

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS
JŪROS TECHNOLOGIJŲ IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
INŽINERIJOS KATEDRA

Šarūnas Šukutis

ENERGIJOS GAMYBOS EFEKTYVUMO DIDINIMAS
AB „KLAIPĖDOS ENERGIJA“

Naftos ir dujų technologinių procesų studijų programos
magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovė: prof. dr. T. Paulauskienė

Klaipėda, 2021

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO LYDRAŠTIS

.....-.....-.....
(data)

Patvirtinu, kad mano Magistro baigiamojo darbo tema *Energijos gamybos efektyvumo didinimas AB „Klaipėdos energija“* bendraautorius yra mano darbo vadovė prof. dr. T. Paulauskienė ir kartu dirbęs asmenys. Sutinku, kad darbo rezultatai gali būti publikuojami ir naudojami tolimesniuose tyrimuose.

Studentas

(parašas)

Šukutis Šarūnas

TVIRTINU:

JTGMF Inžinerijos katedros vedėjas

(parašas)

Audrius Senulis

MAGISTRO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠTIS

Pildo magistro baigiamojo darbo autorius

Šukutis Šarūnas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

Energijos gamybos efektyvumo didinimas AB „Klaipėdos energija“

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad magistro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis magistro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

Šukutis Šarūnas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Sutinku, kad magistro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

Šukutis Šarūnas

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

leidžiu

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2020 12 29

(data)

prof. dr. T. Paulauskienė

(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas katedroje.....61JG-M-BD-I-.....

2021 01 08

(data)

A. Klemanskytė

(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuriojančios studijų programą, vedėjas

Magistro baigiamąjį darbą ginti

.....

2020 12 29

(data)

doc. dr. A. Senulis

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Recenzentu(-ais) skiriu Doc. dr. A. Senulis, Prof. dr. O. Anne.....

(įrašyti recenzento(ų) vardą, pavardę)

2020 12 29

(data)

doc. dr. A. Senulis

(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Klaipėdos universitetas

Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas

Inžinerijos katedra

Naftos ir dujų technologinių procesų studijų programos magistro baigiamasis darbas

ENERGIJOS GAMYBOS EFEKTYVUMO DIDINIMAS AB „KLAIPĖDOS ENERGIJA“

Autorius Š. Šukutis

Darbo vadovė prof. dr. T. Paulauskienė

ANOTACIJA

Didėjant energijos poreikiui pasaulyje, siekiama užtikrinti patikimą ir ilgalaikį energijos tiekimo būdą. Pasaulinės tendencijos rodo mažėjantį iškastinio kuro sunaudojimą, o šalys, kurios neturi tokių resursų ir norinčios išlikti energetiškai nepriklausomoms, ieško alternatyvų. Viena jų – atsinaujinantys energijos ištekliai, kurie yra ne tik draugiški aplinkai, bet ir pasiekiami kiekvienai šaliai, nepriklausomai nuo geografinės padėties. Darbe apžvelgtos tendencijos pasaulyje, gaminant šiluminę energiją iš įvairių kuro šaltinių ir jų pokyčiai.

Lietuvoje šiuo metu pagrindinis šiluminės energijos atsinaujinantis šaltinis išlieka biokuras. Katilinėms siekiant maksimalaus efektyvumo, reikalingos rekonstrukcijos. Šiluminę energiją gaminančiose įmonėse, naudingą darbą ženkliai pagerina dūmų kondensacinis ekonomizeris, kuris įrengtas daugelyje biokuro katilinių. Siekiant dar didesnio efektyvumo yra galimybė įrengti absorbcinį šilumos siurbį, kuris dirbtų lygiagrečiai su kondensaciniu ekonomizeriu.

Šiame darbe bus ieškoma technologinių sprendimų, kurie leistų AB „Klaipėdos energija“ biokuro katilų darbą ir naudingą veikimą padidinti iki maksimumo. Taip pat bus ieškoma sprendimų sumažinti įmonėje sudeginto iškastinio kuro kiekį, jį pakeičiant šilumine energija, gauta iš po galimo technologinės linijos modernizavimo scenarijaus.

Raktiniai žodžiai: absorbcinis šilumos siurblys, dūmų kondensacinis ekonomizeris, rekonstrukcija, energetinis efektyvumas

TURINYS

IVADAS	6
I. LITERATŪROS APŽVALGA	7
1.1. Pasaulinės energijos gamybos iš atsinaujinančių šaltinių apžvalga	7
1.2. Energiją gaminančių įmonių Lietuvoje 1991-2019 metais apžvalga	9
1.3. Biokuro katilų tipai ir energijos efektyvumo didinimo sprendimai	11
1.4. Papildomi įmonės efektyvumo didinimo sprendimai	22
II. METODINĖ DALIS	26
2.1. Tyrimo objektas	26
2.2. Biokuro katilų ir jų įrenginių efektyvumui turinčių veiksnių vertinimas	28
2.3. Absorbcinio šilumos siurblio ir dūmų kondensacinio ekonomizerio skaičiavimo metodika	30
2.4. Sudeginto mazuto ir pagamintos energijos kiekių skaičiavimo metodika	37
III. ANALITINĖ DALIS	39
3.1. Klaipėdos miesto energijos poreikio ir AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekių analizė	39
3.2. Žaliavos kokybės įtakos efektyviam katilinės darbui pasiekti analizė	43
3.3. AB „Klaipėdos energija“ energetinio efektyvumo didinimo galimybių analizė	45
3.4. Technologinės linijos modernizavimo scenarijų skaičiavimo rezultatų analizė	50
3.5. Taršaus kuro sunaudojimo esant skirtingiems technologinės linijos modernizavimo scenarijams lyginamoji analizė	53
REKOMENDACIJOS	55
IŠVADOS	56
SUMMARY	57
LITERATŪROS SĄRAŠAS	58

IVADAS

Šiais laikais augant ekonomikai, didėja ir poreikis stabiliam energijos tiekimui, kurį turi užtikrinti energijos gamybos įmonės. Dabartiniu metu ir pastaruosius dešimtmečius pagrindinis energijos šaltinis buvo iškastinis kuras, kurio ištekliai laikui bėgant stabiliai mažėja. Dėl šios priežasties technologijų varomas pasaulis investuoja didelį kiekį lėšų į atsinaujinančią energiją, kuri yra draugiška aplinkai ir užtikrina pastovumą energijos tiekimo srityje. Vienas iš pavyzdžių, atsinaujinančios energijos rūšies, kuri gali suteikti ne tik elektros bet ir šiluminę energiją, yra biokuras.

Lietuvoje, kurioje šildymo poreikis yra ganėtinai didelis, nuolatinis energijos tiekimas yra privalomas. Tačiau Lietuva neturi pakankamai savo iškastinio kuro telkinių ir kuras yra importuojamas, todėl atsinaujinanti energija yra vienas iš geriausių būdų išlikti nepriklausomiems. Dėl šios priežasties iki 2030 metų nacionalinėje energetinės nepriklausomybės strategijoje numatyta atsinaujinančių energijos išteklių dalį, palyginti su šalies bendruoju suvartojimu, padidinti iki 45 % (LR energetikos ministerija, 2018). Lietuvos plotą dengia didelis kiekis derlingos žemės ir dideli medienos resursai, taip biokuro katilines paverčiant vienu iš geriausių sprendimu tikslo siekimui.

Pastaraisiais metais augant biokuro katilinių skaičiui, siekiama efektyviai išnaudoti jų darbą, iki minimumo sumažinant šiluminius nuostolius ir aplinkos taršą. Ne išimtis yra ir AB „Klaipėdos energija“. Įmonėje yra trys mišraus kuro ir keturi biokuro vandens šildymo katilai, kuriuose deginama medžio skiedra. Taip pat yra naudojami dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai, papildomai šiluminei energijai gauti iš pasišalinančių degimo produktų deginant biokurą. Sekant pasaulines tendencijas energetikos srityje ir siekiant padidinti įmonės energetinį efektyvumą ir prisidėti prie neutralaus poveikio klimatui ekonomikos tolimesnės investicijos būtų žingsnis pirmyn, link Lietuvos atsinaujinančios energetikos strategijos įgyvendinimo.

Šio darbo tikslas: įvertinti energijos gamybos efektyvumo didinimo galimybes AB „Klaipėdos energija“.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti šiluminės energijos gamybos ir efektyvumo didinimo tendencijas.
2. Atlikti įmonės technologinių procesų analizę ir įvertinti įmonės optimizavimo galimybes ir perspektyvas.
3. Išanalizuoti absorbcinio šilumos siurblio (-ių), dūmų kondensacinio ekonomaizerio įrengimo ir panaudojimo galimybes AB „Klaipėdos energija“.
4. Atlikti siūlomų sistemų efektyvumo vertinimą ir sudeginto taršaus kuro mažinimo perspektyvas.
5. Pateikti praktines energijos gamybos efektyvumo didinimo AB „Klaipėdos energija“ rekomendacijas.

I. LITERATŪROS APŽVALGA

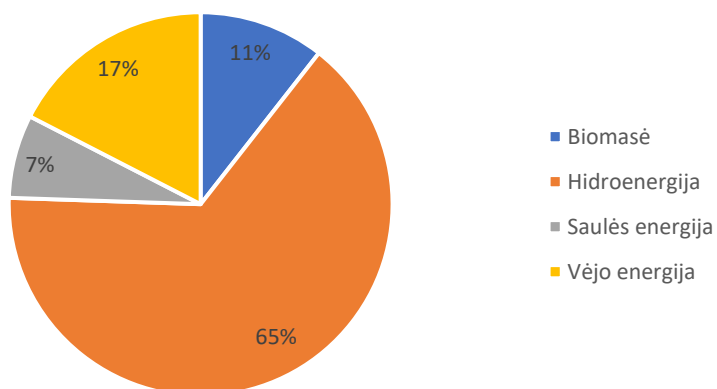
1.1. Pasaulinės energijos gamybos iš atsinaujinančių šaltinių apžvalga

Šiuo metu pasaulyje didėja energijos gamyba naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius. Vienas jų yra biomasė. Didėjant gaunamos energijos kiekiui iš biomasės ir norint maksimaliai ją išnaudoti bei atitikti poreikį, verta pagalvoti apie efektyvumo didinimo galimybes. Didėjančios iškastinio kuro kainos, aplinkosauginiai iššūkiai bei klimato kaita skatina investuoti į atsinaujinančią energiją. Naujos bei efektyvios technologijos, leidžia pasiekti stabilumą gaminant elektros ir šiluminę energiją iš vietinių atsinaujinančių energijos šaltinių (Lamers ir kt., 2018).

1 lentelė. Elektros energijos kiekis, pagamintas pasaulyje iš atsinaujinančios energijos (World Bioenergy Association, 2019)

	Elektros energija, TWh	Iš atsinaujinančių energijos šaltinių, TWh	Biomasė, TWh	Hidroenergija, TWh	Saulės energija, TWh	Vėjo energija, TWh
2000	15522	2950	217,08	2700	1,52	31,4
2005	18381	3412	384,5	3019	4,5	104
2010	21571	4337	430,2	3532	33,8	341
2015	24372	5689	597	3993	260	839
2016	25082	6119	652	4170	339	958
2017	25717	6461	683	4197	454	1127

1 lentelėje matome, kaip atsinaujinanti energija yra vis plačiau naudojama gaminant elektrą. 2000 – iais metais pagamintos elektros energijos kiekis siekė 2950 TWh, o 2017 metais jau 6461 TWh. Per septyniolika metų padidėjimas siekė net 46 %.



1 pav. Elektros energijos kiekis procentais, pagamintas pasaulyje iš atsinaujinančios energijos 2017 m. (World Bioenergy Association, 2019)

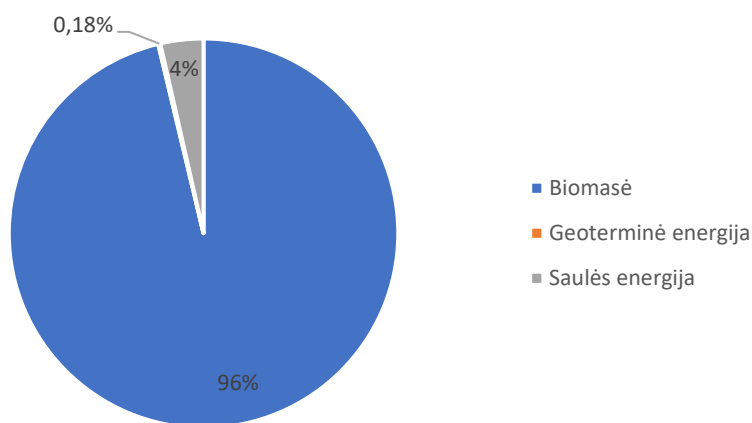
Daugiausiai elektros energijos 2017 metais pagaminama hidroelektrinėse, net 65 %, o mažiausias kiekis gaunamas iš saulės energijos (1 pav.). Per šiuos metus, elektros energijos poreikis padidėjo daugiau kaip 10000 TWh. Tuo tarpu iš biomasės buvo pagaminta 683 TWh energijos.

Beveik pusę visų energijos sąnaudų yra panaudojama kaip šilumos forma – gyvenamųjų, komercinių bei pramoninių pastatų šildymui, taip pat pramoninėje gamyboje bei karštam vandeniui gaminti (Renewables, 2019) Vienas iš labiausiai paplitusių atsinaujinančių energijos šaltinių yra biomasė. Šiluminės energijos gamyboje, apart biomasės, kuri sudaro 96 % visos pagamintos energijos, dar yra naudojama saulės bei geoterminė energija.

2 lentelė. Šiluminės energijos kiekis, pagamintas iš atsinaujinančios energijos 2000-2017 metais
(World Bioenergy Association, 2019)

	Biomasė, EJ	Saulės energija, EJ	Geoterminė energija, EJ	Viso šiluminės energijos iš atsinaujinančių energijos šaltinių, EJ
2000	0,41	0	0,02	0,43
2005	0,53	0	0,02	0,55
2010	0,80	0	0,03	0,82
2015	0,96	0,001	0,03	1,00
2016	1,05	0,002	0,04	1,10
2017	1,08	0,002	0,04	1,12

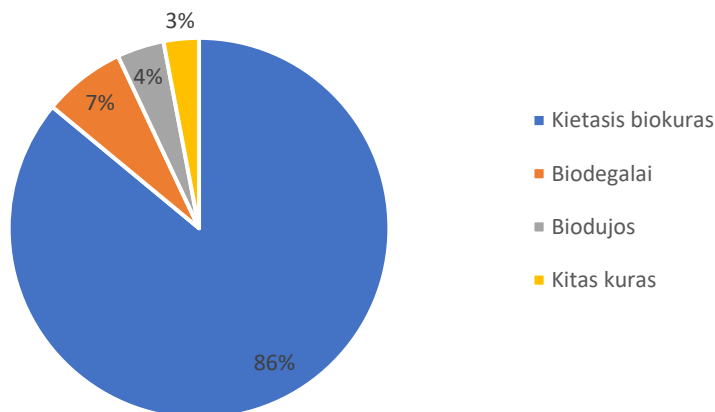
Nuo 2000-ųjų iki 2017 metų pagamintos šiluminės energijos kiekis iš atsinaujinančios energijos padidėjo daugiau nei du kartus, nuo 0,43 iki 1,12 EJ (2 lent.). Pagrindinis ir dominuojantis šaltinis išlieka biomasė, iš kurio pagamintos šiluminės energijos kiekis padidėjo net 62 %.



2 pav. Šiluminės energijos kiekis procentais, pagamintas iš atsinaujinančios energijos 2017 m.
(World Bioenergy Association, 2019)

Iš 2 paveiksle pateiktų duomenų, matyti, kad pasaulyje be konkurencijos biomasė išlieka vienvaldis lyderis tarp atsinaujinančių energijos šaltinių, iš kurių gaminama šiluminė energija. Šiluminės energijos gamyba iš atsinaujinančios energijos yra gana ribota (IRENA, 2019). Gauti

šiluminę energiją yra galimybė tik iš saulės, geoterminės bei biomasės energijos. Pagal 2 paveikslą, galime matyti pasiskirstymą, kuris atsinaujinančios energijos šaltinis dominuoja, todėl galime teigti, kad augančios perspektyvos deginti kietąjį biokurą išlieka ir toliau, todėl reikia tęsti investicijas į efektyvesnę įrangą ir energijos gamybą iš biomasės.



3 pav. 2017 metais pasaulyje iš biomasės pagamintos kuro rūšys (World Bioenergy Association, 2019)

Didžiausias biomasės sunaudojimas, net 87 %, yra biokuro katilinėse Europos Sąjungoje (Brack ir kt, 2018). 2017 metais, 55,6 EJ energijos sudarė biomasė, kurio net 86 % sudarė kietasis biokuras, naudojamas katilinėse, šiluminei energijai išgauti. 7 % biomasės sudarė biodegalai ir 4 % - biodujos (3 pav.).

Lietuvoje yra taip pat yra didelis šiluminės energijos poreikis, tačiau Lietuva neturi savo iškastinio kuro, kurį galėtų naudoti šiluminės energijos gamybai, todėl atsinaujinanti energija yra puikus sprendimas norint tiekti užtikrintą šiluminę energiją ir būti nepriklausomais nuo iškastinio kuro tiekiamo iš užsienio. Todėl iki 2020 metų šalies energetinis tikslas buvo, kad pagamintos energijos kiekis iš atsinaujinančios energijos siektų penktadalį visos energijos kiekio (Nagevičius, 2020). Taip pat šalis turi didelį medienos resursų kiekį, kuris gali būti panaudotas biokuro katilinėse.

1.2 Energiją gaminančių įmonių Lietuvoje 1991-2019 metais apžvalga

Lietuvoje energiją gaminančios įmonės keitėsi bėgant metams ir kintant situacijai pasaulyje. 1991 metų pradžioje bendras pagamintas Lietuvoje energijos kiekis siekė 5733 MW. Didžiąją pagamintos energijos dalį sudarė Ignalinos atominė elektrinė ir Lietuvos elektrinė (3 lentelė). Keičiantis energijos poreikiui ir įstojus į Europos Sąjungą pasikeitė energijos gamybos situacija. 2005 metais buvo sustabdytas pirmasis Ignalinos atominės elektrinės reaktorius, o 2010 metais – antrasis. 2009 metais Europos komisija išsikėlė tikslą – sumažinti išmetamųjų šiltnamio dujų kiekį į aplinką, lyginant su 1990 metais, kiekis turėtų sumažėti 80 - 95 % (Šaduikis ir kt., 2015).

