisijos dėl elektros energijos sąnaudų šaldymui (už proceso ribų)	648,19 t	-	-	13,25

**Pastabos:**

<sup>1</sup>modernizuojant pagalbinio aušinimo procesą bus siūloma perteklinę šilumą panaudoti šaldymui, todėl kaip vienas iš sąnaudų srautų yra įvertintas elektros energijos kiekis, kuris reikalingas analogiško galingumo (4,57 MW) šaldymo sistemai;

<sup>2</sup>skaičiuojant AAI<sub>s</sub>, AAI dalinami iš vasarą pagamintos elektros energijos kiekio, kuris yra  $G_{iki} = 48,92$  GWh;

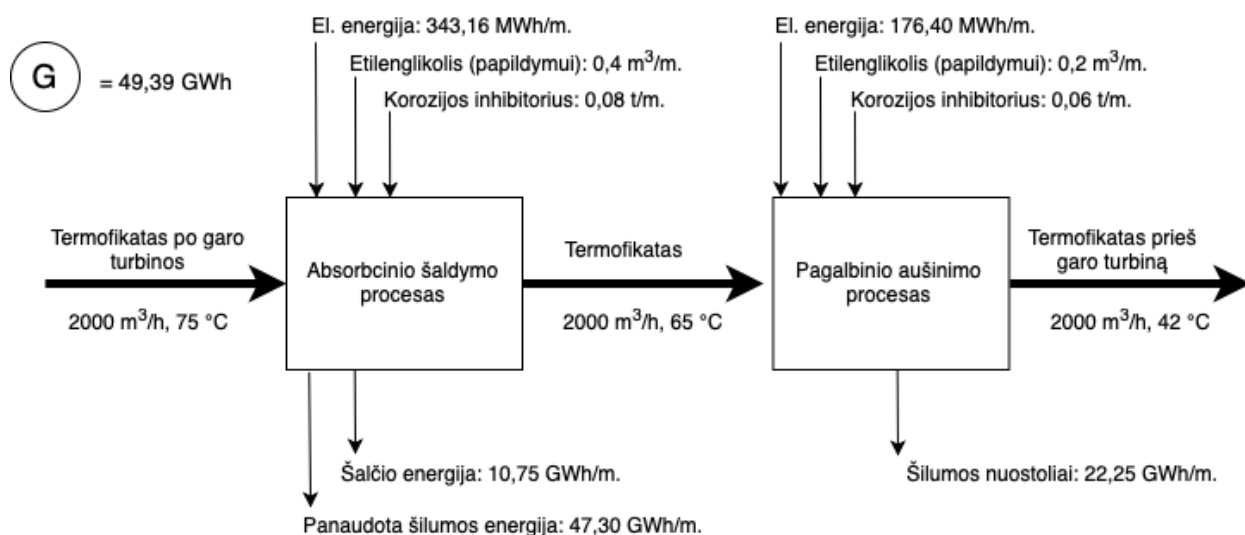
<sup>3</sup>netiesioginės CO<sub>2e</sub> emisijos dėl elektros energijos sąnaudų šaldymui (už proceso ribų: 2987,04 MWh) vertinamos naudojant programą „Electricitymap“, nustatant 2018 metų emisijos faktorių (EF = 0,217 t CO<sub>2e</sub>/MWh).

Vasaros metu jėgainėje susidaro didelis šiluminės energijos perteklius ir didelis vėsinimo energijos poreikis. Vienai GWh elektros energijos pagaminti yra sunaudojama 27,4 MWh elektros energijos savoms reikmėms, kurių didelę dalį (20,19 MWh) sunaudoja 14 vnt. orinių aušintuvų. Elektros energija, sunaudojama pagalbinio aušinimo sistemos siurbliui ir orinėms aušyklėms buvo apskaičiuota remiantis duomenimis, gautais iš paskirstytos valdymo sistemos (DCS) ir įrenginių dokumentacijų.

Elektros energijos kiekis, sunaudojamas šaldymui, buvo apskaičiuotas priimant, kad vidutinis oro kondicionierių energijos efektyvumo koeficientas (EER) yra 3,60 [73]. Tai reiškia, kad vidutinės, aukštos energinės klasės oro kondicionierius sunaudodamas 1 kWh elektros energijos, gali pagaminti 3,6 kWh šalčio energijos. Bus pasiūlyta perteklinę šilumos energiją vasaros metu panaudoti šaldymui, naudojant absorbcinio šaldymo įrenginį, kurio šaldymo galia 4,57 MW. Naudojant įprastus šaldymo įrenginius būtų sunaudojama 2987,04 MWh elektros energijos.

Perteklinę šiluminę energiją būtų galima panaudoti šalčio energijos gamybai naudojant absorbcinio šaldymo agregatą. Jo veikimo principas yra pagrįstas skirtingomis tirpalų virimo temperatūromis, esant skirtingam slėgiui, ir ličio bromido (LiBr) tirpalo absorbcinėmis savybėmis. Papildomai naudojant sąlyginai nedidelį elektros energijos kiekį, būtų galima generuoti didelę šaldymo galią naudojant perteklinę šiluminę energiją.

Pateikiamas pasiūlymas nuosekliai pagalbinėms termofikato aušyklėms įrengti absorbcinio šaldymo agregatą „2AA1300“, pagamintą kompanijos „World Energy Absorption Chillers Europe Ltd“. Įrenginio techninės specifikacijos pateikiamos 2 priede. Termofikato srautui palaikyti būtų naudojamas tas pats termofikato siurblys, tačiau naudojant dažnio keitiklį jo apkrova būtų padidinta iki nominalios, ir siektų 160 kW. Taip pat būtų reikalinga įrengti vieną papildomą orinę aušintuvę, ir likusį aušyklių kompleksą (kurį jau sudaro 14 aušyklių) perskirti į dvi dalis: 5 aušyklės bus naudojamos pagalbiniam termofikato aušinimui po absorbcinio šaldymo agregato tam, kad pasiekti pageidaujamą 42 °C temperatūrą, o kitos 10 aušyklių bus naudojamos absorbcinio šaldymo sistemos kondensatoriuje (šilumos pašalinimu). Modernizuotos pagalbinės termofikato aušinimo sistemos medžiagų ir energijos srautų diagrama pateikiama 16 paveiksle.



16 pav. Šaldymo/ aušinimo proceso medžiagų ir energijos srautų diagrama po inovacijos įdiegimo

Termofikato temperatūra po absorbcinio šaldymo proceso siektų 65 °C, todėl nuosekliai jam būtų naudojamas pagalbinio aušinimo procesas ir termofikatas būtų ataušinamas iki pageidaujamos 42 °C temperatūros (žr. 16 pav.). Be to, elektros generatorius per vasaros sezoną pagamintų daugiau elektros energijos, kadangi ataušdamas termofikatas už garo turbinos sudaro vakuumą, kuris daro teigiamą įtaką priešslėginei garo turbinai, prie kurios ir yra prijungtas elektros generatorius.