Sustojus energijos gamybai Ignalinos AE ir tikslo siekimas privertė ieškoti naujų, aplinkai draugiškų energijos šaltinių. Vienas iš jų buvo atsinaujinantys energijos ištekliai. Imta statyti vėjo jėgainės, saulės elektrinės bei biokuro katilinės.

3 lentelė. Lietuvos elektrinių galia 1991 metais (Šaduikis ir kt., 2015)

Nr.	Elektrinės	Įrengta galia, MW
1	Ignalinos AE	3000
2	Lietuvos elektrinė	1800
3	Vilniaus TE-3	360
4	Vilniaus TE-2	29
5	Kauno TE	170
6	Petrašiūnų TE	13
7	Mažeikių TE	194
8	Klaipėdos TE	11
9	Kauno HE	100
10	Mažosios HE	5
11	Blokinės elektrinės	51
Iš viso:		5733

4 lentelė. Lietuvos elektrinių galia 2014 metais (Šaduikis ir kt., 2015)

Nr.	Elektrinės	Įrengta galia, MW
Šiluminės elektrinės		2856
1	Lietuvos	1995
2	Vilniaus	389
3	Kauno	170
4	Petrašiūnų	8
5	Klaipėdos	11
6	Panevėžio	35
7	Kitos	288
Hidroelektrinės		1028
1	Kauno HE	101
2	Kruonio HAE	900
3	Mažosios hidroelektrinės	27
Kitų atsinaujinančių energijos išteklių elektrinės		441
Vėjo		281
Biokuro		92
Saulės		68
Iš viso:		8690

Instaliuota vėjo energijos galia leidžia gaminti tik elektros energiją. Energija gauta iš saulės pagrinde naudojama taip pat gaminti elektros energijai, kadangi šiluminės energijos kiekis, gautas iš saulės energijos yra nepakankamas, norint aprūpinti Lietuvos gyventojų poreikius. Taip pat saulės elektrinių įrengimo kaina yra kur kas didesnė lyginant su biokuro deginimu pagal pagaminamą šiluminės energijos kiekį (McKendry, 2011). Todėl vienintelė išeitis norint siekti užsibrėžto tikslo

bei užtikrinti šiluminės energijos poreikį nuo 2010 metų Lietuvoje buvo sparčiai pradėtos įrenginėti biokuro katilinės.

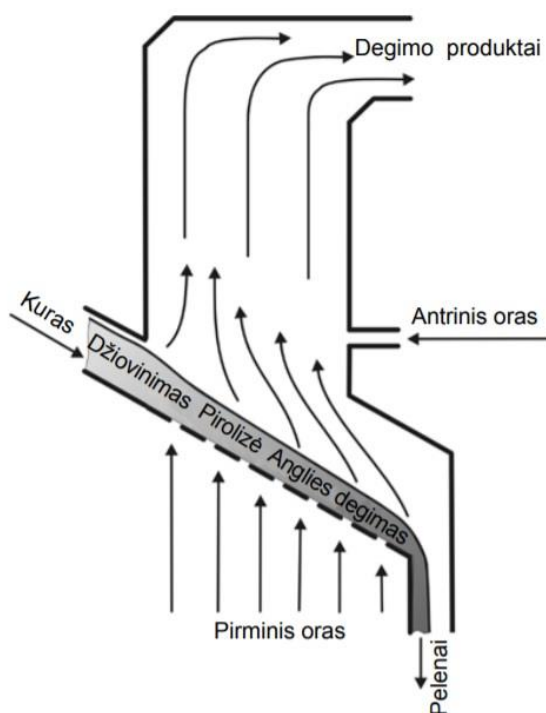
Jau 2014 metais biokuro katilinės Lietuvoje gamindavo 507 MWh, o per 2013 metus Lietuvoje iš biokuro buvo pagaminta 34 % visos tiekiamos šilumos (4 lent.). Šie skaičiai bėgant metams tik didėjo, 2016 metais pagamintas šiluminės energijos kiekis iš biokuro jau siekė 49 %, o 2018 metais net 63 %. 2018 metais kietasis biokuras sudarė 81 % visos pagamintos energijos iš atsinaujinančių šaltinių. Paskutiniaisiais duomenimis 2019 metais iš kietojo biokuro buvo pagaminta 5,2 TWh šiluminės energijos (Litbioma, 2020). Atsinaujinanti energija sudarė 76 % (ES vidurkis 55 %) visos pagamintos energijos Lietuvoje ir bėgant metams šis skaičius didėja. Lietuvoje centralizuoto šildymo tinklams gaminamas energijos kiekis vis didėja iš atsinaujinančios energijos, taip pat biokuro kaina šiuo metu yra mažiausia, todėl pigiausias energijos gavimo būdas išlieka iš kietojo biokuro. Verta paminėti, kad Lietuvoje yra atliekų deginimo katilinė, kurios šiluminės energijos galia siekia 63 MW. Ši katilinė įsirengusi Klaipėdoje, tačiau 2020 metais buvo pradėta eksploatuoti Kauno atliekų deginimo katilinė, kurios šiluminis galingumas siekia 70 MW. Šios atliekų deginimo katilinės leis panaudoti ~350 tūkst. tonų komunalinių atliekų, likusių po rūšiavimo (Fortum, 2020). Likusį šiluminės energijos kiekį Lietuvoje yra pagaminama naudojant gamtines dujas, tačiau šis kiekis vis labiau yra mažinamas atsižvelgiant į ES politiką bei šiuo metu vyraujančias katilinėse deginamo kuro kainas.

1.3 Biokuro katilų tipai ir energijos efektyvumo didinimo sprendimai

Šiais laikais biokuro katilų technologija yra plačiai išvystyta, deginant naudingumo koeficientas siekia nuo 85 iki 89 %, o medienos skiedrą nuo 78 iki 86 %, priklausomai nuo kuro kaloringumo (Vares ir kt., 2005). Pateikti naudingo veikimo koeficientai yra tik biokuro katilo, nenaudojant papildomų įrenginių. Pagrindiniai nuostoliai, kurie sumažina katilo efektyvumą yra išėinančiuose degimo produktuose, kurių temperatūra dažniausiai svyruoja nuo 150 – 180 °C (Gimbutis ir kt., 1993). Biokuro katilinėms intensyviai gaminant šiluminę energiją visame pasaulyje, išlieka įrenginių darbo optimizavimo ir našumo didinimo būtinybė. Katilinės, kurios degina biokurą susideda iš įvairių įrenginių, tokių kaip (Gudzinskas ir kt., 2011):

- kuro ūkis – įrenginių kompleksas, kuris susideda iš kuro transporterių, hidrocilindrų, hidrostotelių, kuro sandėlio ir kuro bunkerio;
- pelenų šalinimo sistema – pelenų transporteriai, sandėliavimo talpa (konteineris), katilo ardynas, pelenų hidrocilindrai ir pan.;
- išėinančių dūmų valymo sistema – multiciklonas, kietųjų dalelių surinkimo rankoviniai filtrai, dūmtraukis ir kiti valymo įrenginiai;

- priešgaisrinė sistema – kuro gesinimo įrenginiai, priešgaisriniai čiaupai, automatinis kuro bunkerio gesinimas gaisro atveju ir kt.;
- automatika ir apsaugos – tai tokia sistema, kuri saugo įrengimus nuo nelaimingų atsitikimų, sekdamą realius dirbančio katilo parametrus ir skleidžia įspėjamuosius bei avarinius pranešimus apie pakitusį įrenginio darbą;
- katilas ir kūrykla – pakura, pirminio, antrinio bei tretinio oro ventiliatoriai, recirkuliacinis dūmtraukis ir t.t.;

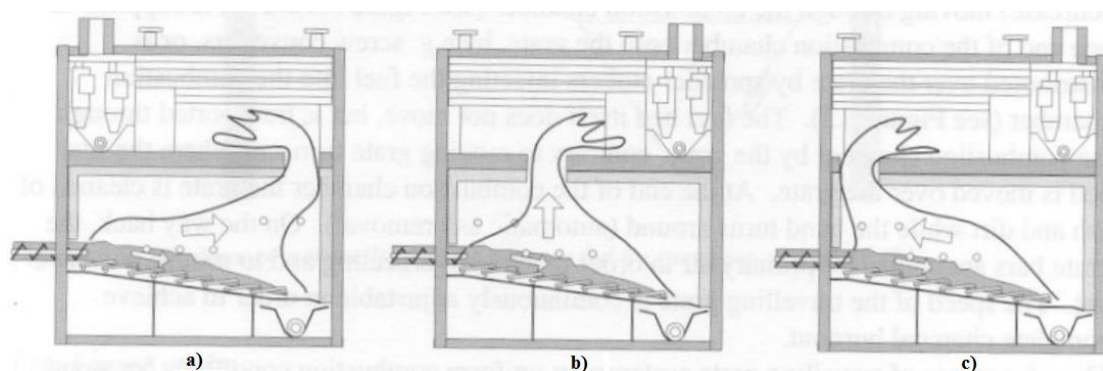


4 pav. Biokuro degimo ant ardyno principinė schema (Vares ir kt., 2005)

Deginant kietąjį biokūrą, pagrindiniai vykstantys procesai yra – kuro džiovinimas, pirolizė ir anglies degimas (4 pav.). Kietasis biokuras dažniausiai būna medienos skiedros arba medienos granulės. Nors ir medienos granulių kokybė yra aukštesnė, lyginant su skiedromis, tačiau naudojant centralizuotam šilumos sistemos vandeniui šildyti, medienos skiedros yra geresnis pasirinkimas dėl savo mažesnės kainos ir norint išlikti konkurencingu kuru lyginant su iškastiniu. Nuo kietojo biokuro drėgnumo priklauso ir reikalingas energijos kiekis, kuris bus įdėtas norint šį kurą kuo daugiau išdžiovinti, kad jis po to būtų įkaitintas iki užsiliepsnojimo. Sudegusio kuro pelenai pašalinami pelenų transporteriu į jų sandėliavimo vietą. Kietojo biokuro degimas prasideda kuomet kūrykloje yra 500 – 600 °C, degimui reikalingas oras yra tiekiamas pirminiu ir antriniu oro ventiliatoriumi. Katilo naudingo veikimo koeficientą nusako kiek energijos įdėta ir kiek jos gauta iš tam tikros kuro rūšies.

Deginant biokurą, taip pat reikia atsižvelgti į degimo metu išsiskiriančius šiluminius nuostolius, kuriuos nustatome pasinaudojant skaičiavimams skirta metodika (Vares ir kt., 2005).

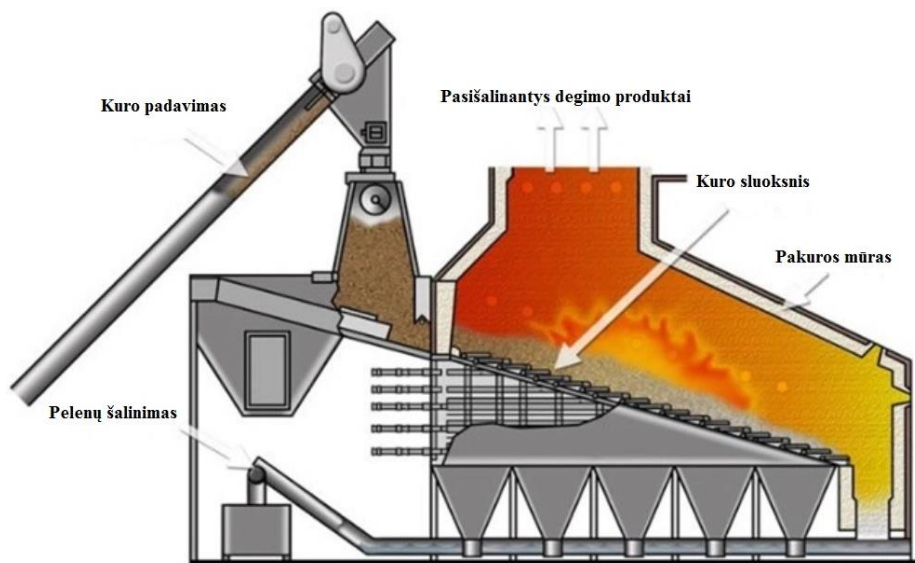
Plečiantis biokuro katilinių kiekiui ir esant skirtingiems jų galingumams, egzistuoja kelių tipų deginimo technologijos. Kiekviena skirtingo tipo technologija yra skirta techniškai arba ekonomiškai padidinti efektyvumą. Kaip pavyzdys, biokuro katilo galingumui nesiekiant 5 MW, dažniausiai yra naudojami ardyniniai katilai, o galingesnio tipo katilams naudojami verdančio sluoksniu technologija (Vos, 2005). Tačiau Švedijoje, Norvegijoje ir Baltijos šalyse tokio tipo pakuros netapo plačiai naudojamos. Ardyniniai katilai gali būti fiksuoto tipo, judamieji, besisukantieji, vibruojančio tipo ar grandininiai. Šios rūšies katilai skirti deginant biokurą, kurio drėgnumas yra nuo 20 % (Kuijk ir kt., 2007). Yra galimybė deginti skirtingos rūšies biokurą, kaip medžio skiedrą, šiaudus ar granules, tačiau suvaldyti degimo procesą tuomet tampa labai sudėtinga dėl skirtingo kuro degimo parametrų. Taip pat svarbus šios technologijos aspektas yra tas, kad būtina atskirti pirminį ir antrinį degimo kambarį (Netzer ir kt., 2020). Nuo kuro padavimo ir degimo produktų tekėjimo krypties gali būti skirtingų tipų fiksuoto ardyno tipo konstrukcijos (5 pav.).



5 pav. Kuro padavimo ir degimo produktų tekėjimo kryptys. a) paduodamas kuras ir degimo produktai teka ta pačia kryptimi, b) degimo produktai šalinami virš degančio kuro, c) degimo produktai šalinami priešinga kryptimi nei paduodamas kuras (Vos, 2005)

Pirmojo tipo konstrukcija labiausiai tinkama sausam kurui arba tokiai sistemai, kurioje jau yra tiekiamas šiltas oras į katilo pakurą. Šioje sistemoje nesudegusių dujų tekėjimas trunka ilgiau, taip yra galimybė su mažinti NO_x kiekį degimo produktuose. Taip pat padidėja pelenų kiekis, kuris turi būti pašalintas papildomais įrengimais. Antro tipo išeinantys degimo produktai, turi didžiausią temperatūrą ir patenka tiesiai į dūmų šalinimo traktą. Yra galimybė susigražinti didžiausią kiekį šiluminės energijos, tačiau dėl papildomų reikalingų įrenginių, kurie būtų skirti aušinti dūmų traktui, tokio tipo konstrukcija yra naudojama mažiausiai. Trečiojo tipo pakuros plačiausiai naudojamos kuomet kuro drėgnumas yra didelis. Pasišalinantys degimo produktai papildomai džiovina patenkančią kurą, tačiau taip netenkama dalis degimo produktų temperatūros (Wzorek, 2020).

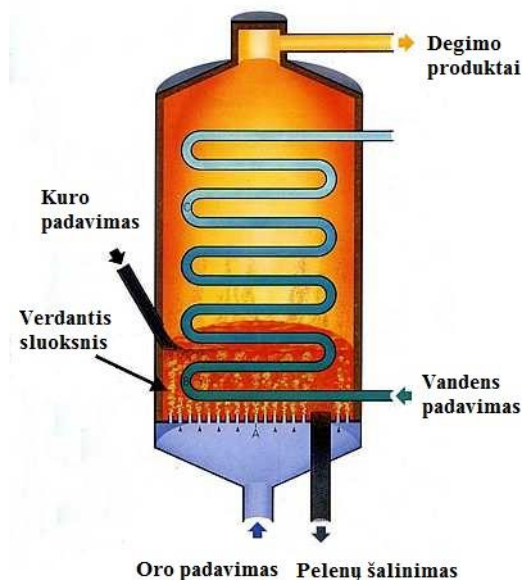
Kitokio tipo konstrukcija tai judančio tipo ardynas, kuris įrengtas per visą pakuros plotą. Paprasčiausia judančio ardyno konstrukcija yra laiptinio principo, sumontuota horizontaliai pakuros, proporcingai leidžiantis žemyn (6 pav.).



6 pav. Biokuro katilo su judančia ardynine pakura principinė schema (Vos, 2005)

6 paveiksle matome standartinę biokuro katilo schemą, kurioje kuras paduodamas transporteriu į bunkerį ir hidrocilindrų pagalba tiekiamas pagal užduotį į katilo pakurą. Konstrukcija suformuoja tarsi judančius laiptus. Pats kuro sluoksnis nejuda, tačiau jis transportuojamas ardyno pagalba horizontaliai žemyn, taip per laiką sudega ir likę pelenai šalinami pelenų transporteriais. Taip pat ant judančio pagrindo susidarę pelenai yra pro tarpus žemyn į pelenų šalinimo sistemą. Ardyno judėjimo greitis priklauso nuo degimo proceso parametrų ir katilo našumo. Šios sistemos pranašumas yra mažesnės emisijos, kadangi didesnis kiekis kietųjų dalelių yra pašalinamos jau pakuroje (Netzer ir kt., 2020). Fiksuoto tipo ardynas dažniausiai naudojamas mažo našumo katiluose, kuriuose nėra svarbus kuro pasiskirstymas pakuroje, nes jo kontroliuoti yra neįmanoma (Yang ir kt., 2004). Dėl šios priežasties didelio našumo katilinės įrenginėja judančio tipo ardyną. Tai leidžia reguliuoti kuro pasiskirstymą bei degimo procesą katilėje. Dažniausiai ardynas būna suskirstytas į kelias zonas, kuriuose jis juda skirtingais greičiais taip reguliuojant kuro sudegimą.

Dar vieno tipo kūrėklos yra verdančio sluoksnio. Ši technologija yra naudojama jau nuo 1960 metų, kuomet tokio tipo katilai buvo naudojami pramoninėms ir komunalinėms atliekoms deginti (Vos, 2005). Didelis oro srauto greitis, pakelia kuro sluoksnį, kurio dalelės atsiduria oro sraute. Tuomet gali atrodyti, kad šis sluoksnis verda, todėl tokį technologinį procesą apibūdino kaip verdančio sluoksnio (7 pav.).