Perteklinę šilumos energiją naudojant šalčio gamybai atlikti PAV ar dokumentų dėl PAV, PSVS (SAZ patikslinimui) nebus reikalinga, kadangi planuojama veikla nėra įtraukta į Lietuvos Respublikos planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymo 1 ir 2 priedus. Šiuo atveju PŪV – esamos sistemos optimizavimas, kuris nedidina poveikio aplinkai.

Esminės TIPK korekcijos taip pat nebus reikalingos, nes nepasikeis sunaudojamo kuro rūšis/ kiekis, nesusidarys daugiau oro teršalų ar atliekų, nebus sunaudojama daugiau cheminių preparatų ar reagentų. Taip pat, reikia paminėti, kad absorbcinio šaldymo agregatas yra pagalbinis termofikacinio

vandens aušinimo procesas, kurio metu pašalinama perteklinė šiluma yra panaudojama šaldymo procese.

Aplinkosauginė nauda ir sutaupomos lėšos

Pagalbinio aušinimo proceso modernizavimo aplinkosauginio ir ekonominio įvertinimo rezultatai pateikti 13 lentelėje.

**13 lentelė.** Pagalbinio aušinimo proceso AAI palyginimas ir sutaupomų lėšų įvertinimas

Srautai proceso įėjime ir išėjime	vnt.	Absoliutūs aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI) ir jų ekonominė išraiška				
		Prieš priemonės įdiegimą	Po priemonės įdiegimo (planas)	Sutaupoma / sumažėja (planas) (+) / padidėja (-)		
		AAI <sub>iki</sub> , vnt./ m.	AAI <sub>po</sub> vnt./ m.	vnt./ m.	EUR/ vnt.	EUR/ m.
Elektros energija termofikato aušinimo procesui	MWh	1340,64	1472,12	-131,48	51,00	-6705,48
Elektros energijos sąnaudos šaldymui	MWh	2987,04	0,00	2987,04	51,00	153339,04
Etilenglikolis	m <sup>3</sup>	0,50	0,60	-0,1	2320,00	-232,00
Korozijos inhibitorius	t	0,10	0,14	-0,04	22400,00	-896,00
Sutaupoma, sumažėjus tiesioginiams procesų kaštams:						<b>145 532,56</b>
Elektros energijos gamyba (už proceso ribų)	MWh	48920	49390	470	51,00	23970,00
<sup>1</sup> Netiesioginė CO <sub>2e</sub> emisija	t	648,19	0,00	648,19	-	-
Sutaupoma iš viso:						<b>169 502,56</b>

**Pastabos:**

<sup>1</sup>įvertinta netiesioginė CO<sub>2eq</sub> emisija – tai emisija, kuri būtų išmetama naudojant įprastus oro kondicionierius šalčio energijai gaminti. Po inovacijos įgyvendinimo, toks pat šalčio energijos kiekis (10,75 GWh) būtų pagaminamas naudojant perteklinę šiluminę energiją.

Po pagalbinio aušinimo proceso modernizavimo elektros energijos sąnaudos padidėtų 131,48 MWh/ m. arba 9,9 % todėl, kad termofikato siurblio apkrova padidėtų 20 kW, o taip pat būtų prijungiamas viena papildoma orinė aušyklė, kuri turi 10 elektros energiją naudojančių ventiliatorių, kurių kiekvieno galia 3 kW. Tačiau modernizavus pagalbinio aušinimo procesą ir perteklinę šilumą panaudojant šaldymui, būtų galima išvengti elektros energijos sąnaudų šalčio gamybai – taip būtų sutaupoma 169 502,56 EUR. Jeigu pagaminta vėsumos energija būtų tiekiamas vartotojams, būtų išvengiama 648,19 t CO<sub>2e</sub> emisijos per metus. Netiesioginė CO<sub>2</sub> emisija buvo apskaičiuota naudojantis įrankiu „Electricitymap“, kuriame realiu laiku yra rodomas CO<sub>2eq</sub> emisijos faktorius kiekvienoje šalyje pagaminant 1 kWh elektros energijos.

Atsisakius šaldymui naudoti įprastus oro kondicionierius, bus galima išvengti šaldymo agento išlakų į aplinkos orą, kadangi absorbcinio šaldymo agregatuose jie nėra naudojami. Reikia paminėti, kad korozijos inhibitoriaus kiekis padidės 40 %, kuris reikalingas pagalbinio aušinimo sistemoje, kadangi proporcingai tiek pat padidės ir pačios sistemos tūris. Dėl modernizuoto pagalbinio aušinimo proceso

bus galima padidinti elektros energijos gamybą apie 1 % ir per vasaros sezoną pagaminti 0,47 GWh daugiau elektros energijos. Tai yra susiję su geresne kondensacija šilumokaičiuose už garo turbinos [37].

Didžiausia ekonominė nauda, įdiegus šį projektą, būtų gaunama dėl elektros energijos šalčio gamybai sutaupymo – daugiau nei 153 tūkst. EUR Įdiegus šį projektą, per metus būtų galima sutaupyti apie 170 tūkst. EUR, tačiau tam reikalingos nemažos investicijos, kurios pateiktos 14 lentelėje.

**14 lentelė.** Pagalbinio aušinimo proceso modernizavimo preliminarios investicijos

Nr.	Darbai, paslaugos, įranga	Kaina, EUR	Pastabos
1	PAV dokumentų rengimas	-	-
2	Techninio projekto rengimas	-	-
3	Absorbcinio šaldymo agregatas „2AA1300“	300 000,00	Su pristatymu iki Klaipėdos uosto
4	Įrenginio montavimas, paleidimas ir derinimas	15 000,00	-
5	Vamzdynas ir jo elementai	45 000,00	Kartu su demontavimo ir montavimo darbais
6	Papildoma orinė aušyklė „Alfa Laval“	25 000,00	
Projekto investicijos be PVM		385 000,00	
PVM, 21 % (tik paslaugoms, suteiktoms įmonių iš Lietuvos)		9 450,00	
Bendros projekto investicijos		394 450,00	