7 pav. Biokuro katilo su verdančio sluoksnio pakura principinė schema (Fluidised bed combustion FBC, <https://www.photomemorabilia.co.uk>)

Esant dideliame oro srauto greičiui, jis degančias kuro daleles pakelia ir išneša iki separatoriaus, kuriame jos atskiriamos ir gražinamos į pakurą. Apatinis kūryklos sluoksnis yra užpildytas kvarciniu smėliu ir dolomitu (Vos, 2005). Jis yra kaitinamas mazuto arba dujų degikliais ir ant sluoksnio paviršiaus tiekiamas kuras, kuris dėl aukštos temperatūros užsidega. Kurui užsidegus ir pasiekus reikiamoms temperatūroms, degiklis būna išjungtas ir temperatūras palaiko tiekiamas kuras. Dėl sąlyginai mažos temperatūros ant verdančio sluoksnio (800-900 °C), nevyksta pelenų lydymasis ir šlakavimasis (Wang ir kt., 2020). Šios sistemos paleidimas yra gana ilgas, šildymas trunka apie 15 valandų, tačiau vienas iš verdančio sluoksnio kūryklų privalumų yra maži NO_x kiekiai. Taip pat yra galimybė deginti skirtingos rūšies kurą, tačiau turi būti užtikrintas kuro dalelių dydis tarp 40 ir 80 milimetrų (Grace, 2019).

Kadangi biokuro katilinės tiekia termofikacinę vandenį centralizuotiems šilumos tinklams, dėl mažo galingumo, katilai su nejudančiomis ardyninėmis pakuromis nenaudojami. Šiuo metu pasaulyje naudojamos pagrinde dviejų tipų kuro deginimo technologijos – katiluose su judančia ardynine pakura ir katiluose su verdančiu sluoksniu. 5 lentelėje pateikti šių technologijų pagrindiniai privalumai ir trūkumai.

5 lentelė. Biokuro deginimo technologijų lyginamoji analizė (Vos, 2005, Vares ir kt., 2005, Lund, 2019)

	Pakura su judančiu ardynu	Pakura su verdančiu sluoksniu
Privalumai	• Mažesnė, iki 20 MW galios katilo, įrengimo kaina • Mažas kietųjų dalelių kiekis degimo produktuose • Mažesnis jautrumas pelenų šlakavimuisi • Reikalingi nedideli darbiniai resursai	• Nėra judančių dalių • Mažesnis NO_x kiekis • Mažesnis jautrumas kuro drėgnumui • Mažas deguonies kiekis išėinančiuose degimo produktuose (3-4 %)
Trūkumai	• Nėra galimybės deginti skirtingos rūšies kurą • Norint sumažinti NO_x kiekį, reikalingi papildomi įrengimai • Didelis deguonies kiekis (5-8 %) • Sudėtinga užtikrinti mažus emisijų kiekius	• Didesnė įrengimo kaina • Reikalingi didesni darbiniai resursai • Mažas lankstumas, dėl reikalingų konkrečių kuro dalelių dydžių • Korozijos tikimybė šilumokaityje • Reikalingi papildomi įrenginiai norint dirbti prie mažų apkrovimų
Galingumas	0,15 – 15 MW	10 -100 MW

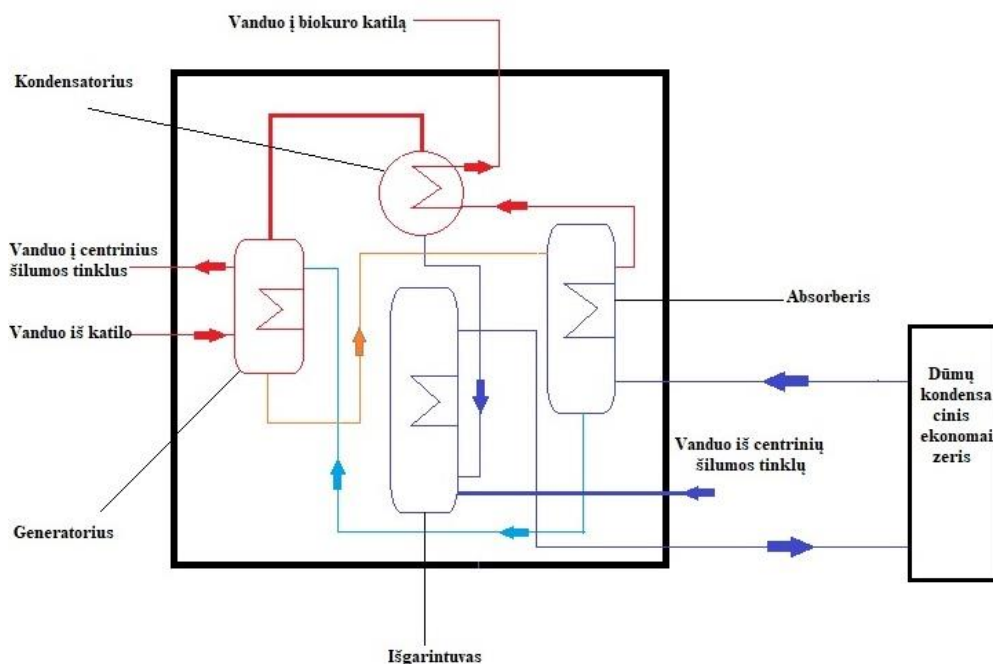
Verdančio sluoksnio katilai dažniausiai turi mažesnius CO ir NO_x kiekius išėinančiuose degimo produktuose (Liu ir kt., 2019). Šio tipo katiluose dažniausiai yra mažesnis kietųjų dalelių kiekis dūmų trakte. Didžiausias pranašumas katilų, su judančiu ardynu yra tas, kad yra galimybė įrengti mažesnio galingumo biokuro katilą, taip leidžiant labiau prisitaikyti prie reikalingo šilumos poreikio ir reikalingos mažesnės įrengimo investicijos. Biokuro katilus taip pat galima suskirstyti ne tik pagal deginimo technologijas, tačiau ir pagal šiluminės energijos poreikį – namų ūkio, pramoniniai ar skirti centralizuotam šildymui (Vares ir kt., 2005).

Išanalizavus pasaulines tendencijas energetikos sektoriuje nustatytas stabilus iškastinio kuro naudojimo mažėjimas, bei rinkos persiorientavimas į atsinaujinančius energijos išteklius. Pasauliniu mastu šiluminės energijos kiekis deginant biomasę, iš atsinaujinančių energijos išteklių, siekė net 96 %. Vienas pagrindinių išteklių Lietuvoje – kietasis biokuras. Norint išlikti energetiškai nepriklausomiems, Lietuvoje taip pat augo atsinaujinančios energijos suvartojimas bei investicijos į šios srities išteklius. Augant biokuro katilinių kiekiui, vienas iš pagrindinių aspektų norint patenkinti šiluminės energijos poreikius deginant medienos skiedrą yra siekti maksimalaus efektyvumo. Lietuvoje per 2019 metus iš biokuro buvo pagaminta 76 % visos šiluminės energijos. Remiantis Lietuvos atsinaujinančios energijos strategija, šis skaičius ateityje turėtų išlikti stabiliai aukštas.

Biokuro katilinėse gali būti sudeginama skirtingo tipo kietasis biokuras toks kaip mediena, granulės bei medienos skiedra. Kuras gautas iš miško, skaitomas draugiškas aplinkai iki tokio lygio, kuomet miškas yra atsodinamas, kad įvykdyti pilną gyvavimo ciklą (Peric ir kt., 2016). Mediena dažniausiai susideda iš celiuliozės, lignino ir hemiceliuliozės. Dėl aukštesnio anglies bei vandenilio kiekio, daugiau lignino turintis kuras yra kaloringesnis, nei turintis celiuliozės bei hemiceliuliozės (Baratieri ir kt., 2008). Visas kietasis biokuras susideda iš degiųjų ir nedegiųjų dalių. Pelenai bei drėgnumas yra nedegiosios kuro sudėties dalys. Deginant biokurą susidaro pelenai, kurie turi tiesioginę įtaką katilinės efektyvumui. Pelenų lydimasis, gali sukelti šlakavimąsi ant katilo mūro bei konvektyvinio pluošto, tai mažinant šilumos perdavimą ir efektyvumą (McMillan, 1994). Todėl svarbu, kad biokuro techninė specifikacija atitiktų standartą. Yra keli variantai siekiant maksimalaus biokuro katilo efektyvumo:

- sauso kuro deginimas. Efektyvumas padidėja 9 %, sumažinus kuro drėgnumą nuo 50 iki 30 %;
- mažesnis deguonies kiekis dūmuose. Geresnis kuro sudegimas ir O_2 sumažėjimas 1 %, gali efektyvumą padidinti iki 1 %;
- mažesnis anglies kiekis pelenuose. Sumažinus anglies kiekį nuo 10 iki 5 % pelenuose, katilo efektyvumas padidėja 0,3 %;
- sumažinti išeinančių dūmų temperatūrą 10 °C. Katilo efektyvumas padidėja 0,8 %;
- dūmų kondensacinio ekonomizerio įrengimas. Vidutiniškai efektyvumas padidėja 20 %, maksimaliai 30 %;
- absorbcinio šilumos siurblio įrengimas padidina katilų efektyvų darbą iki 10 %.

Kuro drėgnumas priklauso nuo tiekimo įmonių, oro sąlygų bei augalo rūšies iš kurio gautas biokuras, todėl užtikrinti stabilų kuro drėgnumą yra sudėtinga. Biokuro kokybė gali kisti, tačiau katilas dažniausiai būna įrengtas numatant kokio drėgnumo kuras bus jame deginamas. Netinkamo kuro deginimas per ilgą laiko tarpą gali sukelti pelenų šlakavimąsi ant šildymo paviršių ar nesudegusių kietųjų dalelių patekimas į valymo įrenginius, todėl reikėtų vengti naudoti kintamos kokybės kurą. Norint pasiekti maksimalų efektyvumą, kuriam įtakos minimaliai turi veiksniai iš aplinkos, katilinėje privalo būti įrengtas dūmų kondensacinis ekonomizeris (DKE) ir absorbcinis šilumos siurblys (AŠS). Šie įrenginiai pasisavina papildomą šiluminę energiją iš šiuo metu išeinančių degimo produktų į aplinką. Biokuro katilai yra sudėtingų įrenginių sistema, norint, kad būtų pasiektas maksimalus efektyvumas katilinėse turi būti tokie įrenginiai kaip kuro ūkis, išeinančių kietųjų dalelių filtrai, multiciklonas, kuris išcentrinės jėgos principu sugaudo likusius dūmų trakte pelenus, automatikos ir apsaugos priemonės, pelenų šalinimo sistemos bei dūmų kondensacinis ekonomizeris su absorbciniu šilumos siurbliu.



8 pav. Absorbcinio šilumos siurblio principinė schema (paveikslas sudarytas darbo autoriaus)

8 paveiksle matome principinę absorbcinio šilumos siurblio schemą su pagrindiniais įrenginiais. Paveiksle pavaizduota kaip sukondensuotas vanduo išgarintuve iš kondensatoriaus yra garinamas, naudojant termofikacinį vandenį iš dūmų kondensacinio ekonomaizerio. Tuo metu absorberioje per šilumokaitį iš garo šiluma yra absorbuojama ir garas perduodamas į kondensatorių, kuriame jis sukondensuojamas ir vanduo atiduodamas į vandens šildymo katilą. Generatoriuje karštas vanduo iš katilo garina vandenį ir garus perduoda į absorberį. Absorbciniame šilumos siurblyje naudojamas tirpalas, norint padidinti šiluminės energijos perdavimo efektyvumą. Viena iš tirpalo rūšių yra amoniakas sumaišytas su vandeniu. Jo paskirtis yra padidinti šilumos ir masės mainų našumą absorberioje, taip siekiant maksimalaus įrenginio efektyvumo. Amoniakas ir vanduo dažnai naudojamas absorbciniuose šilumos siurbliuose dėl savo savybės nesikristalizuoti, taip padidinant įrenginio tarnavimo laiką (Zajacs ir kt., 2017). Amoniako kaip šaltnešio savybės bus panaudotos sudarinėjant daugianarius metodinėje dalyje – „2.3. Absorbcinio šilumos siurblio ir dūmų kondensacinio ekonomaizerio skaičiavimo metodika“.

Tiesioginę įtaką efektyvumui turi ir kuro kokybė, dėl kurios gali sumažėti biokuro katilo naudingas darbas, kadangi krenta degimo proceso našumas (I.Librenti, 2010). Vienas iš svarbiausių katilo įrenginių vis dėl to išlieka dūmų ekonomaizeris ir absorbcinis šilumos siurblys, kuris laikomas naujausia biokuro katilo technologija, kuri leidžia pasiekti maksimalų efektyvumą (C. Wang ir kt., 2014, F. Ziegler. 2020, H. Lund. 2019, Y. Niu ir kt., 2017, S. Zou ir kt., 2017).

Pramoninės katilinės, kurios tiekia termofikacinį vandenį į miestą, dažniausiai degini gana aukšto drėgnumo medienos skiedrą. Kuomet dega toks kuras, yra didelis išgarinto vandens kiekis, dėl

kurio yra milžiniški šilumos nuostoliai, kurie pašalinami tiesiai į aplinką per katilo dūmų traktą (L.A.C Tarelho ir kt. 2015). Norint šiuos nuostolius sumažinti ir susigražinti papildomą šilumos kiekį iš sudeginto biokuro, dažniausiai biokuro katilinės įrengia dūmų ekonomaizerius (9 pav.)



9 pav. Dūmų ekonomaizerio pavyzdys (Dūmų kondensacinis ekonomaizeris, <https://www.enerstena.lt>)

Ekonomaizeriai būna dviejų tipų, sauso tipo, bei kondensacinio tipo. Plačiausiai naudojami dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai, pagrinde dėl aukštos kuro drėgmės ir didesnio naudingo veikimo koeficiento (Chantasiriwan, 2020). Vien dėl ekonomaizerių, katilinės papildomai gauna nuo 20 iki 30 % šiluminės energijos (Balzamov ir kt., 2018). Tai yra viena iš efektingiausių priemonių norint pasiekti maksimalų našumą deginant biokurą (S.Zou, 2017, S.Bland, 2020, T.Coppieters ir kt. 2019, W.Li ir kt., 2016, Chantasiriwan, 2020, DeFrees ir kt., 2008)

2020 metais, Austrijoje atliktas tyrimas, kuriame nagrinėjamas dūmų kondensacinio ekonomaizerio ir šilumos siurblio darbas deginant skirtingo drėgnumo kietąjį biokurą (Hebenstreit ir kt., 2011). Tyrimo metu, išeinančių dūmų temperatūra siekė 120 °C. Bandymo metu, dėmesys buvo skiriamas pagrinde į du parametrus – vandens kiekis kure ir grįžtamo vandens temperatūra, kuri svyravo nuo 45 iki 70 °C. Drėgmės kiekis kure keitėsi nuo 10 iki 50 %. Atlikto tyrimo metu nustatytos priklausomybės, kuriose matėsi kaip didėja išgautos šiluminės energijos kiekis, didėjant kuro drėgnumui, tačiau tuo pat metu mažėja dūmų kondensacinio ekonomaizerio ir absorbcinio šilumos siurblio efektyvumas. Nustačius efektyvumo priklausomybę nuo kuro drėgnumo, buvo atlikta dūmų kondensacinio ekonomaizerio ir šilumos siurblio našumo, nuo grįžtamos vandens temperatūros, analizė. Nustatytas, kad mažėjant temperatūrai, didėja skirtumas tarp grįžtančios ir temperatūros už dūmų kondensacinio ekonomaizerio, taip lygiagrečiai didėja ir ekonomaizerio ir absorbcinio šilumos siurblio našumas. Žema temperatūra leidžia greičiau ir lengviau įvykti šilumos mainams, taip

pasisavinant iš išeinančių dūmų šiluminę energiją. Atliktas tyrimas parodė, kad esant kuro drėgnumui 10 %, biokuro katilo naudingas veikimo koeficientas siekė 88 %, o kuro drėgnumui esant 50 %, koeficientas buvo 75 %. Didėjant kuro drėgnumui mažėja ne tik efektyvumas, bet ir kuro šilumingumas, kuris kaip ir kuro drėgnumas turi tiesioginę įtaką naudingam įrenginių darbui.

Kondensaciniai ekonomaizeriai yra ritinio formos šilumos perdavimo įrenginys, kuris dažniausiai būna iš nerūdijančio plieno. Kondensaciniai ekonomaizeriai gali sugerti šilumą iš išeinančių už katilo dūmų taip sušildant termofikacinį vandenį, grįžtantį iš miesto prieš vandens šildymo katilą. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio šilumos išgavimas priklauso nuo:

- vandens garų kondensato dūmuose. Kuo didesnis kiekis kondensato garų, tuo didesnis našumas;
- grįžtamo vandens temperatūra iš centrinių šilumos tinklų. Kuo mažesnė temperatūra, tuo didesnis našumas;
- oro pertekliaus – kuo mažesnis, tuo didesnis našumas.

Kondensacinio ekonomaizerio struktūra leidžia dūmų srautui už katilo tekėti nuo viršutinės dalies į apatinę vertikaliu cilindro formos kontūrą, taip išeinant iš ekonomaizerio į kaminą. Tekantys dūmai ekonomaizerio kontūre yra aušinami vandeniu, kuris apipurškiamas ant vamzdelių, kuriais teka išeinantys dūmai. Apipurškimas vyksta nuolat, taip užtikrinant nuolat aušinamus dūmus ir išgaunant stabilią šilumą. Išpurškstas vanduo yra surenkamas specialiuose bakuose, išvalomas ir per šilumokaitį sušildomas grįžtantis termofikacinis vanduo. Atidavęs šilumą išpurškstas vanduo grąžinamas atgal į ekonomaizerį ir atliekamas tas pats ciklas iš pradžių. Ekonomaizeryje vanduo yra valomas, išlaikomas pastovus pH naudojant šarminius arba rūgštinius dozatorius (Wang ir kt., 2012). Tokio dūmų kondensacinio ekonomaizerio privalumai yra (Martic ir kt., 2015, Sun ir kt., 2010):

- biokuro katilo efektyvumas padidėja nuo 20 iki 30 %;
- mažesnė energijos gamybos kaina;
- įrengimas galimas naujuose taip pat ir senuose katilinėse;
- galima įrengti vieną ekonomaizerį keliems katilams;
- ilgaamžiškumas – vidutiniškai ekonomaizeris be papildomo remonto gali dirbti 20 metų;
- ekonomaizeris pagamintas iš nerūdijančio plieno. Taip pat išvalo išeinančius dūmus, naudingumas siekia 90 %;
- sumažina aplinkos šiluminę taršą, kuomet išeinančių dūmų temperatūra siekia 40-60 °C.

Dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai Lietuvoje yra gan dažnas įrenginys, norint išvengti didelių šiluminių nuostolių, tačiau išeinančių dūmų temperatūra už kondensacinio ekonomaizerio išlieka ganėtinai aukšta. Maksimalus teorinis efektyvumas būtų pasiektas tuo metu, kai dūmų

temperatūra liktų 0°C, tačiau šiuo metu turimomis technologijomis tai pasiekti nėra įmanoma (Gebreegziabher ir kt., 2014). Vis dėl to yra galimybė temperatūrą už kondensacinio ekonomaizerio sumažinti, taip išgaunant papildomą šiluminę energiją. Toks įrenginys vadinamas absorbcinis šilumos siurblys. Remiantis antruoju termodinamikos dėsniu, panaudojant šilumos siurblius galime išgauti energiją iš išeinančių dūmų atliekant darbą. Sąlyginai esanti žema dūmų temperatūra už ekonomaizerio negali būti panaudojama kituose procesuose, kaip šiluminės energijos išgavimui (Li ir kt., 2016). Absorbcinis šilumos siurblys, tai elektros įrenginys, kuriame vyksta šilumos ir masės mainai taip susigražinant energiją, kuri išmetama į aplinką, panaudojant ją termofikacinio vandens šildymui, už kondensacinio ekonomaizerio (Lund, 2019). Absorbciniai šilumos siurbliai nėra tokie populiarūs kaip dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai kadangi pats technologinis procesas bei įrenginio sudedamo dalys yra sudėtingesnės bei brangesnis įrengimas (Gebreegziabher ir kt., 2014).

Pagrindinis absorbcinių šilumos siurblių panaudojimas pasaulyje yra skirstomas į dvi dalis:

- pastatų vėsinimas;
- papildomas šiluminės energijos susigražinsimas pramonėje.

Kitas tyrimas buvo atliktas Kinijoje, šiaurės regione, analizuojant šilumos siurblių efektyvumą, išgaunant šiluminę energiją iš išeinančių dūmų (Niu ir kt., 2017).. Tyrimo metu išeinančių dūmų temperatūra siekė 150 °C, termofikacinio vandens temperatūra iš šilumos tinklų 50 °C ir dūmų temperatūra už absorbcinio šilumos siurblio svyruoja tarp 25 ir 28 °C. Lygiagrečiai šilumos siurbliui, prie sistemos prijungtas dūmų kondensacinis ekonomaizeris. Tyrimo metu buvo nustatyta tiesioginė absorbcinio šilumos siurblio efektyvumo priklausomybė, nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros ir išeinančių degimo produktų temperatūros. Naudingiausias siurblio darbas buvo atliekamas vandens temperatūrai iš tinklų esant 48 °C. Taip pat naudingo veikimo koeficientas proporcingai didėja, didėjant išeinančių dūmų temperatūrai. Tyrimo metu nustatyta, kad katilo darbo efektyvumas padidėja nuo 20 iki 30 % įrengus dūmų kondensacinį ekonomaizerį, o absorbcinio šilumos siurblio įrengimas tyrimo objekto našumą padidina iki 7 % .

Kaip ir dūmų kondensacinio ekonomaizerio, absorbcinio šilumos siurblio našumas priklauso daugiausiai nuo kuro drėgnumo bei termofikacinio vandens temperatūros prieš įrenginį (Chantasiriwan ir kt., 2020). Esant išpildant darbinio režimo sąlygas bei kurui atitinkant technines specifikacijas, absorbcinis šilumos siurblys gali padidinti katilo efektyvumą iki 10 % kartu lygiagrečiai naudojant dūmų kondensacinį ekonomaizerį. Pagrindiniai įrenginiai, kurie sudaro absorbcinį šilumos siurblių:

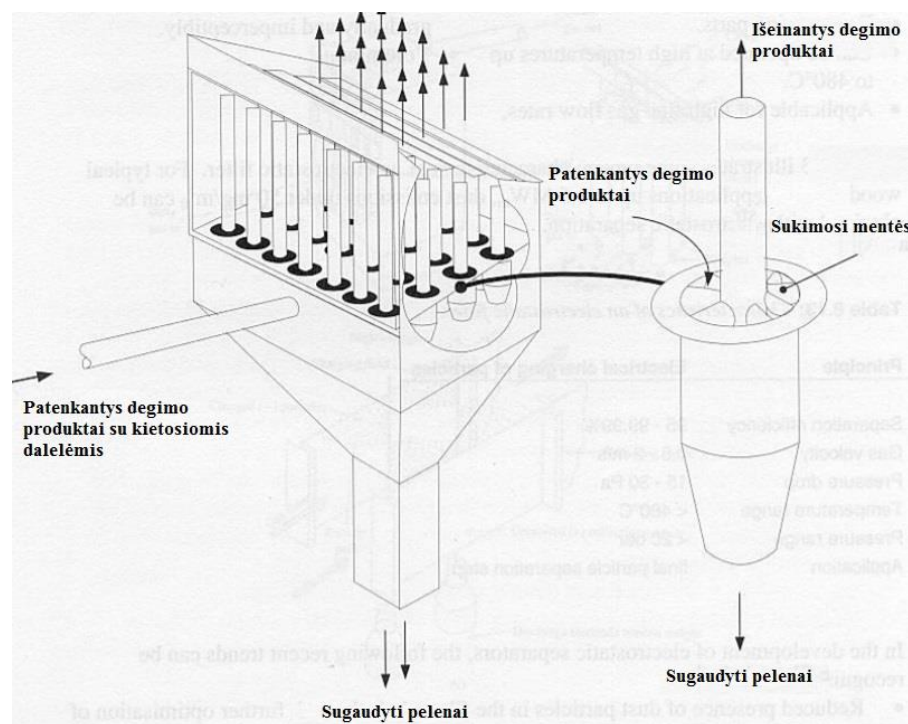
- išgarintuvas, kuriame ataušinamas termofikacinis vanduo, norint padidinti susigražintos šiluminės energijos kiekį;
- absorberis – jame absorbuojama šiluma, norint pašildyti grįžtamą termofikacinį vandenį;

- generatorius – karštas vanduo bei aukštos temperatūros išmetamieji dūmai garina vandenį;
- kondensatorius – sukondensuojami vandens garai ir šilumokaičio pagalba papildomai pašildomas termofikacinis vanduo.

1.4. Papildomi įmonės efektyvumo didinimo sprendimai

Įrengus dūmų kondensacinį ekonomizerį ir absorbcinį šilumos siurblių, biokuro katilas iki šios dienos atliks maksimaliai efektingą darbą bei į aplinką pateks mažiausiai šiluminės energijos turintys degimo produktai (Ziegler, 2020).

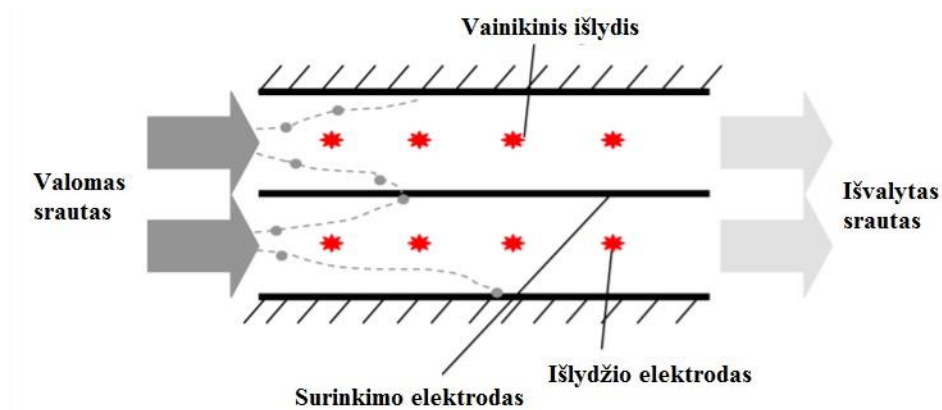
Tuo tarpu deginant biokurą katilinėse susidaro didelis kiekis pelenų, kurių viena dalis yra sugaudomi multiciklono arba elektrostatinio filtro pagalba, kita dalis šalinama iš pakuros.



10 pav. Multiciklono principinė schema (Vos, 2005)

Multiciklonas – tai toks įrenginys, kuris išcentrinės jėgos pagalba sulaiko pelenus, nuo tolimesnio jų patekimo į aplinką (10 pav.). Jų vienintelis trūkumas yra tas, kad dėl jų konstrukcijos trauka pakuroje nėra tokia stabili ir išnaudojama daugiau energijos norint ją palaikyti vienodą, taip sumažinant katilo efektyvumą.

Dar vienas įrenginys, kuris naudojamas vietoj multiciklono yra elektrostatinis filtras (11 pav.)



11 pav. Elektrostatinio filtro principinė schema (Poškas ir kt., 2015)

Elektrostatiame filtre praeinančios dalelės pirmiausia įgauna krūvį. Tuomet jos patenka į elektrinį lauką, kuriame jas pritraukia elektrodas. Šis elektrodas yra periodiškai valomas vibracijos mechanizmo pagalba. Tuo metu visos surinktos dalelės nukrenta nuo elektrodo į surinkimo kolektorių ir toliau į pelenų transporterį. Multiciklono ir elektrostatinio filtro privalumai ir trūkumai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Elektrostatinio filtro ir multiciklono lyginamoji analizė (Vos, 2005, Brack ir kt., 2018, Moreno ir kt., 2019)

	Multiciklonas	Elektrostatinis filtras
Privalumai	- Konstrukcijos paprastumas - Nereikalauja daug vietos - Maži – vidutiniai slėgio nuostoliai - Sugauja didelio diametro kietąsias daleles - Gali išvalyti didelį srautą - Neturi priklausomybės nuo dūmų srauto temperatūros - Maža kaina	- Gali išvalyti virš 99 % išeinančių dūmų - Sugauja ir itin mažas daleles - Gal išvalyti ir sausus ir šlapius išeinančius degimo produktus - Lyginant su panašaus naudingumo įrenginiais, sąlyginai mažas energijos poreikis - Mažai judančių dalių - Gali dirbti ir prie labai aukštų temperatūrų, iki 480 °C. - Išvalo didelį degimo produktų srautą
Trūkumai	- Mažas mažų dalelių sugaudymo efektyvumas - Ciklone gali kondensuotis drėgni degimo produktai	- Didelė įrengimo kaina - Jautrumas kintantiems degimo produktų srautams - Reikalingos papildomos atsargumo priemonės dėl aukštos įtampos - Surinkimo efektyvumas laikui bėgant blogėja - Didelė įrenginio konstrukcija

Iš 6 lentelėje pateiktų duomenų, elektrostatinis filtras turi kur kas didesnę efektyvumą lyginant su multiciklonu. Tačiau biokuro katilinėse, kuriuose katilų gaminama šiluminė energija priklauso nuo vartotojų poreikio, multiciklonas pranašesnis dėl galimybės dirbti kintant degimo produktų srautams.

Atsižvelgiant į visus privalumus ir trūkumus, elektrostatinis filtras yra pranašesnis įrenginys, dėl galimybės sugaudyti didesnę dalelių kiekį, nepriklausomai nuo jų dydžio.

Pelenus sugaudytus iš dūmų trakto ir pašalintus iš pakuros sudaro kalis, magnis, kalcis, manganas, geležis, cinkas, natris, boras, silicis, kalcis ir fosforas (Barceló ir kt., 2020). Šis medžiagų kiekis priklauso nuo medžio rūšies.

7 lentelė. Pelenų kiekis pasaulyje 2018 metais deginant biokurą (Lamers ir kt., 2017)

	Austrija	Kanada	Danija	Vokietija	Italija	Olandija	Švedija	Lietuva
Kiekis, tūkst. t	133	>1000	91	650	855	724	642	32

7 lentelėje matome pelenų kiekį pagal šalį, kurį gauname deginant biokurą. Iš pateiktų duomenų matome, kad deginant biokurą, susiduriame su dideliu kiekiu pelenų, kuriuos yra galimybė panaudoti įvairiuose srityse: statybos sektoriuje gaminant cementą, perdangas, tiesiant kelius ir agrokultūroje (Lamers ir kt., 2017, Silva ir kt., 2019, Caillat ir kt., 2013, Aga ir kt., 1996).

Pelenų kiekis katilinėse priklauso nuo katilo apkrovimo ir užduotų pelenų šalinimo parametrų (užlaikymo pagal maitintuvų darbo ciklus) (Balzamor ir kt., 2018). Iš grandiklinio pelenų transporterio pelenai išberiami į surinkimo konteinerį. Užpildžius konteinerį pelenais, jis automobiline priekaba išvežamas į sąvartyną. AB „Klaipėdos energija“ esantys keturi biokuro katilai pelenų konteinerius pripildo maždaug per 3 dienas, biokuro katilams dirbant pilnu našumu ir esant kuro peleningumui $\leq 3\%$. Priimant sąlygą, kad biokuro katilai dirba pusę metų, šildymo sezono metu, vien šioje įmonėje pelenų kiekis susidaro 730 t. Bendras sandėliuojamų pelenų kiekis Lietuvoje ir kitose šalyse išliktų didelis, jei nebūtų panaudojamos alternatyvos.

Pelenuose dažniausiai sutinkame dideli kalcio, kuris gali būti panaudojamas agrokultūroje dirvožemio nurūgštinimui, kiekiai (Tosti ir kt., 2019). Pelenų kokybę nusako organinės anglies kiekis, kuris turi būti ne didesnis nei 10% 100 g/kg (Karps ir kt., 2018). Šis rodiklis parodo biokuro sudegimą ir jeigu organinės anglies kiekis neviršija normų, priimama, kad biokuro katilinė dirba efektingai (Chapman, 1990).

Pelenuose galime sutikti ir švino, kadmio, arseno ir gyvsidabrio. Šie elementai laikomi pavojingi žmonėms, todėl kuo mažesnis jų kiekis, tuo pelenų sudėtis kokybiškesnė. Pelenų panaudojimas dirvožemyje galimas, kuomet nėra pavojingų medžiagų, kurios gali pakenkti mikroorganizmams ir augalų vystymuisi. Naudojant pelenus dirvožemyje, mažėja nenaudingų mikroorganizmų, tokių kaip kirmėlės skaičius, taip pat pagausėja sliekų. Dozuojami pelenai dirvožemyje, skatina augalų vystymąsi (Ozolinčius, 2007).

Pelenų panaudojimo alternatyvos yra paplitusios Europos Sąjungos šalyse. Daugelyje šalių pelenai utilizuojami statybos sektoriuje. Jie panaudojami kelių tiesime, perdangų formavime,

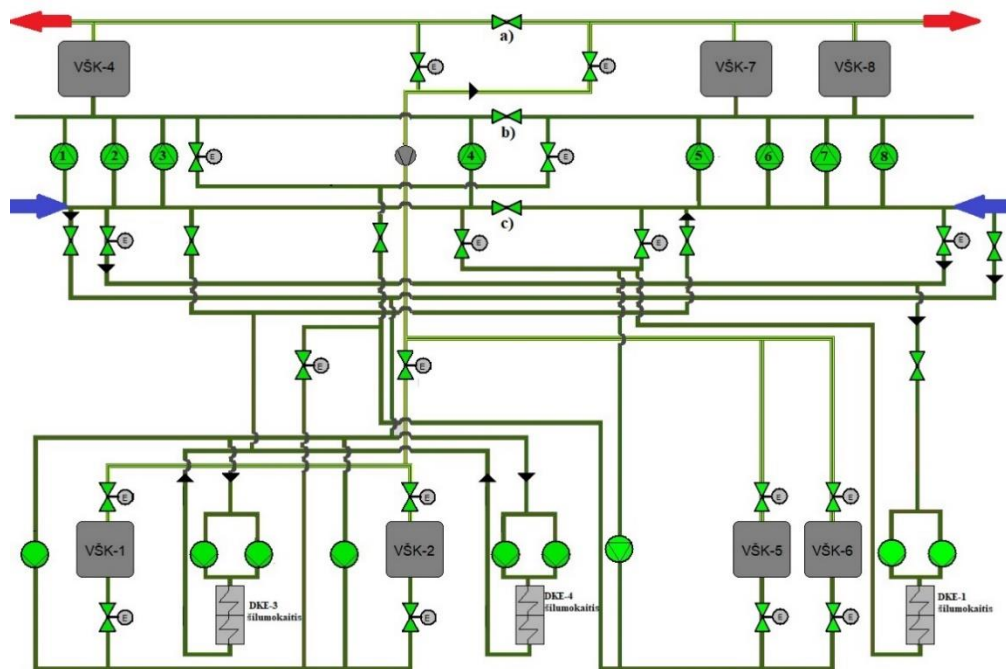
gaminant gaminius iš betono ir t.t. (Crillesen 2010). Pelenai suteikia tvarumo ir atsparumo šalčiui. Cemento gamyboje yra galimybė panaudoti pelenus net iki 30 % (Wang ir kt., 2008). Šie mišiniai sutvirtina ir stabilizuoja betoną bei sumažina jo kainą. Kol kas Lietuvoje nėra išplėtotas pelenų panaudojimas, tačiau vis didėjantis pelenų kiekis sąvartynuose priverčia imtis alternatyvių sprendimų siekiant padidinti deginamo biokuro ciklo efektyvumo.

II. METODINĖ DALIS

2.1. Tyrimo objektas

Energijos gamybos įmonės, dėl kintančios klimato kaitos situacijos, priverčia imtis veiksmų, siekiant sumažinti emisijas iš biokuro katilų. Vienas iš pagrindinių metodų pramoninėje gamyboje yra švaresnė šiluminės energijos gamyba ir didesnis efektyvumas. Termofikacinėse katilinėse deginant kurą per kaminą su dūmu srautu išeina didelis šilumos kiekis, kurį yra galimybė panaudoti termofikacinio vandens šildymui. Siekiant didesnio efektyvumo, vienas iš variantų yra katilinėje įrengti ekonomaizerį bei absorbcinį šilumos siurblių. Šie įrenginiai tarpusavyje yra panašūs. Jų darbo principas yra susigrąžinti šiluminę energiją iš išeinančių dūmų srauto taip pašildant termofikacinį vandenį. Tačiau norint, kad darbas būtų atliekamas naudingai, turi būti užtikrintos sąlygos, kurios leis pasiekti maksimalią naudą.