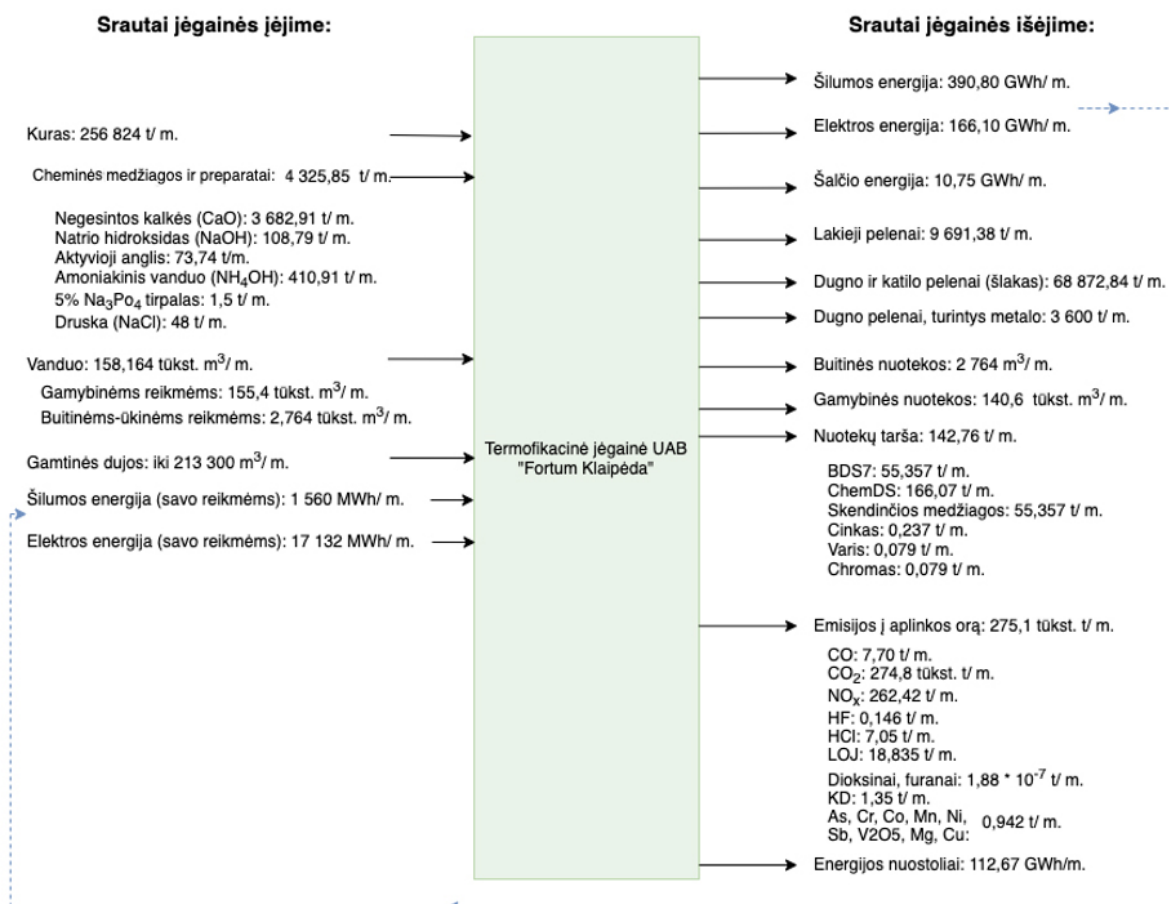
Planuojama sutaupyti įdiegus projektą (įskaitant pajamas dėl gamybos padidėjimo) (S) – 169 502,56 Eur/ m. Projekto bendros investicijos (I) – 394 450,00 Eur Projekto atsipirkimo trukmė (AT) – 2,3 metų.

Būtina paminėti, kad remiantis atlikta literatūros analize, šalčio energija gali būti tiekiamą vartotojams naudojant centralizuotą vėsumos tiekimo sistemą, analogišką centralizuoto šildymo sistemai.



### 4.3. Darnios pramonės plėtros alternatyvų pasiekto aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Siekiant įvertinti aplinkosauginį veiksmingumą po siūlomos inovacijos įdiegimo, buvo sudaryta atnaujinta įmonės medžiagų ir energijos srautų diagrama, pateikta 17 pav.



17 pav. Jėgainės medžiagų ir energijos balansas po siūlomos inovacijos įdiegimo

Planuojama, kad po siūlomos inovacijos įdiegimo atsiras naujas išėjimo srautas – šalčio energija. Taip pat bus sumažinti energijos nuostoliai bei elektros energija savoms reikmėms. Planuojamo pasiekti ir pasiekto aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas pateiktas 15 lentelėje.

15 lentelė. Planuojamos ir įgyvendintos inovacijų aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Vnt.	Esama situacija		Planuojama situacija		AAV
		AAI, vnt./ m.	<sup>1</sup> AAIs	AAI, vnt./ m.	<sup>2</sup> AAIs	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Įėjimo srautai</b>						
Kuras (atliekos)	t	256 824	461,56	256 824	461,17	0,39
Elektros energija savoms reikmėms	MWh	19 988,00	35,92	17 132,44	30,76	5,16
Amoniakinis vanduo (NH <sub>4</sub> OH)	t	<sup>4</sup> 568,10	<sup>3</sup> 0,93	410,91	0,74	0,19
Kitos cheminės medžiagos	t	3 757,75	6,75	3757,75	6,75	0,01
Vanduo	m <sup>3</sup>	156 164,00	280,65	156 164,00	280,42	0,24



**15 lentelės tęsinys. Planuojamos ir įgyvendintos inovacijų aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas**

Proceso įėjimo ir išėjimo srautai	Vnt.	Esama situacija		Planuojama situacija		AAV
		AAI, vnt./ m.	<sup>1</sup> AAIs	AAI, vnt./ m.	<sup>2</sup> AAIs	
<b>Išėjimo srautai</b>						
Pagaminta šilumos energija	GWh	390,80	0,70	390,80	0,70	0
Pagaminta elektros energija	GWh	165,63	0,30	166,1	0,30	0
Šiluminės energijos nuostoliai	GWh	159,97	0,29	112,67	0,20	0,09
Dugno pelenai ir šlakas	t	68 872,84	123,78	68 872,84	123,67	0,10
Lakieji pelenai	t	9 691,38	17,42	9 691,38	17,40	0,01
Nuotekos	m <sup>3</sup>	143 364,00	256,65	143 364,00	257,43	0,22
Nuotekų tarša	t	142,76	0,26	142,76	0,26	0
Azoto oksidai (NO <sub>x</sub> )	t	<sup>4</sup> 315,54	<sup>3</sup> 0,52	262,52	0,47	0,05
Anglies dioksidas (CO <sub>2</sub> )	tūkst. t	274,80	0,49	274,80	0,47	0,02
Kitos emisijos į aplinkos orą	t	30,19	0,05	30,19	0,05	0

**Pastabos:**

<sup>1</sup>AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2018} = 556,43$  GWh – 2018 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>2</sup>AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{planuojama} = 556,43 + 0,47 = 556,90$  GWh – planuojamas FKTE pagaminti šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>3</sup>AAI<sub>s</sub> vertinimui naudojama 7 formulė, kurioje  $G_{2017} = 611,00$  GWh – 2017 m. FKTE pagamintas šiluminės ir elektros energijos kiekis;

<sup>4</sup>pateikiamas kiekis iš 2017 m. medžiagų ir energijos balanso.

Atlikus azoto oksidų valymo sistemos modernizavimą, didžiausias aplinkosauginis veiksmingumas buvo pasiektas reagentų suvartojime – amoniakinio vandens sąnaudos sumažėtų 0,19 t vienai GWh produkcijos pagaminti. Tai reiškia, per metus yra sutaupoma 157,19 t amoniakinio vandens, kurį gaminant taip pat išmetama tarša. Azoto oksidų kiekis įdiegus inovaciją buvo sumažintas 16,83 % ir pagaminant vieną GWh energijos į aplinką buvo išmetama 0,47 t NO<sub>x</sub>.

Įdiegus siūlomą inovaciją pagalbinio aušinimo procese, šiluminės energijos nuostoliai sumažėtų 47,3 GWh arba 0,09 GWh vienai GWh produkcijos. Sumažinus šiluminės energijos nuostolius bendras jėgainės energinis efektyvumas padidėtų 6,7 % ir siektų 84,7 %. Įvertinant pagaminamą vėsumos energiją (medžiagų ir energijos balanse nepateikta) kaip naudingą, energinis efektyvumas padidėtų daugiau – 8,2 %. Tokiu atveju bendras jėgainės energinis efektyvumas siektų 86,2 %. EE palyginimas su ES GPGB atliekų deginimui nurodytomis siektinomis vertėmis pateiktas 16 lentelėje.

**16 lentelė. EE palyginimas su ES GPGB nurodytomis siektinomis vertėmis**

Lyginami parametrai	Dimensija	Bendras energinis efektyvumas
Realus efektyvumas	proc.	78,0
Planuojamas efektyvumas po siūlomo projekto įdiegimo	proc.	86,2
Siektinas efektyvumas pagal GPGB atliekas deginantiems įrenginiams [18]	proc.	72–91

Esamas bendras energinis jėgainės efektyvumas atitinka GPGB atliekų deginimo įrenginiams nurodytą siektiną efektyvumą, tačiau po siūlomo projekto įdiegimo, jėgainės energinis efektyvumas priartėtų prie maksimalios GPGB nurodytos energinio efektyvumo vertės.

Nedidelis, tačiau teigiamas, aplinkosauginio veiksmingumo pokytis pastebimas ir kitose medžiagų ir energijos srautuose dėl 0,47 GWh padidėjusių gamybos apimčių.

## 5. Rekomendacijos nepavojobingas atliekas deginančioms įmonėms

Siekiant sumažinti šiluminės energijos nuostolius ir padidinti atliekas deginančių įrenginių energinį efektyvumą, siūloma:

- šiluminės energijos perteklių panaudoti elektros energijos gamybai naudojant organinį Renkino ciklą (ORC). Šiam elektros energijos gamybos būdai reikalingas karštas (apie 120 °C temperatūros) vanduo, todėl prieš tai reikia įvertinti, ar pagaminamos elektros energijos kiekis padengs elektros energijos gamybos efektyvumo sumažėjimą dėl blogesnės kondensacijos už garo turbinos (dėl aukštesnės temperatūros);
- šiluminės energijos perteklių panaudoti šalčio (vėsumos) energijos gamybai naudojant absorbcinius šaldymo agregatus. Pagaminta vėsumos energija galėtų būti tiekama pramonės objektams, kur šalčio energija būtų panaudojama procesui. Naudojant centralizuotą šildymo tiekimą (CŠT), pagamintą vėsumos energiją būtų galima tiekti vartotojams gyvenamųjų namų vėsinimui;
- perteklinę šilumos energiją vasaros metu būtų galima kaupti ir saugoti iki šildymo sezono pradžios, kada miesto šilumos poreikis yra didžiausias. Perteklinė energija galėtų būti saugoma šildant saugyklose esantį vandenį. Šiuo metu rinkoje yra siūlomos įvairių tipų didelio tūrio talpyklos, perteklinei energijai kaupti,
- planuoti deginimo įrenginių planinius sustojimus ar remontus vasaros metu, kada susidaro didelis šiluminės energijos perteklius.

Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkos orui, siūloma:

- naujiems įrenginiams taikyti efektyvesnę selektyviają katalizinę redukciją (SKR), kuri yra didesnio efektyvumo, tačiau reikalauja didesnių įrengimo ir eksploatacinių kaštų;
- taikyti kaskadinę aplinkos valdymo sistemą, kuri ribotų deginimo įrenginių išmetamą emisiją priklausomai nuo foninio oro užterštumo.

Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, taikant pramoninės simbiozės principus, parengus tinkamą teisinę bazę ir atlikus reikiamus tyrimus, visą atliekų deginimo įrenginiuose susidarantį dugno pelenų ir šlako kiekį, siūloma panaudoti civilinės inžinerijos sektoriuje, t. y. kelių tiesimui, pastatų statybai, šaligatvių trinkelėms ir kitų betoninių produktų gamybai.

## Išvados

1. Lietuvoje 2018 m. buvo surinkta 5,4 mln. t atliekų, iš kurių 26,1 % buvo perdirbtos, 48,1 % šalinamos sąvartyne ir 5 % atliekų buvo sutvarkyti deginant, ir gaminant šilumos bei elektros energiją. Atliekų deginimo veiklą reguliuoja tokie pagrindiniai teisės aktai: atliekų tvarkymo įstatymas, atliekų tvarkymo taisyklės, specialieji reikalavimai dideliems kurą deginantiesiems įrenginiams (DKDI) bei atliekų deginimo aplinkosauginiai reikalavimai. Atliekų deginimo veiklai yra reikalingas taršos integruotos prevencijos ir kontrolės (TIPK) leidimas. Prieš pradėdant veiklą atliekas deginantiesiems įrenginiams dažniausiai reikia atlikti planuojamos ūkinės veiklos (PŪV) pilną poveikio aplinkai vertinimo (PAV) procedūrą. Atliekos dažniausiai deginamos kogeneracinėse jėgainėse, turinčiose ardydines pakuras ir dūmtakių dujų kondensatorius.
2. Remiantis moksline ir praktine literatūra, didinti atliekas deginančių įrenginių energijos gamybos efektyvumą taikomi tokie metodai (arba jų deriniai) kaip: nuotekų dumblo džiovinimas, dūmtakių dujų srauto sumažinimas, šilumos nuostolių sumažinimas, katilų konstrukcijos optimizavimas, žemos temperatūros dūmtakių dujų šilumokaičių įdiegimas, aukštos temperatūros ir didelio slėgio garo naudojimas, bendra šilumos ir elektros energijos gamyba, dūmtakių dujų kondensatorių įdiegimas ir sausų nuosėdinių pelenų tvarkymas. Siekiant sumažinti į aplinkos orą išmetamų teršalų kiekį diegiamos pirminės ir antrinės priemonės, tokios kaip: deginimo proceso optimizavimas, dūmtakių dujų recirkuliacija, katalizinis rankovinis filtras, drėgnas dujų plautuvas, ir jų derinys su pažangiais valymo metodais, pavyzdžiui selektyviu nekatalitiniu valymu (SNKV) arba selektyviu katalitiniu valymu (SKV).
3. Nustatyta, kad analizuojamame objekte 2018 m. buvo pagaminta 556,43 GWh šilumos ir elektros energijos, susidarė 159,97 GWh šiluminės energijos nuostolių, o bendras jėgainės efektyvumas siekė 78,0 %. Vienai GWh energijos pagaminti buvo sunaudojama 461,56 t kuro, 0,74 t amoniakinio vandens, taip pat buvo išmetama 0,52 t azoto oksidų emisija. Nustatyta, kad didžiausi šiluminės energijos nuostoliai patiriami termofikato pagalbinio aušinimo procese.
4. Perteklinę šilumos energiją siūloma panaudoti vėsumos gamybai, modernizuojant pagalbinio aušinimo procesą panaudojant absorbcinio šaldymo agregatą. Įmonėje būtų pagaminama 10,75 GWh/ m. vėsumos energijos, o bendri energijos nuostoliai sumažėtų 47,3 GWh/ m. ir sudarytų 112,67 GWh/ m. Sumažinus šiluminės energijos nuostolius bendras jėgainės efektyvumas būtų padidintas iki 86,2 %.  
Įdiegus ŠG inovaciją – selektyvinio nekatalitinio valymo (SNKV) sistemos amoniakinio vandens dozavimą perkėlus į trečiąjį lygį, amoniakinio vandens sąnaudos buvo sumažintos 27,67 %. Azoto oksidų emisija sumažinta 16,83 %. Modernizavus SNKV sistemą buvo pagerintas aplinkosauginis veiksmingumas: 1 GWh produkcijos pagaminti sunaudojama 0,19 t mažiau amoniakinio vandens, o išmetamas azoto oksidų kiekis 0,05 t mažesnis.
5. Atliekas deginantiesiems įrenginiams rekomenduojama perteklinę šilumos energiją naudoti elektros energijos gamybai taikant organinį Renkino ciklą arba vėsumos energijos gamybai naudojant absorbcinio šaldymo agregatus. Taip pat, perteklinę energiją rekomenduojama kaupti šilumos saugyklose ir panaudoti esant poreikiui. Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, azoto oksidų taršos mažinimui siūloma taikyti SKR, kuri yra didesnio efektyvumo. Bendram oro taršos mažinimui atliekų deginimo įrenginiuose siūloma taikyti kaskadinę aplinkos valdymo sistemą, kuri sumažintų atliekas deginančių įrenginių išmetamas emisijas esant padidėjusiam foniniam oro užterštumui.