Šio darbo tyrimo objektas yra šiluminės energijos tiekimo įmonė AB „Klaipėdos energija“, kurios tikslas užtikrinti stabilios energijos tiekimą į centrinius šilumos tinklus atsižvelgiant į bendrą miesto poreikį.

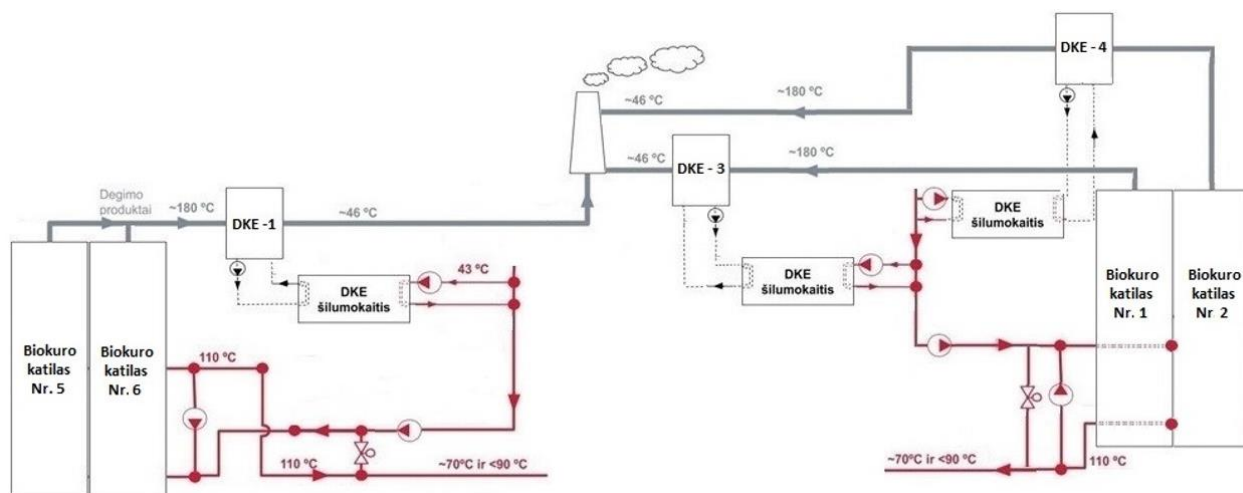


12 pav. AB „Klaipėdos Energija“ katilinės principinė schema: VŠK1, 2, 5, 6 – biokuro vandens šildymo katilai, VŠK 4, 7, 8 – dujų/mazuto vandens šildymo katilai

12 paveiksle pateikta vandens šildymo katilai (VŠK), tinklo siurbliai pažymėti skaičiais nuo 1 iki 8, dūmų kondensacinių ekonomaizerių šilumokaičiai (DKE) bei termofikacinio vandens tekėjimo kryptys. Katilinėje vanduo grįžta viena ir paduodamas taip pat viena vamzdžio linija. Taip pat

schemoje yra nurodytos dvi mėlynos bei dvi raudonos rodyklės žymi, kad atsitikus avarijai šilumos tinkluose yra galimybė katilinę padalinti pusiau su pažymėtomis sklendėmis a), b) ir c), taip užtikrinant šilumos ir karšto vandens tiekimą vartotojams.

Termofikacinis vanduo, atidavęs šilumą vartotojams, grįžta viena iš linijų, kurias nurodo mėlynai pažymėtos rodyklės. Tokio vandens temperatūra svyruoja nuo 38 iki 46 °C, priklausomai nuo lauko temperatūros. Biokuro katilai, kurie pažymėti yra VŠK-1, 2, 5 ir 6 turi po papildomą įrengimą, t.y. dūmų kondensacinį ekonomaizerį. Šis įrenginys iš išeinančių dūmų, kurių temperatūra yra apie 180 °C, pasisavina dalį šilumos ir pašildo grįžtamą vandenį. Po DKE išeinančių dūmų temperatūra lieka 45÷55 °C. Toks pašildytas vanduo toliau tiekiamas tinklo siurblių (1÷8) pagalba per katilo kontūrą, kuris sušildo vandenį nuo 105 iki 115 °C. Iš už katilo išėjęs vanduo yra maišomas su šaltu vandeniu ir tiekiamas vartotojams viena iš raudonai pažymėtų rodyklių kryptimi. Klaipėdos miesto šilumos tinklų temperatūros svyruoja nuo 70,5 iki 121,5 °C, priklausomai nuo lauke esančios temperatūros.



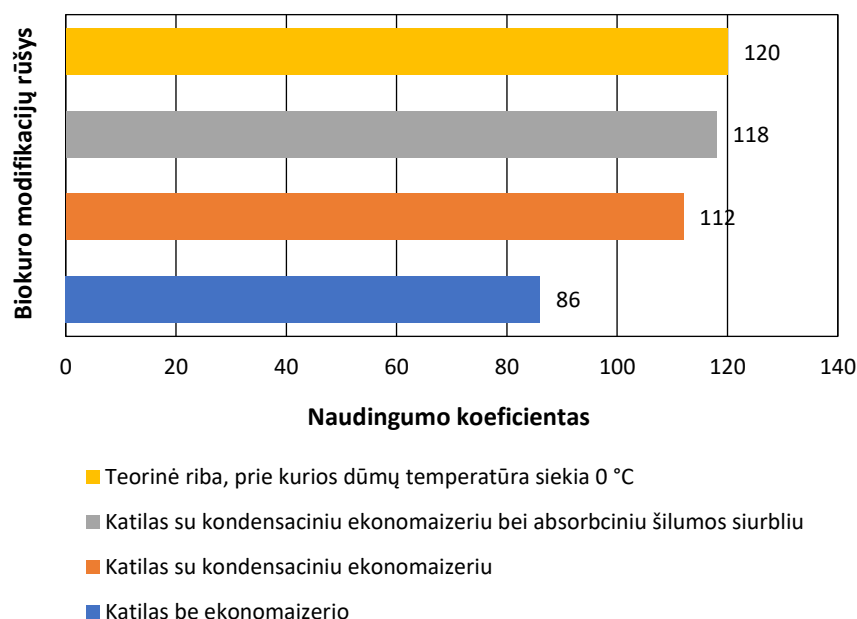
13 pav. Principinė AB „Klaipėdos energija“ schema (paveikslas sudarytas darbo autoriaus)

Absorbcinis šilumos siurblys (AŠS) – įrenginių grupė, kuriuose vyksta šilumos ir masės mainai. Iš centrinio šilumos tiekimo (CŠT) grįžtamo vandens temperatūra svyruoja nuo 38 iki 46 °C, kurią absorbcinis šilumos siurblys šildys, naudojant likutinę šilumą degimo produktuose, esančią po I laipsnio kondensacinio ekonomaizerio.

13 paveiksle pavaizduota AB „Klaipėdos energija“, kurios katilinėje yra įsirengti keturi biokuro katilai, kurių kiekvieno nominali projektinė galia yra po 8 MW. Taip pat yra įrengti trys kondensaciniai ekonomaizeriai (DKE). Du biokuro katilai, kurių dūmų traktas yra bendras, naudoja 4 MW kondensacinį ekonomaizerį. Likę du biokuro katilai, turi atskirus dūmų šalinimo traktus bei naudoja atskirus ekonomaizerius, kurių galia yra po 2 MW.

2.2. Biokuro katilų ir jų įrenginių efektyvumui turinčių veiksnių vertinimas

Keičiantis sezonams, kinta ir šilumos poreikis reikalingas Klaipėdos miestui. Šaltuoju metų laiku, reikalinga didesnė šiluminė energija, todėl aukštesnės temperatūros termofikacinis vanduo tiekiamas į miestą. Didėjant tiekiamo vandens temperatūrai, natūralu, kad grįžtantis vanduo yra taip pat karštesnis. Žiemos sezono metu, kinta ir deginamo kuro kokybė, o didelę įtaką turi kuro drėgnumas. Biokuro drėgnumas bei grįžtančio vandens temperatūra yra tiesiogiai proporcinga DKE pagamintos galios kiekiui.

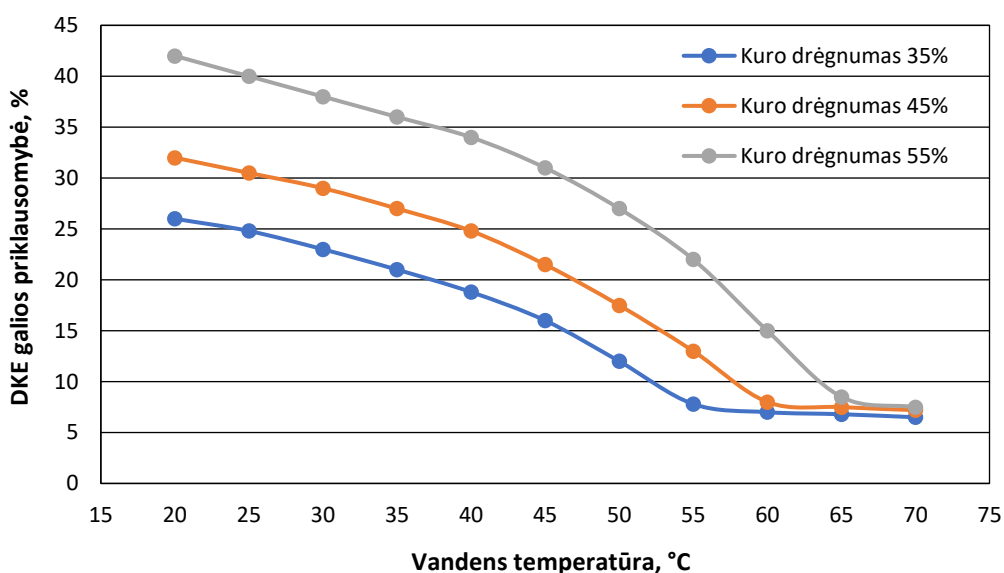


14 pav. Biokuro katilo su skirtingomis modifikacijomis, įrengiant šiluminės energijos susigražinimo įrenginius, naudingumo koeficientas (Lund, 2019)

Katilo naudingumas daugiausiai priklauso nuo išeinančių dūmų temperatūros, kadangi daugiausiai šilumos netenkama su degimo produktais. Teoriškai didžiausias naudingumas bus pasiektas jei išeinančių dūmų temperatūra būtų 0 °C (Marcinauskas ir kt. 2003), tačiau praktiškai pasiekti tokią dūmų temperatūrą yra neįmanoma. Šiuo metu už dūmų kondensacinio ekonomaizerio išeinančių dūmų temperatūra siekia ~46 °C, o už absorbcinio šilumos siurblio temperatūra siektų ~25 °C, taip sumažinant šiluminius nuostolius. Norint priartėti prie efektyvaus darbo maksimumo, biokuro katilinėse turi būti įrengti dūmų kondensacinis ekonomaizeris bei absorbcinis šilumos siurblys, kas leistų deginant katilui medžio skiedras, pasiekti net 118% naudingo darbo. Šiuo metu katilinėje yra įrengti tik dūmų kondensaciniai ekonomaizeriai, kurie leidžia pasiekti 112 % teoriško naudingo darbo.

Iš 14 paveikslo matyti, kad yra galimybė pasiekti didesnę efektyvumą, tačiau būtų reikalinga atlikti rekonstrukciją ir įrengti papildomus įrenginius tokius kaip absorbcinis šilumos siurblys, kuris susigražintų iš išeinančių dūmų už kondensacinio ekonomaizerio šiluminę energiją.

Biokuro deginimo katilinėse yra naudojama mediena, kurios tipas yra – medienos skiedra (SM2). Svarbu, kad medienos kokybė atitiktų pateiktą specifikaciją, kadangi nuo to priklauso ir pagamintos energijos kiekis. Tiesioginę priklausomybę nuo medienos drėgmės turi ir kuro šilumingumas, kai kuro drėgnumas kinta nuo 35 iki 55 % (Martinaitis ir kt., 2014). Dūmų kondensacinio ekonomaizerio bei absorbcinio šilumos siurblio galia taip pat priklauso nuo kuro drėgnumo, bei grįžtamo vandens temperatūros iš šilumos tinklų. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio galios priklausomybė nuo vandens temperatūros iš šilumos tinklų esant skirtingiems kuro drėgnumams pateikta 15 paveiksle, kuris yra sudarytas pagal realius AB „Klaipėdos energija“ duomenis. Tai mums leis, atliekant skaičiavimus ir atsižvelgiant į kuro drėgnumą, įvertinti, kuriuo metu dūmų kondensacinio ekonomaizerio ir absorbcinio šilumos siurblio darbas taps mažiausiai efektyvus ir išgautas šilumos kiekis iš išeinančių dūmų virs minimaliu.



15 pav. Dūmų kondensacinio ekonomaizerio galios priklausomybė nuo vandens temperatūros iš šilumos tinklų esant skirtingiems kuro drėgnumams

15 paveiksle matome, kad vandens temperatūra prieš dūmų kondensacinį ekonomaizerį ir absorbcinį šilumos siurbį turi didelę įtaką efektyviam darbui. Kuo didesnė termofikacinio vandens temperatūra prieš kondensacinį ekonomaizerį, tuo mažesnis jo naudingas darbas. Taip yra todėl, kad mažas temperatūrų skirtumas tarp išgaunamos šilumos iš dūmų ir vandens yra pagrindinis šilumos ir masės mainų aspektas šiuo konkrečiu atveju (Niu ir kt. 2017).

Pagrindinis kuras, kuris naudojamas AB „Klaipėdos energija“ yra kietasis biokuras. Kadangi įmonėje yra įrengti keturi biokuro katilai ir trys ekonomaizeriai, baigiamajame darbe bus skaičiuojamas absorbcinio šilumos siurblio nauda, deginant atsinaujinantį kurą. Medžio skiedros yra

kelių tipų, kurių specifikacija pavaizduota 8 lentelėje (Baltpool, 2020), o jų elementinė sudėtis pateikta 9 lentelėje (V. Martinaitis, 2014).

8 lentelė. Biokuro skiedrų techninė specifikacija

Charakteristika/tipas	Medienos skiedra (SM1)	Medienos skiedra (SM2)	Medienos skiedra (SM3)
Drėgnis, %	20-45	35-55	35-60
Peleningumas, %	<2	<3	<5
Dominuojanti žaliava	Malkinė mediena	Negenėti medžiai ir energetiniai augalai	Miško kirtimo atliekos

9 lentelė. Biokuro skiedrų elementinė sudėtis

Anglis	Vandenilis	Azotas	Siera	Degūnis	Peleningumas	Drėgnumas
24,5 %	3,3 %	0,1 %	0 %	21,5 %	0,6 %	50 %

Skaičiavimai bus atlikti skirtingiems trimis variantams, kuriuose bus siekiama išgauti maksimalų efektyvumą, deginant medžio skiedras. Kadangi biokuras šiuo metu šiluminės energijos gamybos įmonėms yra pagrindinis kuras, aktualu būtų įrengti tokius įrengimus, kurie leistų katilinei pasiekti maksimalią naudą iš atsinaujinančios energijos. Bus įvertinti trys skirtingi variantai, kurie galimi šioje katilinėje, taip padidinant efektyvumą, bei sumažinant taršaus kuro, tokio kaip mazutas, sudeginimo kiekį:

1. Įrengtas absorbcinis šilumos siurblys ant dviejų, tačiau vieno dūmų trakto, biokuro katilų;
2. Įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai ant trijų biokuro katilų, iš kurių du katilai vieno ir vienas atskiro dūmų trakto katilų;
3. Įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai ant keturių biokuro katilų, iš kurių dviejų katilų dūmų traktas sujungtas ir pastatytas galingesnis ekonomizeris.

2.3. Absorbcinio šilumos siurblio ir dūmų kondensacinio ekonomizerio skaičiavimo metodika

Šiluminės energijos efektyvumas yra nusakomas pagal naudingumo koeficientą (NVK). Šis koeficientas gali būti dviejų tipų – tiesioginis ir netiesioginis. Tiesioginis NVK yra toks kurį galime nusakyti pagal pagamintą šilumą. Netiesioginis NVK yra toks, kurį apskaičiuojame atimant šilumos nuostolius. Netiesioginis būdas yra naudojamas katilo efektyvumui nusakyti (Keith ir kt., 1996, Coppieters ir kt., 2019, Martic ir kt., 2015):

$$NVK = \frac{Q}{Q_1} \quad (1)$$

čia: Q – katilo naudingas darbas %; Q₁ – energijos kiekis išsiskyręs sudegus kurui %.

$$NVK = 100\% - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (2)$$

čia: q_2 – šiluma išeinanti su dūmais %; q_3 – nuostoliai dėl cheminio nesudegimo %; q_4 – mechaniniai nesudegimo nuostoliai %; q_5 – šilumos nuostoliai į aplinką %; q_6 – šilumos nuostoliai su šlaku ir pelenais %.

Absorbcinio šilumos siurblio naudingą darbą nusako šilumos transformacijos koeficientas – COP. Jis parodo įdėto darbo ir gautos šiluminės energijos santykį. Šis skaičius svyruoja tarp 1,4 ir 1,9 (H. Keith ir kt. 1996). COP koeficientą įtakoja vandens, kuris tiekiamas į absorbcinio šilumos siurblio įėjimo ir išėjimo temperatūra, bei srautas. Kuo didesnis vandens temperatūrų skirtumas ir srautas tuo didesnis šilumos siurblio COP, kuris apskaičiuojamas pagal formulę (Coppieters ir kt., 2019, Martic ir kt., 2015):

$$COP = \frac{Q_0 + Q_d}{Q_0} = \text{nuo } 1,4 \text{ iki } 1,9 \quad (3)$$

čia: Q_0 – šiluminė energija W; Q_d – įdėtas darbas W.

Atliekant skaičiavimus ir norint įvertinti skirtingų rekonstrukcijos variantų susigražintą šilumos kiekį yra priimami pradiniai duomenys, kuriais bus remtasi tolimesniuose skaičiavimuose (10 lent.).