## Literatūros sąrašas

1. KRIŠČIŪNAS, Bronius ir Audrius DĒLĒLĒ. *Aplinkos inžinerija: mokomoji knyga*. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas, 2014. ISBN 978-609-467-020-6.
2. MALINAUSKAITĖ, J. et al. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* [interaktyvus]. December 2017, vol. 141, p. 2013-2044 [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 0360-5442.
3. EUROPEAN COMMISSION. Being wise with waste: the EU's approach to waste management. *An official website of the European Union* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2020 m. kovo 9 d.]. Prieiga per internetą: <https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf>
4. SORRELL, S. Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2015, vol. 47, p. 74–82 [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 1364-0321.
5. EUROSTAT. Municipal waste statistics. *Eurostat statistics explained* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020 m. balandžio 6 d.]. Prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics)
6. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Atliekų apskaitos duomenys pagal atliekų kodus. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://atliekos.gamta.lt/cms/index?rubricId=01f545a1-ebed-4f2d-b05a-2b1bf5e7494b>
7. PIRES, A. et al. Prevention and Reuse: Waste Hierarchy Steps Before Waste Collection. *Sustainable Solid Waste Collection and Management*. Cham: Springer, 2019, p. 13–23. ISSN 978-3-319-93199-9.
8. EUROPEAN COMMISSION. New waste rules will make EU global front-runner in waste management and recycling. *An official website of the European Union* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10 d.]. Prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/info/news/new-waste-rules-will-make-eu-global-front-runner-waste-management-and-recycling-2018-apr-18\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/new-waste-rules-will-make-eu-global-front-runner-waste-management-and-recycling-2018-apr-18_en)
9. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymas: 1996 m. rugpjūčio 15 d. Nr. I-1495* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.30545/asr>
10. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimas Nr. KL.1-3/2014. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga internetą per: <http://gamta.lt/files/Leidimas%20FORTUM.docx>
11. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimas Nr. T-K.4-24/2019. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/files/Kauno%20kogeneracin%C4%97s%20j%C4%97gain%C4%97s%20TIPK.pdf>
12. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Paraiška taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimui išduoti. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: [http://gamta.lt/files/VKJ\\_TIPK\\_paraiska.pdf](http://gamta.lt/files/VKJ_TIPK_paraiska.pdf)
13. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl atliekų deginimo aplinkosauginių reikalavimų patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2002 m. gruodžio 31*

- d. Nr. 699. [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.207966/CGwoJlphDo>
14. SCARLAT, N. et al. Status and Opportunities for Energy Recovery from Municipal Solid Waste in Europe. *Waste and Biomass Valorization* [interaktyvus]. April 2019. vol. 10, no. 9, p. 2425–2444 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.] SpringerLink. ISSN 1877-265X.
  15. ARDOLINO, F. et al. Environmental performances of a modern waste-to-energy unit in the light of the 2019 BREF document. *Waste Management* [interaktyvus]. 2020, vol. 104, p. 94-103 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. ScienceDirect. ISSN 0956-053X.
  16. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl specialiųjų reikalavimų dideliems kurą deginantiems įrenginiams patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2001 m. rugsėjo 28 d. Nr. 486.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.151945/asr>
  17. LIETUVOS REPSUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimų išdavimo, pakeitimo ir galiojimo panaikinimo taisyklių patvirtinimo: Lietuvos respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2013 m. liepos 15 d. Nr. D1-582.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.453692/zEZGnLgdBz>
  18. NEUWAHL, F. Et al. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration* [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637\\_WI\\_Bref\\_2019\\_published\\_0.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118637_WI_Bref_2019_published_0.pdf)
  19. PINASSEAU, A. et al. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment* [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018\\_WT\\_Bref.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC113018_WT_Bref.pdf)
  20. LECOMTE, T. et al. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants* [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC\\_107769\\_LCPBref\\_2017.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC_107769_LCPBref_2017.pdf)
  21. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas: 1998 m. birželio 16 d. Nr. VIII-787* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>
  22. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 1999 m. liepos 14 d. Nr. 217.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302/asr>
  23. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Atliekų tvarkytojų valstybės registras. Aplinkos apsaugos ministerija* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://atvr.aplinka.lt/faces/main>
  24. MIERZWIŃSKI, D. et al. Utilization of innovative system for coke oven wastewater treatment as an element of stabilization technology for post-process waste from municipal incineration plants. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [interaktyvus] . 2019, vol. 706, no. 1, 9 p. [žiūrėta 2020 m. balandžio 4 d.]. IOPscience. ISSN 1757-899X.

25. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2006 m. gegužės 17 d. Nr. D1-236.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.276576/asr>
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2007 m. balandžio 2 d. Nr. D1-193.* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.295779>
27. MOYA, D. et al. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: A worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. *Energy Procedia* [interaktyvus]. July 2017, vol. 134, p. 286-295 [žiūrėta 2020 m. balandžio 4 d.]. ScienceDirect. ISSN 1867-6102.
28. LOMBARDI, L. et al. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management* [interaktyvus]. March, 2015., vol. 37, p. 26-44 [žiūrėta 2020 m. balandžio 4 d.]. ScienceDirect. ISSN 0956-053X.
29. UAB SWECO LIETUVA. Valstybinės reikšmės atliekų tvarkymo objekto UAB „Fortum Klaipėda“ termofikacinės jėgainės eksploatacinio režimo optimizavimo poveikio aplinkai vertinimas. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/files/PAV%20ataskaita1447674363981.pdf>
30. CEWEP. Interactive Map of Waste-to-Energy Plants. *CEWEP* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.cewep.eu/interactive-map/>
31. BALTPPOOL. Šilumos aukciono dalyvių pasiūlymų eilės. *Baltpool* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. gegužės 5 d.] Prieiga per internetą: [https://e.baltpool.eu/heat/?ti=7099679&bp=h\\_results](https://e.baltpool.eu/heat/?ti=7099679&bp=h_results)
32. WWF. Swedish city Uppsala named global winner of WWF's 2018 One Planet City Challenge. *WWF – World Wide Fund For Nature* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: [https://wwf.panda.org/wwf\\_news/?334393/Swedish-city-Uppsala-named-global-winner-of-WWFs-2018-One-Planet-City-Challenge](https://wwf.panda.org/wwf_news/?334393/Swedish-city-Uppsala-named-global-winner-of-WWFs-2018-One-Planet-City-Challenge)
33. ISHOLA, Mofoluwake ir Cecilia TILLI. Waste-to-Energy Solutions in Uppsala, Sweden. *Renewable Energy and Sustainable Buildings* [interaktyvus]. 2020, p. 529-535 [žiūrėta 2020 m. kovo 5 d.]. Springer. ISBN 978-3-030-18488-9.
34. CYRANKA, Maciej ir Michal JURCZYK. Energy recovery from municipal waste on moving grate technology. *Agricultural Engineering* [interaktyvus]. 2016, vol. 20, no. 1, p. 23-33 [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.]. Sciendo. ISSN 2449-5999.
35. SHINO, Y. Analytical study of power generation efficiency of WtE systems operating In Tokyo special ward district. *Journal of Material Cycles and Waste Management* [interaktyvus]. 2018, vol. 20, no. 1, p. 632–644, [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.] SpringerLink. ISSN 1611-8227
36. RYU, Changkook ir Donghoon SHIN. Combined Heat and Power from Municipal Solid Waste: Current Status and Issues in South Korea. *Energies* [interaktyvus]. 2013, vol. 6, no. 1, p. 45-57 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ResearchGate. ISSN 1996-1073.
37. LABOKAS, Rokas. Elektros gamybos efektyvumo tyrimas ir didinimo galimybės kogeneraciniėje jėgainėje. *Chemija ir cheminė technologija: pranešimų medžiaga*. Klaipėda: Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas, 2018, p. 117-122.

38. GANG, W. et al. District cooling systems: Technology integration, system optimization, challenges and opportunities for applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2016, vol. 53, p. 253–264 [žiūrėta 2020 m. kovo 30 d.]. ScienceDirect. ISSN 1879-0690.
39. TSIGKAS, Ioannis ir Giorgos PANARAS. District Cooling Application on an Existing District Heating Infrastructure: Technologies and Potential. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [interaktyvus]. 2020, vol. 410, no. 1, p. 1-9 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. IOPScience. ISSN 1755-1315.
40. LI, J. et al. A Case Study of a CHP System and its Energy use Mapping. *Energy Procedia* [interaktyvus]. May 2017, vol. 105, p. 1526-1531 [žiūrėta 2020 m. kovo 11d.]. ScienceDirect. ISSN 1876-6102.
41. KARLSSON, Victor ir Lars NILSSON. Co-production of pyrolysis oil and district cooling in biomass-based CHP plants: Utilizing sequential vapour condensation heat as driving force in an absorption cooling machine. *Applied Thermal Engineering* [interaktyvus]. 2015, vol. 79, p. 9-16 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 1359-4311.
42. SHIUE, Angus, Shih-Cheng HU ir Kuo-Hsiung CHIANG. Effect of operating variables on performance of an absorption chiller driven by heat from municipal solid waste incineration. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* [interaktyvus]. 2018, vol. 27, no. 1, p. 134-140 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 2213-1388.
43. RUDRA, Souman, Lasse ROSENDAHL ir Morten B. BLARKE. Process analysis of a biomass-based quad-generation plant for combined power, heat, cooling, and synthetic natural gas production. *Energy Conversion and Management* [interaktyvus]. 2015, vol. 106, p. 1276-1285 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ResearchGate. ISSN 0196-8904.
44. INAYAT, A. and M. RAZA. District cooling system via renewable energy sources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2019, vol. 107, p. 360–373 [žiūrėta 2020 m. kovo 11 d.]. ScienceDirect. ISSN 1879-0690.
45. HOU, Ping et al. Life cycle assessment of end-of-life treatments for plastic film waste. *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2018, vol. 201, p. 1052-1060 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 0959-6526.
46. BOESCH, Michael E. et al. An LCA model for waste incineration enhanced with new technologies for metal recovery and application to the case of Switzerland. *Waste Management* [interaktyvus]. 2014, vol. 34, no. 2, p. 378-389 [žiūrėta 2020 balandžio 14 d.]. ScienceDirect. ISSN 0956-053X.
47. ERIKSSON, Ola et al. Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2007, vol. 35, no. 2, p. 1346-1362 [žiūrėta 2020 balandžio 14 d.]. ScienceDirect. ISSN 0301-4215.
48. STANIŠKIS, Jurgis K., Žaneta STASIŠKIENĖ ir Irina KLIPOVA. *Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris*. Kaunas: Technologija, 2002. ISBN 9955-09-312-9.
49. EUROPOS KOMISIJA. *Dėl pramoninių išmetamų teršalų pateikiamos geriausių prieinamų gamybos būdų (GPGB) išvados dėl didelių kurą deginančių įrenginių: Komisijos įgyvendinimo sprendimas: 2017 m. liepos 31 d. Nr. 2017/1442/ES* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX:32017D1442>