10 lentelė. Pradiniai biokuro katilinės duomenys tolimesniems skaičiavimams (AB „Klaipėdos energija“ įrenginių darbinių režimų technologinis aprašymas)

Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Pradiniai duomenys	Matavimo vienetai
1	Katilo našumas	Q_k	8	MW
2	Kuro drėgnumas	W	50	%
3	O ₂ kiekis dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens temperatūra prieš VŠK	t_{14}	90	°C
5	Termofikacinio vandens temperatūra už VŠK	t_1	115	°C
6	Degimo produktų temperatūra už VŠK	t_{d1}	180	°C
7	Degimo produktų temperatūra prieš DKE	t_{d2}	48	°C
8	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra prieš DKE	t_8	45	°C
9	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra prieš AŠS	t_{15}	30	°C
10	Pelenų temperatūra	t_p	1000	°C
11	Pelenų specifinė šiluma	C_{pe}	0,84	kJ/kg·K
12	Vandens garų konstanta	R	461,89	kJ/kg·K

13	Vandens garų tankis pagal idealiųjų dujų dėsnį	ρ_{H_2O}	0,803	kg/nm ³
14	Kuro rūšis	-	Medienos skiedra	-

Pirmiausia yra apskaičiuojamas kuro žemutinis šilumingumas, kuris randamas pagal medžio skiedrų elementinę sudėtį:

$$Q_z = 339 \cdot g_C + 1035 \cdot g_H - 109 \cdot g_O - 25 \cdot g_W; \quad (4)$$

čia: g_C – anglies kiekis kure, %; g_O – deguonies kiekis kure, %; g_H – vandenilio kiekis kure, %; g_W – drėgmės kiekis kure, %.

Dūmų masė apskaičiuojama pagal formulę:

$$m_d = \frac{11}{3} \cdot \frac{g_C}{100} + m_{H_2O} + 0,768 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro} + \frac{g_N}{100} + 0,23 \cdot (\alpha - 1) \cdot m_{min}^{oro}; \quad (5)$$

Minimali oro masė reikalinga degimui apskaičiuojama pagal formulę:

$$m_{min}^{oro} = \frac{\frac{8 \cdot g_C}{3 \cdot 100} + 8 \cdot \frac{g_C}{100} \cdot \frac{g_O}{100}}{0,232}; \quad (6)$$

Vandens garų masė nustatoma pagal:

$$m_{H_2O} = 9 \cdot \frac{g_H}{100} + \frac{g_W}{100} + 0,014 \cdot \alpha \cdot m_{min}^{oro} \quad (7)$$

čia: g_N – azoto kiekis kure, %.

Degimui reikalingas oro tūris apskaičiuojamas:

$$V_O = 0,0889 \cdot g_C + 0,265 \cdot g_H - 0,0333 \cdot g_O \quad (8)$$

Dūmų savitoji šiluma apskaičiuojama:

$$c_p = 1,005 + 0,0001 \cdot t_{d1} + 0,8 \cdot m_{H_2O} \quad (9)$$

Šilumos nuostoliai išeinantys su dūmais apskaičiuojami:

$$q_2 = \frac{m_d \cdot c_p \cdot (t_{d1} - 20)}{Q_z} \cdot 100 \quad (10)$$

Šilumos nuostoliai netenkami su pelenais apskaičiuojami:

$$q_3 = \frac{t_p \cdot c_{pe} \cdot A}{Q_z} \cdot 100 \quad (11)$$

Bendri šilumos nuostoliai į aplinką apskaičiuojami:

$$q_5 = \frac{0,0144 \cdot Q_k^{0,6}}{Q_k} \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 3 \quad (12)$$

Naudingumo koeficientas apskaičiuojamas:

$$\eta = 100 - (q_2 - q_3 - q_4 - q_5) \quad (13)$$

čia: q_4 – mechaniniai nesudegimo nuostoliai kurie parodo ne visišką kuro sudegimo nuostolius. Pagal metodiką juos sudėtinga apskaičiuoti ir jie priimami iki 5 %. Šiuos nuostolius tiksliai nustatyti yra gana sudėtinga, kadangi biokuro katiluose mechaniniai nuostoliai pasireiškia per judamąsias katilo dalis, tokias kaip kuro, pelenų transporteriai, katilo ardymas, maitintuvai, hidrocilindrai ir kt. Šiuo atveju tolimesniuose skaičiavimuose jie priimami kaip 2 % (J. Gudzinskas ir kt. 2011).

Sudeginto kuro kiekis apskaičiuojamas:

$$B = \frac{Q_k \cdot t_p}{Q_z \cdot \eta} \cdot 100 \quad (14)$$

Vandens garų kiekis dūmuose apskaičiuojamas:

$$\mu_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot m_d \quad (15)$$

Vandens garų tūris dūmuose apskaičiuojamas:

$$V_{H_2O} = \frac{\mu_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} \quad (16)$$

Vandens garų kiekis prieš dūmų kondensacinį ekonomizerį apskaičiuojamas:

$$V_{DKE_{H_2O}} = \frac{V_{H_2O}}{V_o} \quad (17)$$

Dūmuose esantis drėgmės kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$d = \frac{m_{H_2O}}{m_d - m_{H_2O}} \quad (18)$$

Rasos taškas apskaičiuojamas:

$$T_R = (-1874,8 \cdot V_{DKE_{H_2O}})^4 + (3050,1 \cdot V_{DKE_{H_2O}})^3 - (1766,9 \cdot V_{DKE_{H_2O}})^2 + 498,9 \cdot V_{DKE_{H_2O}} + 10,578 \quad (19)$$

Vandens garų kiekis esantis už dūmų kondensacinio ekonomizerio apskaičiuojamas:

$$V_{DKE1_{H_2O}} = 1,754 \cdot 10^{-6} \cdot t_{d2}^3 - 1,2165 \cdot 10^{-4} \cdot t_{d2}^2 + 5,0002 \cdot 10^{-3} \cdot t_{d2} - 4,3183 \cdot 10^{-2} \quad (20)$$

Susikondensavusių vandens garų kiekis apskaičiuojamas:

$$\Delta V_{DKE_{H_2O}} = (V_{DKE_{H_2O}} - V_{DKE1_{H_2O}}) \cdot B \cdot V_o \cdot \rho_{H_2O} \cdot 3600 \quad (21)$$

Garavimo šiluma apskaičiuojama:

$$L = -0,0057 \cdot \left(\frac{t_{d1} + t_{d2}}{2} \right)^2 - 1,5844 \cdot \left(\frac{t_{d1} + t_{d2}}{2} \right) \quad (22)$$

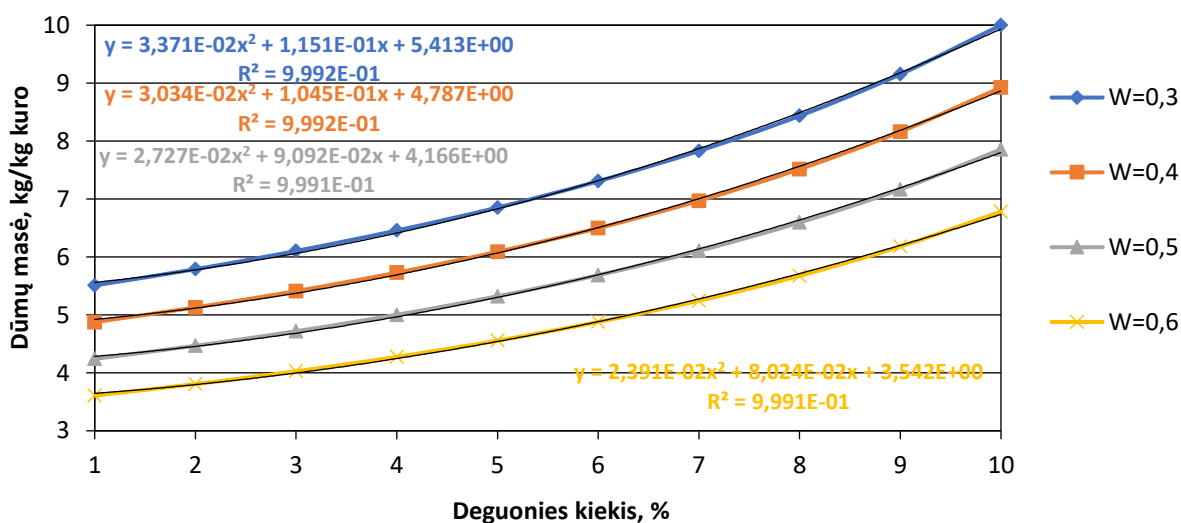
Drėgnų dūmų debitas apskaičiuojamas:

$$G = B \cdot m_d \quad (23)$$

Ekonomaizerio galia apskaičiuojama:

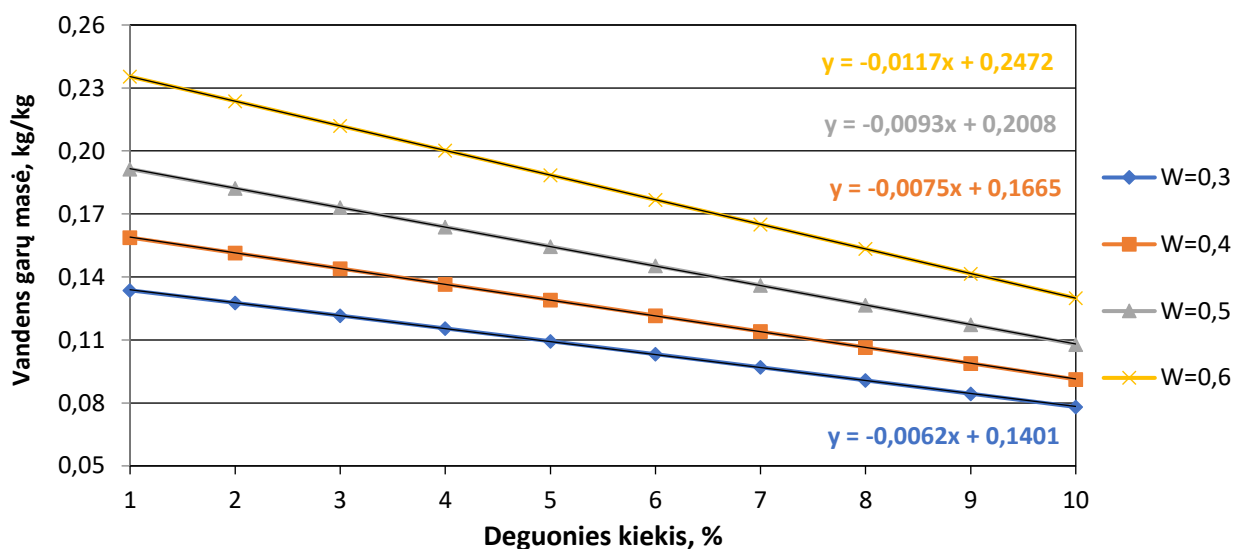
$$Q_{DKE} = G \cdot c_p \cdot (t_{d1} - t_{d2}) \cdot 0,95 + \frac{L \cdot \Delta V_{DKEH_2O}}{3600} \quad (24)$$

Pagal šiame skyriuje pateiktą metodiką buvo atlikti skaičiavimai AB „Klaipėdos energija“ katilinės darbo efektyvumui gerinti. Atlikus skaičiavimus buvo nustatyta kiek šiluminės energijos bus susigražinta įrengus absorbcinį šilumos siurblių bei atlikus rekonstrukciją pagal pasirinktus tris variantus. Šiems skaičiavimams buvo naudojama programa „Excel“, kurioje buvo atliekamos interpoliacijos pagal polinomus siekiant įvertinti reikalingą našumą kuo tiksliau, pagal amoniako ir vandens tirpalo savybes (Zajacs ir kt., 2017). 16, 17, 18, 19, 20, 21 paveikslai, kuriuose gauti daugianariai, panaudoti formulių (5) (7) (18) (19) ir (20) išvedimui. Naudojant tokią metodiką, tolimesniuose skaičiavimuose gautus duomenis panaudosime, įvertinant technologinių linijų modernizavimo galimybes, pagal biokuro katilų individualius darbinis režimus.



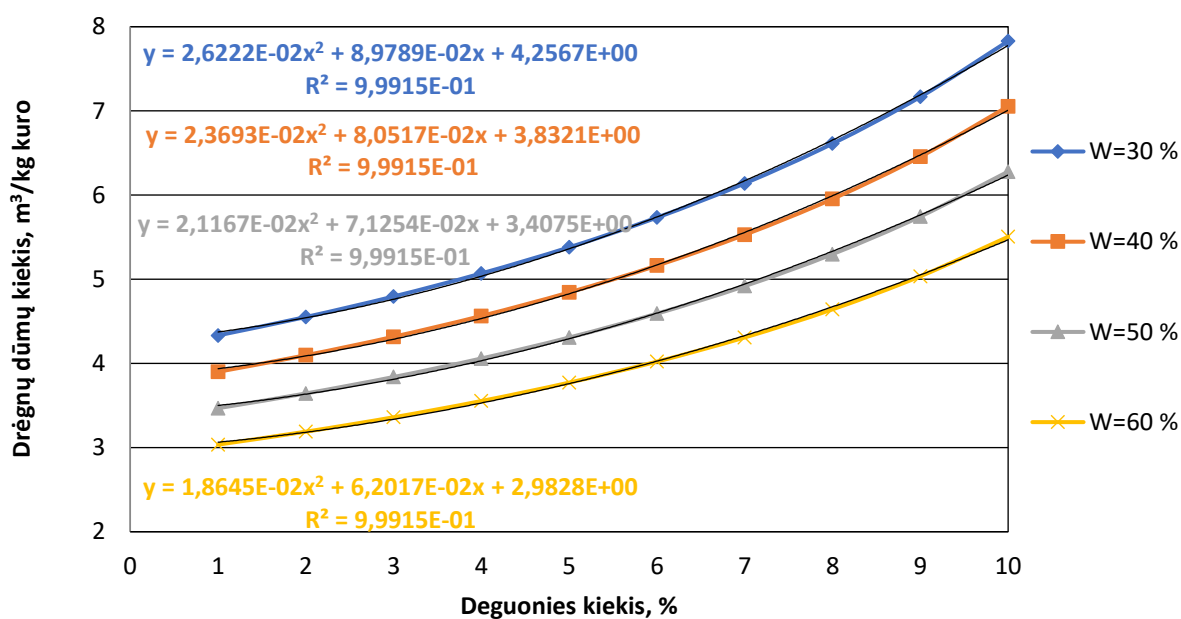
16 pav. Dūmų masės priklausomybės nuo deguonies kiekio aproksimacija

16 paveiksle pateikta dūmų masės priklausomybė nuo deguonies kiekio esant skirtingiems kuro drėgnumams pagal realius AB „Klaipėdos energija“ katilinės duomenis ir atsižvelgiant į tirpalo parametrus (Minea ir kt., 2006). Iš šių duomenų sudarytas grafikas ir gautas daugianaris, kuris panaudotas išvedant formulę (5). Gauta formulė naudojama skirtingiems situacijų parametrų rasti.



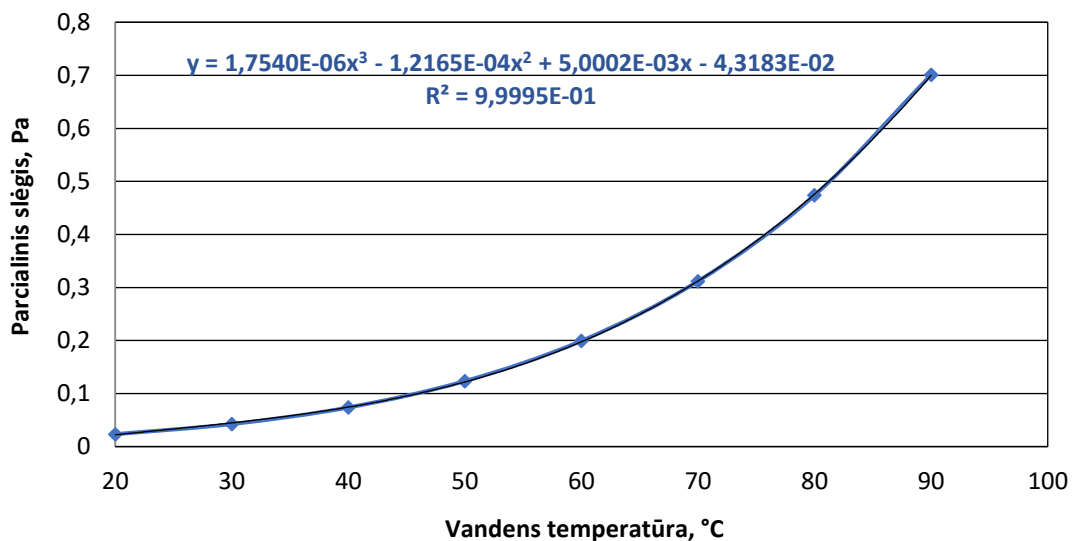
17 pav. Vandens garų masės dalies priklausomybės nuo deguonies kiekio aproksimacija

17 paveiksle pateikta amoniako ir vandens garų masės dalies priklausomybė nuo deguonies kiekio. Iš šių duomenų buvo sudarytas grafikas pagal skirtingus kuro drėgnumus ir išvestas daugianaris, kuris panaudojamas tolimesniems skaičiavimams formulėje (7).



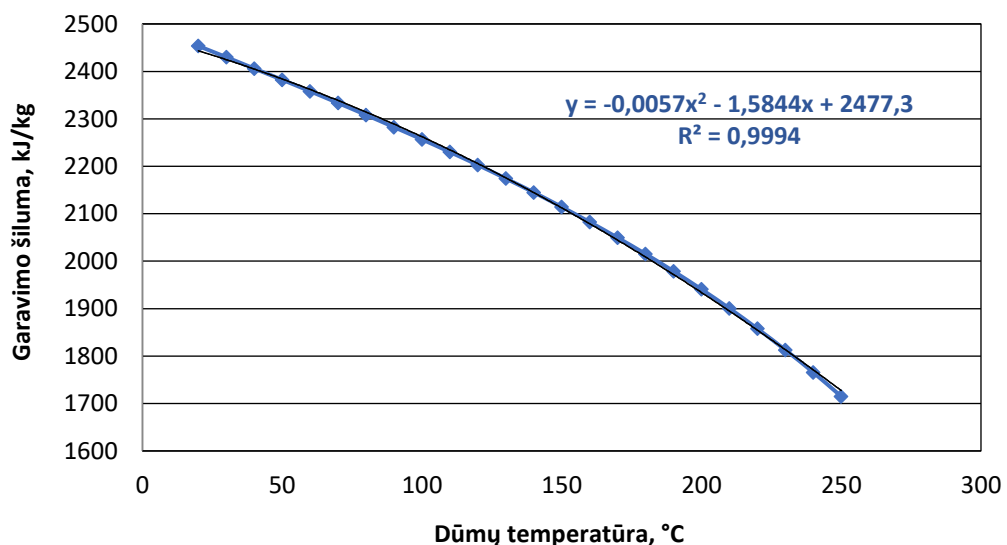
18 pav. Drėgnų dūmų kiekio priklausomybės nuo deguonies kiekio aproksimacija

18 paveiksle pavaizduotas drėgnų dūmų ir deguonies kiekio priklausomybė esant skirtingiems kuro drėgnumams. Pagal gautą grafiką naudojant aukščiau 16 ir 17 paveiksluose pateiktą metodiką, buvo išvesta formulė (18) įvertinant gautą daugianarį, skirtingiems scenarijams apskaičiuoti.