50. EUROPOS KOMISIJA. *Dėl pramoninių išmetamų teršalų pateikiamos geriausių prieinamų gamybos būdų (GPGB) išvados dėl atliekų deginimo: Komisijos įgyvendinimo sprendimas: 2019 m. lapkričio 12 d. Nr. 2010/75/ES* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą:  
<http://gamta.lt/files/i%C5%A1vada%20d%C4%97I%20atliek%C5%B3%20deginimo.pdf>
51. RAGOBNIG, Arne M., Christian WARTHA ir Andreas KIRCHNER. Energy efficiency in waste-to-energy and its relevance with regard to climate control. *Waste Management and Research* [interaktyvus]. 2008, vol. 26, no. 1, p. 70-77 [žiūrėta 2020 balandžio 16 d.]. NCBI. ISSN 0734-242X.
52. STRIŪGAS, Nerijus et al. Biomės ir atliekų dujinimo tyrimai Lietuvoje: esama būklė ir ateities perspektyvos. *Energetika* [interaktyvus]. 2016, vol. 62, no. 4, p. 282-300 [žiūrėta 2020 balandžio 16 d.]. Lietuvos mokslų akademija. ISSN 0235-7208.
53. STANIŠKIS, Jurgis K. et al. *Darniosios inovacijos Lietuvos pramonėje : kūrimas ir diegimas*. Kaunas: Technologija, 2010. ISBN 978-9955-25-815-5.
54. GEOFFREY, Morgan et al. Waste-to-Energy processes: what is the impact on air pollutants and health? A critical review of the literature. *Environmental Epidemiology* [interaktyvus]. 2019, vol. 3, p. 275-275 [žiūrėta 2020 m. balandžio 3 d.] ResearchGate. ISSN 1098-6596.
55. BUJAK, Janusz ir Piotr SITARZ. Reduction of NOx and CO emissions through the optimization of incineration parameters in a rotary kiln. *Environment Protection Engineering* [interaktyvus]. 2016, vol. 42, no. 1, p. 85-100 [žiūrėta 2020 balandžio 3 d.]. ResearchGate. ISSN 0324-8828.
56. LOCCI, Carlo et al. Selective Non-catalytic Reduction (SNCR) of Nitrogen Oxide Emissions: A Perspective from Numerical Modeling. *Flow, Turbulence and Combustion* [interaktyvus]. 2017, vol. 100, no. 2, p. 301-340 [žiūrėta 2020 kovo 10 d.]. Springer. ISSN 1573-1987.
57. KLIPOVA, I., M., Malinauskienė ir I., Baranauskaitė. Išteklius tausojančių švaresnės azoto trąšų gamybos inovacijų įvykdymo analizės studija. Studija parengta vykdant mokslinių tyrimų projektą Išteklius Tausojanti ir Švaresnė Azoto Trąšų Gamyba (ŠATG) 2014, p. 159.
58. KLIPOVA, Irina et al. Possibilities of Increasing Resource Efficiency in Nitrogen Fertilizer Production. *Clean Technologies and Environmental Policy* [interaktyvus]. 2015, vol. 18, no. 3, p. 901-914 [žiūrėta 2020 kovo 10 d.]. Springer. ISSN 1530-9290.
59. DONG, Liang et al. Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. *Energy Policy* [interaktyvus]. 2013, vol. 61, p. 864-873 [žiūrėta 2020 m. balandžio 10 d.]. ScienceDirect. ISSN 0301-4215.
60. KLIPOVA, I. *Komunalinių biologiškai skaidžių atliekų vadyba*. In: *Darni atliekų vadyba. Mokslo monografija*. Kaunas: Technologija, 2017, p. 142-273, 382-412. ISBN 978-609-02-1413-8.
61. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. Dėl medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2011 m. sausio 5 d. Nr. D1-14. [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. gegužės 20 d.]. Prieiga per internetą:  
<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.390822/asr>
62. MORKEVIČIUS, Vaidas, Audronė TELEŠIENĖ ir Giedrius ŽVALIAUSKAS. Kompiuterizuota kokybinių duomenų analizė su „NVivo“ ir „Text Analysis Suite“. *Lietuvos HSM duomenų archyvas* [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą:

- [http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/NVivo/nvivo.html&course\\_file=nvivo\\_turi\\_nys.html](http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/NVivo/nvivo.html&course_file=nvivo_turi_nys.html)
63. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. Paraiška taršos integruotos prevencijos ir kontrolės leidimui pakeisti. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: [http://gamta.lt/files/2016%2003%2010%20Paraiska%20FORTUM%20Klaipeda%20TIPKL%20%20pakeisti%20\\_FINAL.pdf](http://gamta.lt/files/2016%2003%2010%20Paraiska%20FORTUM%20Klaipeda%20TIPKL%20%20pakeisti%20_FINAL.pdf)
64. STATISTIKOS DEPARTAMENTAS. *Dėl kuro ir energijos balanso sudarymo metodikos patvirtinimo: Statistikos departamento prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės generalinio Direktoriatų įsakymas: 2004 m. lapkričio 24 d. Nr. DĮ-228*. [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.246084/asr>
65. STANIŠKIS, Jurgis K. ir Irina KLIPOVA. Process control for cleaner production: possibilities and efficiency. *Environmental research, engineering and management* [interaktyvus]. 2001, vol. 16, no. 2, p. 32-41 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. ResearchGate. ISSN 1392-1649.
66. MALINAUSKIENĖ, Milda et al. Integrating resource criticality assessment into evaluation of cleaner production possibilities for increasing resource efficiency. *Clean technologies and environmental policy* [interaktyvus]. 2016, vol. 18, no. 5, p. 1333-1344 [žiūrėta 2020 balandžio 10 d.]. Springer. ISSN 1618-9558.
67. ELECTRICITY MAP. Climate Impact by Area. *Electricity map* [interaktyvus]. N.d. [žiūrėta 2020 kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.electricitymap.org/map>
68. UNDAITĖ-BARSTEIGIENĖ, M. et al. Šlakų, susidarantių deginant komunalines atliekas, naudojimas betono mišiniuose. *Mokslas – Lietuvos ateitis* [interaktyvus]. 2017, vol. 9, no. 5, p. 524-530 [žiūrėta 2020 m. balandžio 3 d.]. SCIENCE – FUTURE of LITHUANIA. ISSN 2029-2252.
69. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. 2018 m. statistiniai oro kokybės tyrimų rodikliai. *Aplinkos apsaugos agentūra* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2020 balandžio 14 d.]. Prieiga per internetą: [http://oras.gamta.lt/files/2018\\_STATISTIKA\\_oras.pdf](http://oras.gamta.lt/files/2018_STATISTIKA_oras.pdf)
70. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. *Dėl aplinkos ministro ir sveikatos apsaugos ministro 2001 m. gruodžio 11 d. Įsakymo nr. 591/640 „Dėl aplinkos oro užterštumo normų nustatymo“ pakeitimo: 2010 m. liepos 7 d. Nr. D1-585/V-611* [interaktyvus] [žiūrėta 2020 m. kovo 20 d.]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.378076>
71. GARCIA, F. N., et al. *Best Available Techniques (BAT) for the heat and cooling market in the Europe Union* [interaktyvus]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012 [žiūrėta 2020 m. kovo 3 d.]. Prieiga per internetą: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72656/eur%2025407%20en%20-%20heat%20and%20cooling%20final%20report-%20online.pdf>