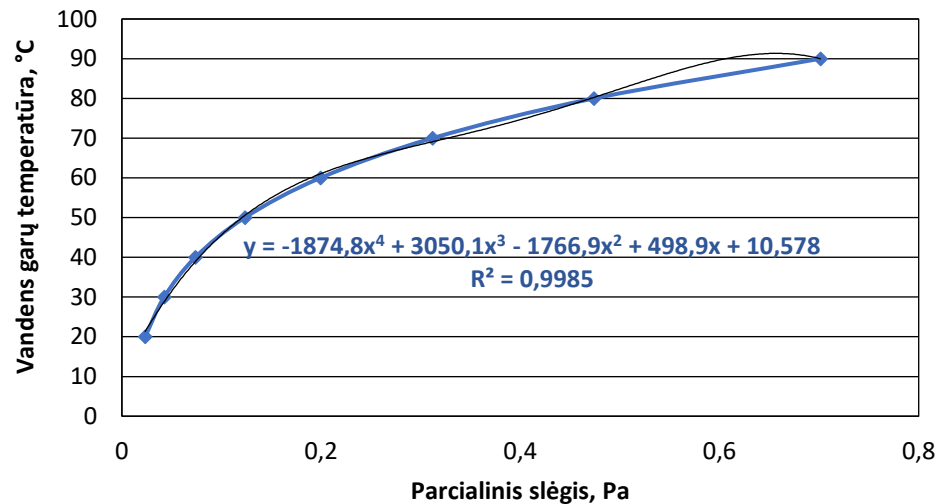
19 pav. Parcialinio slėgio priklausomybės nuo vandens temperatūros aproksimacija

Pagal parcialinio slėgio priklausomybės nuo vandens temperatūros grafiko duomenis (19 pav.), naudojantis kompiuterine programa „Excel“ buvo gautas daugianaris, kuris panaudotas (20) formulėje, norint įvertinti vandens garų kiekį už dūmų kondensacinio ekonomaizerio.



20 pav. Garavimo šilumos priklausomybės nuo dūmų temperatūros aproksimacija

Iš 20 paveiksle gauto daugianario, panaudojant garavimo šilumos ir dūmų temperatūros už vandens šildymo katilo priklausomybę, buvo atliekami skaičiavimai garavimo šilumai apskaičiuoti skirtingiems rekonstrukcijos scenarijams.



21 pav. Vandens garų priklausomybės nuo partialinio slėgio aproksimacija

21 paveiksle matoma vandens garų priklausomybė nuo partialinio slėgio. Iš šios priklausomybės gautas daugianaris, kuris panaudotas (19) formulėje, apskaičiuojant rasos tašką atsižvelgiant į tirpalo, naudojamo absorbciniame šilumos siurblyje parametrus.

2.4. Sudeginto mazuto ir pagamintos energijos kiekių skaičiavimo metodika

Priimame, kad katilinė dirba minimalų kiekį, per pastarąjį 10-ies metų laikotarpį – pusę metų. Apskaičiuojame tik dūmų kondensacinio ekonomizerio ir absorbcinio šilumos siurblio pagamintą šilumos kiekį. Sudegintas mazuto kiekis per metus priimamas pagal 2019 metus, per kuriuos buvo sudeginta 461 tona. Kiti skaičiavimams reikalingi parametrai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Priimti parametrai, sudeginto mazuto kiekiui apskaičiuoti

Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Duomenys	Matavimo vienetai
1	Katilo degiklių našumas	d_n	780	kg/h
2	Katilo degiklių kiekis	d_k	16	vnt.
3	2019 m. sudegintas mazuto kiekis	$m_{mazutas}$	461000	kg
4	Katilinės darbo laikas	t_{darbas}	4392	val.
5	Katilo galingumas maksimaliu apkrovimu	$Q_{katilas}$	116	MW

Mazuto pagamintas šilumos kiekis apskaičiuojamas:

$$Q_{mazutas} = \frac{m_{mazutas}}{d_n} \cdot Q_{katilas} \quad (25)$$

Sistemos pagamintas šilumos kiekis apskaičiuojamas:

$$S = t_{darbas} \cdot Q_s \quad (26)$$

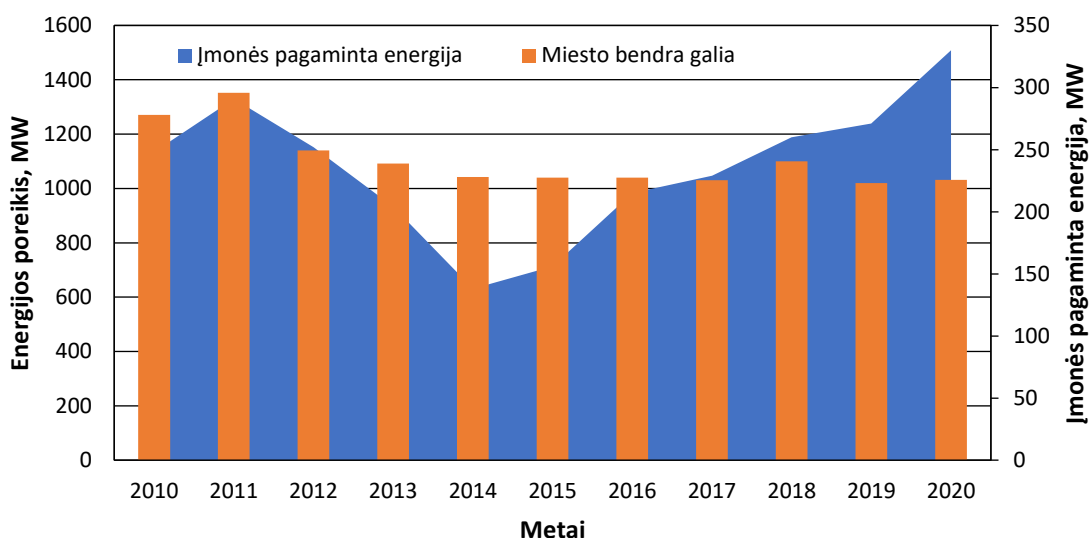
Analogiškai apskaičiuojamos visų trijų scenarijų pagaminta šiluminė energija ir atliktas palyginimas su sudeginto mazuto kiekiu. Pagal (26) formulę, išsireiškiamo kokios būtų galimybės atsisakyti iškastinio kuro deginimo, kompensuojant energijos kiekį iš įrengto dūmų kondensacinio ekonomizerio bei absorbcinio šilumos siurblio.

Skaičiavimai rezultatai pateikti kitame skyriuje.

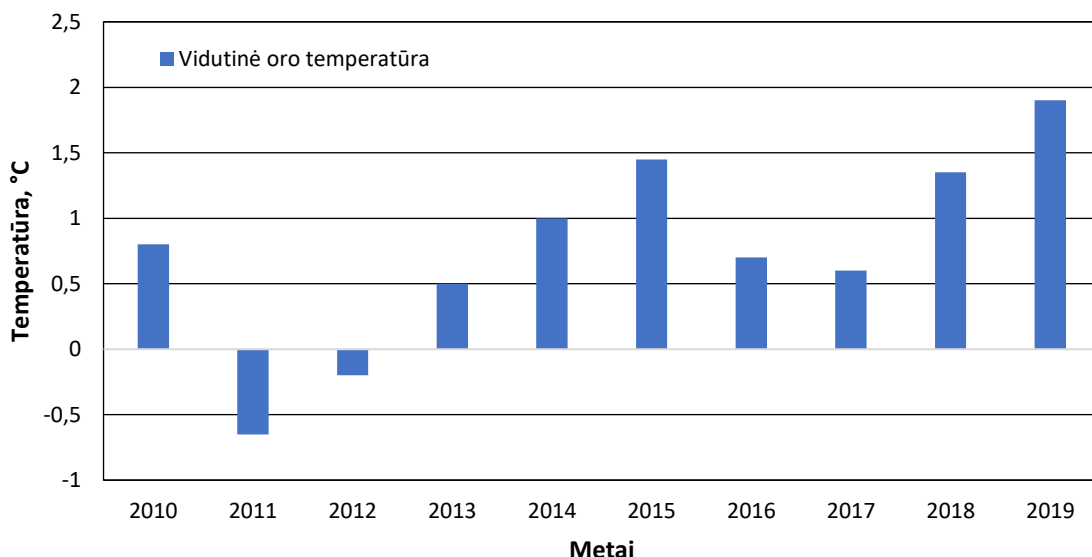
III. ANALITINĖ DALIS

3.1. Klaipėdos miesto energijos poreikio ir AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekių analizė

Šiame skyriuje bus aptarti 2010 – 2020 metų duomenys, kurie reikalingi siūlant technologinės linijos modernizavimo scenarijus, AB „Klaipėdos energija“ veiklos optimizavimui. Šiame skyriuje paveiksluose pateikti duomenys yra panaudoti iš įmonės ataskaitų. Išanalizuoti duomenys pateikti grafiniame pavidale, atlikti darbo autoriaus, kuriame atsispindi energijos gamybos, tiekimo bei aplinkosauginiai ypatumai, parodantys energijos gamybos efektyvumo didinimo galimybes.



22 pav. Miesto energijos poreikio ir įmonės pagamintos energijos kiekiai 2010-2020* metais



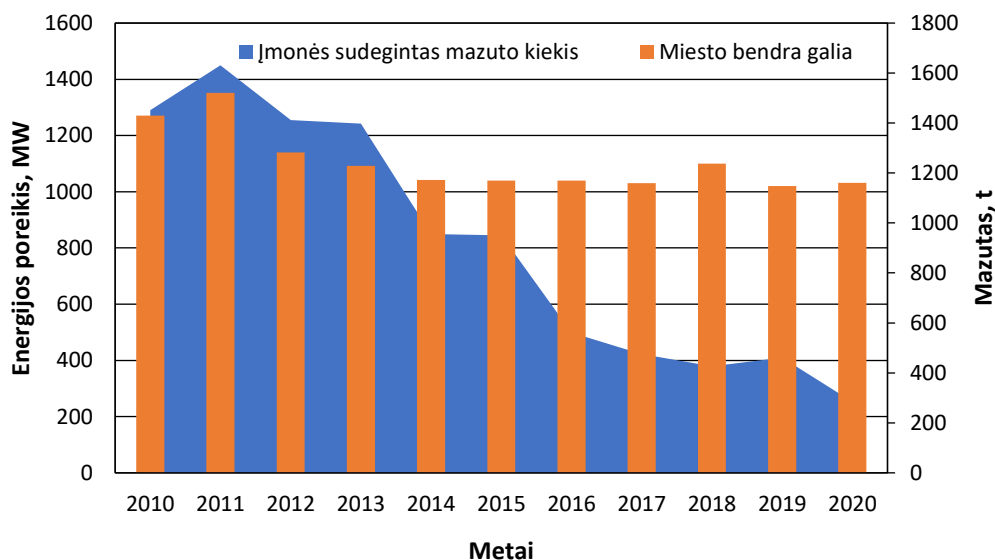
23 pav. Vidutinės oro temperatūros Lietuvoje 2010-2019 metais

22 paveiksle pavaizduota Klaipėdos miesto energijos (karštam vandeniui ir šildymui) poreikio ir AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekio 2010-2020 metais dinamika. Ši energija

reikalinga tiems gyventojams, kurie yra prisijungę prie centralizuotos šildymo sistemos. Paveiksle matome, kaip energijos poreikis nuo 2010 iki 2020 metų svyravo nuo 1020 MW iki 1352 MW ir ženkliai nesiskiria. Didžiausias energijos poreikis – 1352 MW buvo pastebimas 2011 metais, kuomet vidutinė oro temperatūra buvo žemesnė lyginant su kitais metais (23 pav.).

Paveiksle taip pat matome AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekius 2010-2020 metais. Svarbu paminėti, kad AB „Klaipėdos energija“ yra ne vienintelė įmonė teikianti šias paslaugas miestui. Pavyzdžiui, 2014 metais buvo pastatyta ir paleista darbui UAB „Fortum Klaipėda“, kurį perėmė dalį energijos teikimo paslaugų iš AB „Klaipėdos energija“, todėl matome energijos tiekimo miestui mažėjimą iš AB „Klaipėdos energija“ nuo 204 MW – 2013 metais iki 138 MW – 2014 metais. Be to, UAB „Fortum Klaipėda“ energijos gamybai naudoja atsinaujinantį kurą – biokurą, kurio kaina rinkoje yra pigiausia, tad didžiąją dalį iš pagamintos energijos perėmė būtent ši įmonė. Siekiant konkuruoti ir teikti Klaipėdos miestui pigesnę karštą vandenį bei šildymą AB „Klaipėdos energija“ 2016 metais pastatė du biokuro katilus, kas užtikrino įmonėje pagamintos energijos kiekio tiekimo miestui didėjimą net 27 % per metus.

Paveiksle taip pat matome, kad pagamintos energijos kiekis 2020 metais lyginant su 2019 metais išauga 21 %. Šį augimą lėmė papildomų dviejų biokuro katilų įrengimas.



24 pav. Mazuto sunaudojimas miesto energijos poreikiams 2010-2020* metais

Klaipėdos miesto energijos poreikio ir AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekio duomenys buvo pateikti 22 paveiksle, tačiau taip pat yra svarbu įvertinti kokį dalį kiekviena kuro rūšis sudaro bendrame energijos gamybos balanse.

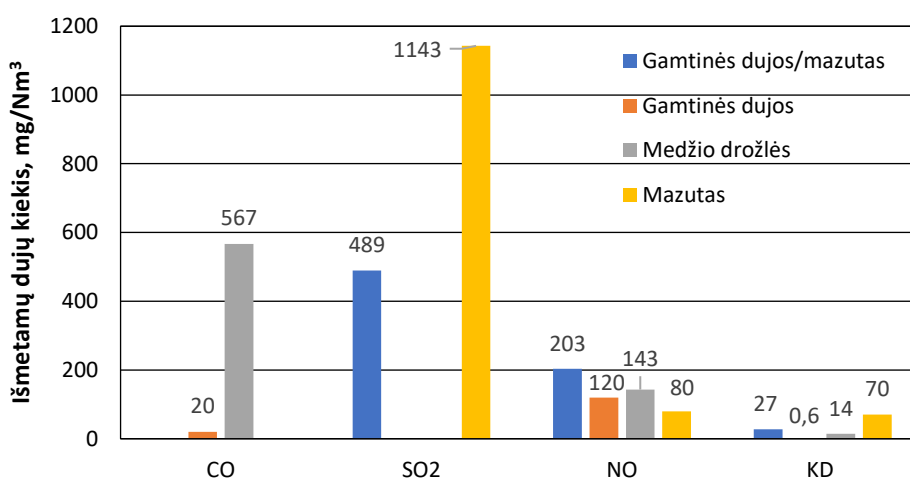
24 paveiksle pateikta mazuto sunaudojimo AB „Klaipėdos energija“ miesto energijos poreikiams 2010-2020 metais dalis. Kaip matote mazutas sudarė didžiąją dalį pagamintos energijos 2010-2013 metais. Didžiausias mazuto suvartojimas buvo 2011 metais ir siekė net 1631 tonų. Tuo

tarpu, nuo 2013 metų stebimas nuoseklus mazuto sunaudojimo mažėjimas, kuris kito nuo 1397 tonų 2013 metais iki 427 tonų 2018 metais ir sudarė 69 % procentų sumažėjimą. Tam įtakos turėjo tiek 2014 metais pradėjusi veikti UAB „Fortum Klaipėda“, taip pat Europos sąjungos žaliaji kryptis ir siekis pereiti prie klimato neutralios ekonomikos (ES atsinaujinančios energijos direktyva, 2018). Įmonės tikslas puikiai atspindi paveiksle, kuomet sudeginto mazuto kiekis sumažėjo 83 %, nuo didžiausio pasiekto piko 2011 iki mažiausio 2020 metais.

Pagal ES planus, yra siekiama sumažinti iškastinio kuro sunaudojimą, jį pakeičiant atsinaujinančia energija (ES atsinaujinančios energijos direktyva, 2018). 2020 metų planuose yra siekiama gaunamos energijos kiekį iš atsinaujinančios energijos padidinti iki 20 %, o iki 2032 metų iki 32 % (LR energetikos ministerija, 2018). Taip siekiama užkirsti kelią klimato atšilimui.

Šiuo metu mazutas AB „Klaipėdos energija“ laikomas kaip rezervinis kuras, nutikus avarinei situacijai ir netekus dujų tiekimo, nes energijos generavimui naudojamas pigiausia šiai dienai žaliava – biokuras. Mazuto deginimas galėtų būti tik esant nepakankamam energijos kiekiui mieste, kuomet lauko temperatūra siektų -15°C .

Pagrindinis aspektas dėl ko mazuto, kaip kuro, sunaudojimas mažėja yra didesnės emisijos energijos kiekio vienetai susidarymas (Nduagu ir kt., 2015).