## Priedai

### 1 priedas. UAB „Fortum Klaipėda“ deginamų atliekų kodai

Atliekos kodas	Atliekos pavadinimas
19 02 10	degios atliekos, nenurodytos 19 02 08 ir 19 02 09
19 12 07	mediena, nenurodyta 19 12 06
04 02 21	neperdirbto tekstilės pluošto atliekos
19 08 01	rūšiavimo atliekos
19 12 08	tekstilės dirbiniai
02 02 03	vartoti ar perdirbti netinkamos medžiagos
15 02 03	absorbentai, filtrų medžiagos, pašluostės ir apsauginiai drabužiai, nenurodyti 15 02 02
19 02 03	iš anksto sumaišytos atliekos, sudarytos tik iš nepavojingųjų atliekų
16 01 22	kitaip neapibrėžtos sudedamosios dalys
03 01 05	pjuvenos, drožlės, skiedros, mediena, medienos drožlių plokštės ir fanera, nenurodyti 03 01 04
16 03 04	neorganinės atliekos, nenurodytos 16 03 03
17 02 01	medis
19 12 10	degiosios atliekos (iš atliekų gautas kuras)
03 03 07	mechanškai atskirtas popieriaus ir kartono atliekų virinimo brokas
03 01 01	medžio žievės ir kamščiamedžio atliekos
04 02 22	perdirbto tekstilės pluošto atliekos
16 03 06	organinės atliekos, nenurodytos 16 03 05
19 05 01	nekompostuotos komunalinių ar panašių atliekų frakcijos
02 01 03	augalų audinių atliekos
02 01 07	miškininkystės atliekos
19 12 12	kitos mechaninio atliekų apdorojimo atliekos (įskaitant medžiagų mišinius), nenurodytos 19 12 11
03 03 08	perdirbti skirto popieriaus ir kartono rūšiavimo atliekos
20 02 03	kitos biologiškai nesuyrančios atliekos
07 05 14	kietosios atliekos, nenurodytos 07 05 13
03 03 01	medžio žievės ir medienos atliekos
18 01 04	atliekos, kurių rinkimui ir šalinimui netaikomi specialūs reikalavimai, kad būtų išvengta infekcijos (pvz., tvarsliaiva, gipso tvarščiai, skalbiniai, vienkartiniai drabužiai, vystyklai)
18 01 07	cheminės medžiagos, nenurodytos 18 01 06
18 01 09	vaistai, nenurodyti 18 01 08
18 02 03	atliekos, kurių rinkimui ir šalinimui netaikomi specialūs reikalavimai, kad būtų išvengta infekcijos
18 02 06	cheminės medžiagos, nenurodytos 18 02 05
18 02 08	vaistai, nenurodyti 18 02 07
19 08 05	miesto buitinių nuotekų valymo dumblas
19 08 14	kitokio pramoninių nuotekų valymo dumblas, nenurodytas 19 08 13

20 03 07	didžiosios atliekos
07 02 12	nuotekų valymo jų susidarymo vietoje dumblas, nenurodytas 07 02 11
15 01 01	popieriaus ir kartono pakuotės
15 01 02	plastikinės (kartu su PET (polietilentereftalatas)) pakuotės
15 01 03	medinės pakuotės
15 01 05	kombinuotosios pakuotės
15 01 06	mišrios pakuotės
15 01 09	pakuotės iš tekstilės
19 02 99	kitaip neapibrėžtos atliekos
19 02 06	fizinio/cheminio apdorojimo dumblas, nenurodytas 19 02 05

## 2 priedas. Absorbcinio šaldymo įrenginio „2AA1300“ techninės specifikacijos

### Performance Data

Model		Unit	2AA340	2AA375	2AA420	2AA470	2AA525	2AA580	2AA630	2AA680	2AA750	2AA820	2AA900	2AA975	2AA1050	2AA1125	2AA1300															
Cooling Capacity		kW	1,196	1,319	1,477	1,653	1,846	2,039	2,215	2,391	2,637	2,883	3,165	3,428	3,692	3,956	4,571															
		usRT	340	375	420	470	525	580	630	680	750	820	900	975	1,050	1,125	1,300															
Chilled Water	Inlet Temp./Outlet Temp.	°C	13 / 8																													
	Flow rate	m <sup>3</sup> /h	206	227	254	284	318	351	381	411	454	496	544	590	635	680	786															
	Pressure Drop	mH <sub>2</sub> O	3.0	3.2	4.4	5.9	5.6	7.3	9.1	5.5	7.1	9.0	6.9	8.6	5.2	6.4	9.5															
	Connection	mm	200					250					300																			
Cooling Water	Inlet Temp./Outlet Temp.	°C	31 / 36																													
	Flow rate	m <sup>3</sup> /h	709	782	875	979	1,094	1,209	1,313	1,417	1,563	1,709	1,876	2,032	2,188	2,345	2,709															
	Pressure Drop	mH <sub>2</sub> O	8.0	8.0	7.9	10.6	4.7	5.7	7.2	4.7	6.0	7.2	5.9	7.3	5.6	5.8	10.0															
	Connection	mm	300			350			400			450			500																	
Hot Water	Inlet Temp./Outlet Temp.	°C	70 / 60																													
	Flow rate		ton/h	250	275	308	345	385	426	462	499	551	502	661	716	771	826	954														
			m <sup>3</sup> /h	255	282	315	353	394	436	473	511	563	616	676	732	789	845	976														
	Pressure Drop	Shell	mH <sub>2</sub> O	3.9	4.0	5.1	6.8	6.7	3.5	4.4	3.1	3.9	4.0	3.4	4.1	3.1	3.7	5.4														
		Control Valve	mH <sub>2</sub> O	1.8	2.2	2.8	3.5	4.4	2.3	2.7	3.2	3.9	4.6	1.8	2.1	2.4	2.8	3.7														
	Connection	mm	200			250			300			350																				
Control Valve	mm	200					250					300																				
Electric	Power source	-	3PH, 400V, 50Hz																													
	Abs. Pumps	kW(A)	4.8 (15.0)			5.6 (17.0)			9.0 (22.0)			9.0 (22.6)			10.0 (30.4)			13.4 (40.0)														
	Ref. Pump	kW(A)	0.4 (1.4)																													
	Purge Pump	kW(A)	0.4 (1.4)					0.75 (2.2)																								
	Control Panel	kW(A)	0.2 (0.5)																													
	Total kW	kW	3.4			3.8			5.5			6.6			7.0			7.5			9.2											
	Total Ampere @400V	A	10.8			11.8			14.3			19.2			20.0			21.9			26.7											
Size	Length (L)	mm	5,368		5,910		6,408		6,633		7,158		7,658		6,841		7,366		7,866		7,378		7,878		7,866		8,166		9,166			
	Width (W)	mm	2,718			2,815			2,995			3,072			3,657			3,746			4,150			5,052								
	Height (H)	mm	3,019					3,240					3,546					3,929					4,000									
Weight	Rigging	ton	14.9	15.4	20.9	22.8	24.4	26.9	29.3	30.7	33.8	40.0	42.2	44.9	47.4	50.7	58.4															
	Operation	ton	17.8	18.6	25.3	27.5	29.6	32.6	35.5	36.2	39.9	47.4	50.1	53.1	57.7	61.7	70.5															
Space for Tube Replacement		mm	4,600			5,200			5,700			6,200			6,700			6,200			6,700			6,300			6,800			7,800		
Water Volume of Machine	Chilled Water Side	ℓ	465	485	526	563	656	701	744	944	1,004	1,060	1,355	1,423	1,795	1,890	2,076															
	Cooling Water Side	ℓ	1,696	1,780	1,909	2,027	2,405	2,545	2,678	3,127	3,308	3,481	4,376	4,586	6,112	6,390	6,946															
	Hot Water Side	ℓ	762	812	889	959	1,127	1,207	1,284	1,562	1,674	1,781	2,073	2,205	2,708	2,868	3,188															

### Option

1. Non-standard cooling capacity.
2. Higher working pressure (230psig = 1.6MPa, 300psig = 2.0MPa)
3. Special tubes (material) & thickness.
4. Various temp. conditions (CHW, CW, HW)
5. Outdoor installation.
6. The specifications above are subject to change without prior notice for an improvement of the chiller.

3 priedas. Pažymėjimas dėl dalyvavimo mokslinėje konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ Aplinkos apsaugos inžinerija