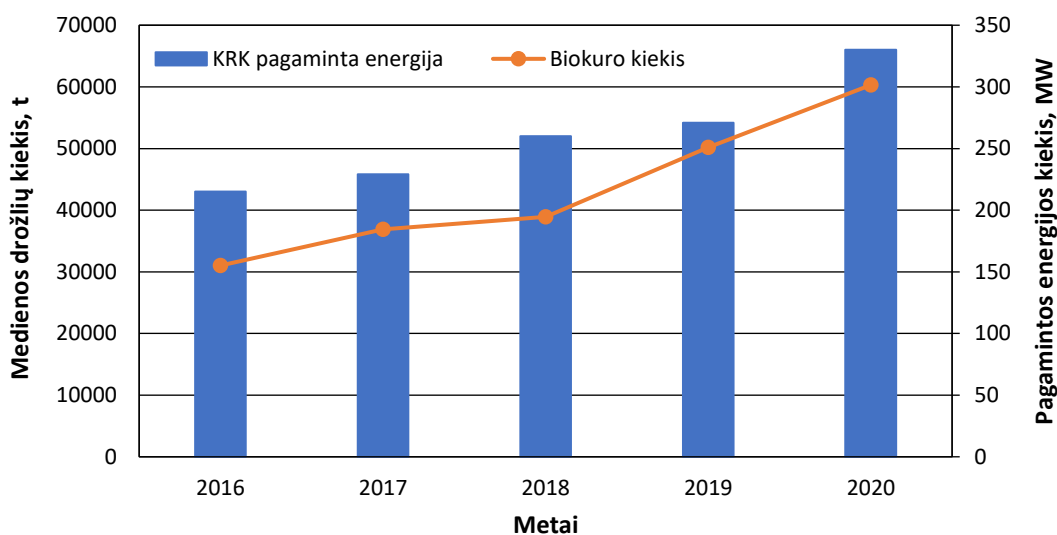


25 pav. Išmetamųjų dujų kiekio tyrimo AB „Klaipėdos energija“ rezultatai ir jų priklausomybė nuo kuro rūšies

25 paveiksle pateikta emisijų kiekių priklausomybė nuo AB „Klaipėdos energija“ deginamo kuro rūšies: mišrus (gamtinės dujos/mazutas), gamtinės dujos, mazutas ir medžio drožlės. Pirmiausia vertėtu paminėti kad dideli SO_2 ir NO_x kiekiai gali sukelti rūgščiuosius lietus, o CO išmetimai skatina šiltnamio efektą (Hao ir kt., 2007). Iki šios dienos nėra sukurtos technologijos, kuri leistų deginti kurą išvengiant emisijų, tačiau reikėtų rinktis kurą, kuris yra mažiausiai kenksmingas aplinkai ir turi didžiausias perspektyvas žvelgiant į ateitį.

Svarbu paminėti, kad matavimai buvo atlikti esant vienodiems katilų galingumams deginant skirtingą kurą. Nustatyta, kad deginant medžio drožles bei gamtines dujas, tarp išmetamųjų dujų, sieros dioksido neaptinkame. Medžio drožlių deginimo metu išsiskiria daugiausiai CO – 567 mg/Nm³, kuris yra ženkliai didesnis nei kitų kuro rūšių (Hao ir kt., 2007). Pateiktame paveiksle taip pat labai ryškiai išsiskiria SO₂ kiekis deginant mazutą – 1143 mg/Nm³. ES direktyvos numato kad maksimalus SO₂ kiekis yra 1700 mg/Nm³, šio kiekio dydis yra tiesiogiai proporcingas mazuto sieraingumui, kuris turėtų būti ne didesnis nei 1 mas. % (ES sieros kiekio sumažinimas skystame kure direktyva, 2016). Nustatyta, kad deginant mazutą kietųjų dalelių koncentracija siekia 70 mg/Nm³.

Atlikus išmetamųjų dujų analizę matome, kad mažiausias emisijų kiekis yra deginant gamtines dujas, tačiau atsižvelgiant į kuro kainą ir EK tikslus, medžio drožlės yra pagrindinis katilinės kuro šaltinis šiai dienai.

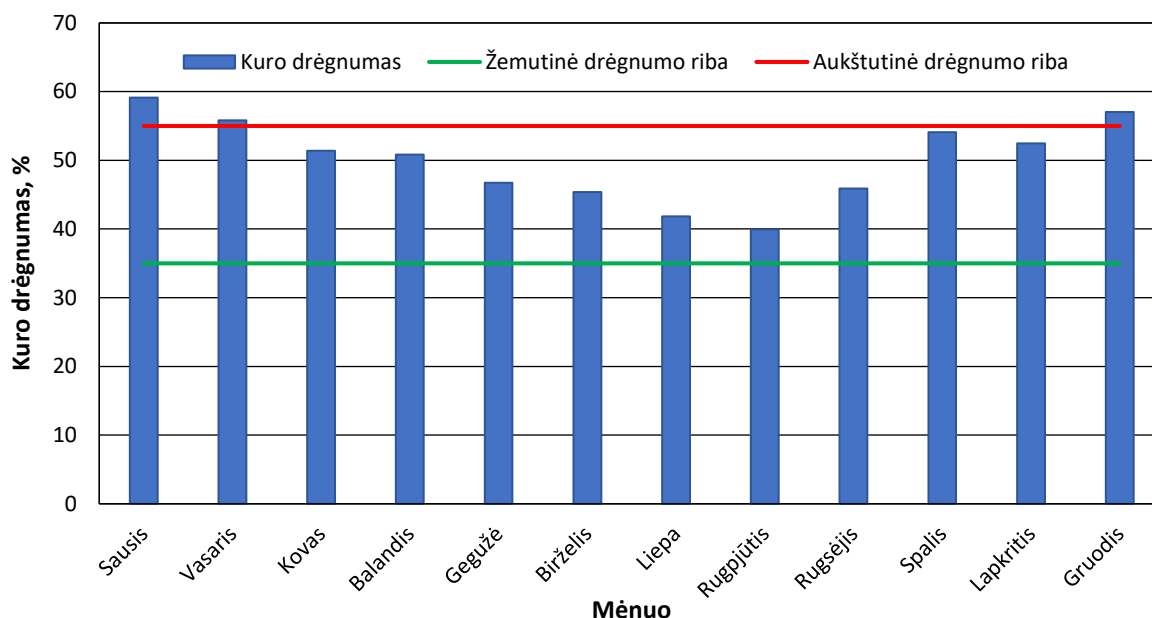


26 pav. Iš biokuro pagamintos energijos kiekiai 2016 -2020* metais

26 paveiksle atvaizduoti AB „Klaipėdos energijos“ iš biokuro pagamintos energijos kiekiai 2016-2020 metais. Sudeginto biokuro kiekis nuosekliai didėjo nuo 31 iki 50,2 tūkst. tonų per metus, atitinkamai 2016 ir 2019 metų laikotarpyje. Prognozuojama, kad didžiausias sudegintas biokuro kiekis bus 2020 metais ir sieks ~60,3 tūkst. tonų per metus. Svarbu pastebėti, kad pagamintos energijos kiekis 2018 metais buvo 260 MW, o 2019 metais jis išaugo 4,1 % ir siekė 271 MW. Energijos kiekio padidėjimas buvo minimalus (apie 11 MW), tačiau sudeginto biokuro kiekis pakito ženkliai – 23 %, nuo 38,9 iki 50,2 tūkst. tonų per metus. Iš šių skaičių galime spręsti jog didėjant energijos poreikiui, reikės ženklaus medžio drožlių kiekio. Įrengus biokuro katilus, nekintant bendram katilinėse pagamintam energijos kiekiui buvo sudeginta mažiau mazuto, kurio išmetamųjų dujų tarša yra kur kas didesnė ir palaipsniui pereinama prie atsinaujinančios energijos, kuri sumažins katilinės emisijas bei prisidės prie oro kokybės užtikrinimo Klaipėdos mieste.

3.2. Žaliavos kokybės įtakos efektyviam katilinės darbui pasiekti analizė

Biokuro katilų bei papildomų įrengimų tokių kaip dūmų kondensacinis ekonomizeris ir absorbcinis šilumos siurblys, naudingo veikimo koeficientas priklauso nuo kūrenamo kuro – šiuo atveju medienos skiedros. Biokuro kokybė nusakoma techninėje specifikacijoje (8 lentelė), kurią privalo užtikrinti tiekėjai.

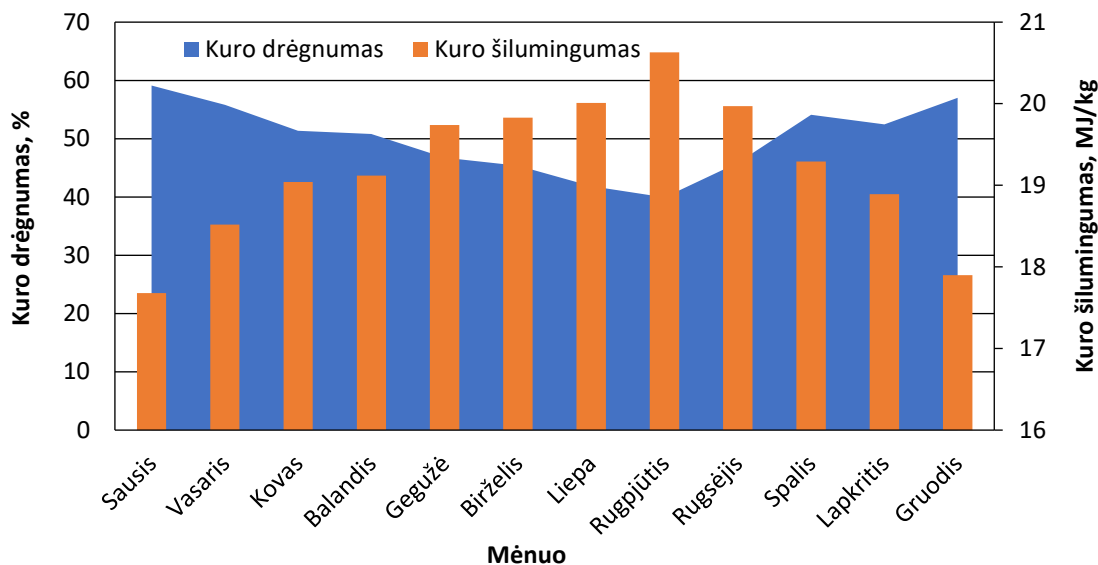


27 pav. AB „Klaipėdos energija“ biokuro drėgnumo svyravimai 2019 metais

27 paveiksle matome medienos skiedrų drėgnumo svyravimus AB „Klaipėdos energija“ katilinėje, kurie buvo nustatyti 2019 metais. Kuro šilumingumas buvo nustatytas AB „Klaipėdos energija“ laboratorijoje. Raudona linija žymi pagal technines specifikacijas maksimalų kuro drėgnumą - 55 %, o žalia linija - drėgnumą, kuris gali būti minimalus – 35 % (LR energetikos ministerija, 2017). Pagal pateiktus duomenis galime matyti, kad žiemos sezono metu kuro drėgnumas yra didžiausias ir siekia 59,12 %, o kai kuriais mėnesiais net viršija maksimalią ribą. Taip yra todėl, kad didžioji dalis pagamintų medienos skiedrų yra laikoma atvirame lauke arba nesandėliuojami, o pagaminus iš karto pristatoma užsakovams. Kadangi žiemos sezono metu yra ypatingai padidėjęs drėgmės kiekis aplinkoje, tai turi tiesioginės įtakos medienos skiedrų drėgnumui. Todėl kaip matome iš biokuro drėgnumo vidurkių, ne visada pavyksta užtikrinti medienos skiedrų techninę specifikaciją.

Minimalios drėgnumo ribos, per 2019 metus, kuro drėgnumas neperžengė. Sausiausio kuro, drėgnumas siekė 39,92 % ir buvo naudojamas rugpjūčio mėnesį. Bendras 2019 metų kuro drėgnumo vidurkis buvo 50,04 %. Esant drėgnam kurui, vyrauja didesni šilumos nuostoliai, išeinantys su degimo produktais, todėl dūmų kondensacinio ekonomizerio ir absorbcinio šilumos siurblio našumas padidėja, kadangi išeinantys dūmai su savimi turi didesnę šiluminę energiją. Tačiau viršijant numatytas kuro drėgnumo normas, mažėja ekonomizerio bei šilumos siurblio efektyvumas,

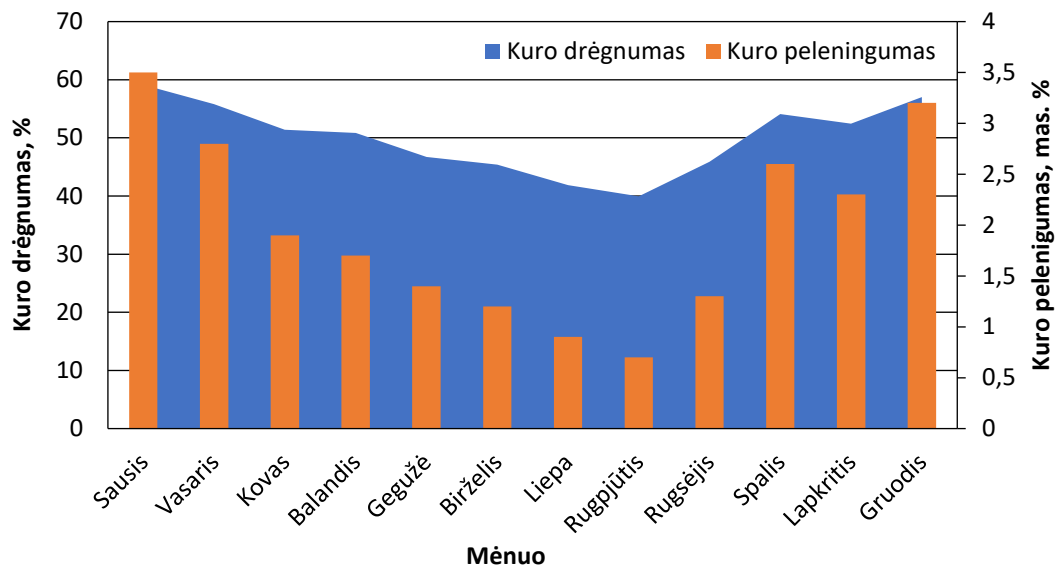
kadangi degimo produktuose didėja kietųjų dalelių, kurios užteršia išpurškiamo kondensato vandenį, taip sumažinant pralaidumą pro ekonomizerio bei šilumos siurblio šilumokaičius (Barceló ir kt., 2020). Esant sausam kurui, kurio drėgnumas arti 35 % padidėja biokuro katilo našumas, kadangi vyksta pilnas kuro sudegimas katilo pakuroje, taip sumažėja ekonomizerio ir šilumos siurblio našumas (Zou ir kt., 2017). Tačiau sumažėjęs ekonomizerio našumas deginant sausą kurą, kompensuoja bendrą biokuro sistemos efektyvumą, dėl didesnės kuro šiluminės energijos (28 pav.), nei esančios drėgname kure (Martinaitis ir kt., 2014).



28 pav. AB „Klaipėdos energija“ biokuro drėgnumo palyginimas su kuro šilumingumu

28 paveiksle matome kuro šilumingumo priklausomybę nuo kuro drėgnumo. Šiame paveiksle puikiai atsispindi, kaip esant mažam kuro drėgnumui - 39,92 %, kuro vidutinis šilumingumas yra pats aukščiausias – 20,63 MJ/kg, atitinkamai esant drėgnam kurui – 59,12 %, kuro vidutinis šilumingumas siekė tik 17,68 MJ/kg. Teoriškai smulkintos medienos kuro šilumingumas svyruoja nuo 17 iki 22 MJ/kg (Hartmann, 2007). Atliekant tolimesnius skaičiavimus kuro šilumingumas priimtas pagal kuro drėgnumo kiekį. Vidutinis medienos skiedrų šilumingumas lyginant 2019 metų analizę duomenis, buvo 19,22 MJ/kg.

Be kuro drėgnumo ir šilumingumo, katilinės biokuro katilų efektyvumui taip pat svarbus yra kuro peleningumo aspektas. Biokuro pelenai padidina mechaninius nuostolius, kurie susiję su mechaniniu ardymo ir kitų judamųjų dalių veikimu. Todėl tai yra dar viena priežastis, dėl kurios yra svarbūs kuro kokybės rodikliai.



29 pav. AB „Klaipėdos energija“ biokuro drėgnumo palyginimas su kuro peleningumu

29 paveiksle matome kuro peleningumo priklausomybę nuo kuro drėgnumo. Tendencijos yra labai panašios kaip ir 28 paveiksle, kur matome, kad kuo kuras drėgnesnis, tuo didesnis jo peleningumas. Šiuo atveju paveiksle aiškiai matoma tiesioginė priklausomybė, kuomet didėjant kuro drėgnumui, didėja peleningumas. Didžiausias peleningumo rodiklis buvo nustatytas sausio mėnesį - 3,5 mas. %. Šį mėnesį kuro drėgnumas, bei peleningumas viršijo techniniuose specifikacijose pateiktas leistinas ribas, kurias privalėjo užtikrinti biokuro tiekėjas ir tai turėjo tiesioginės įtakos biokuro katilų darbui bei jų efektyvumui (Aga ir kt., 1996). Biokuro peleningumas skatina mažesnę naudingo veikimo koeficientą (Costa ir kt., 2020). Taip pat didelis peleningumas didina energijos sąnaudas pelenams šalinti iš katilo pakuros, didesnis kietųjų dalelių kiekis patenkantis į dūmų šalinimo traktą, kuriame baterinio multiciklono pagalba, šios dalelės yra šalinamos. Todėl yra akivaizdu – norint maksimalaus efektyvumo, privalu, kad kuro kokybės rodikliai atitiktų techninių specifikacijų normas ir neviršytų leistinas drėgnumo normas ir esant galimybei išlaikyti kuro drėgnumą arti minimalios leistinos ribos, norint išgauti maksimaliai didelį kuro šilumingumą bei mažą kuro peleningumą (Barceló ir kt., 2020).

3.3. AB „Klaipėdos energija“ energetinio efektyvumo didinimo galimybių analizė

Vienas iš variantų būtų sumažinti šiluminius nuostolius pasišalinančius su išeinančiais dūmais įrengiant absorbcinį šilumos siurbį. Šio įrenginio technologinis procesas suteikia galimybę ataušinti išeinančius degimo produktus iki minimalios temperatūros pasisavinant šiluminę energiją už kondensacinio dūmų ekonomizerio.

Šiame darbe analizuojami jau esami įrenginiai, jų naudojamas kuras šiluminei energijai gauti, taip pat atsižvelgiant į emisijų kiekį bei sudėtį, taip bandant pagerinti šiuo metu vykstančius

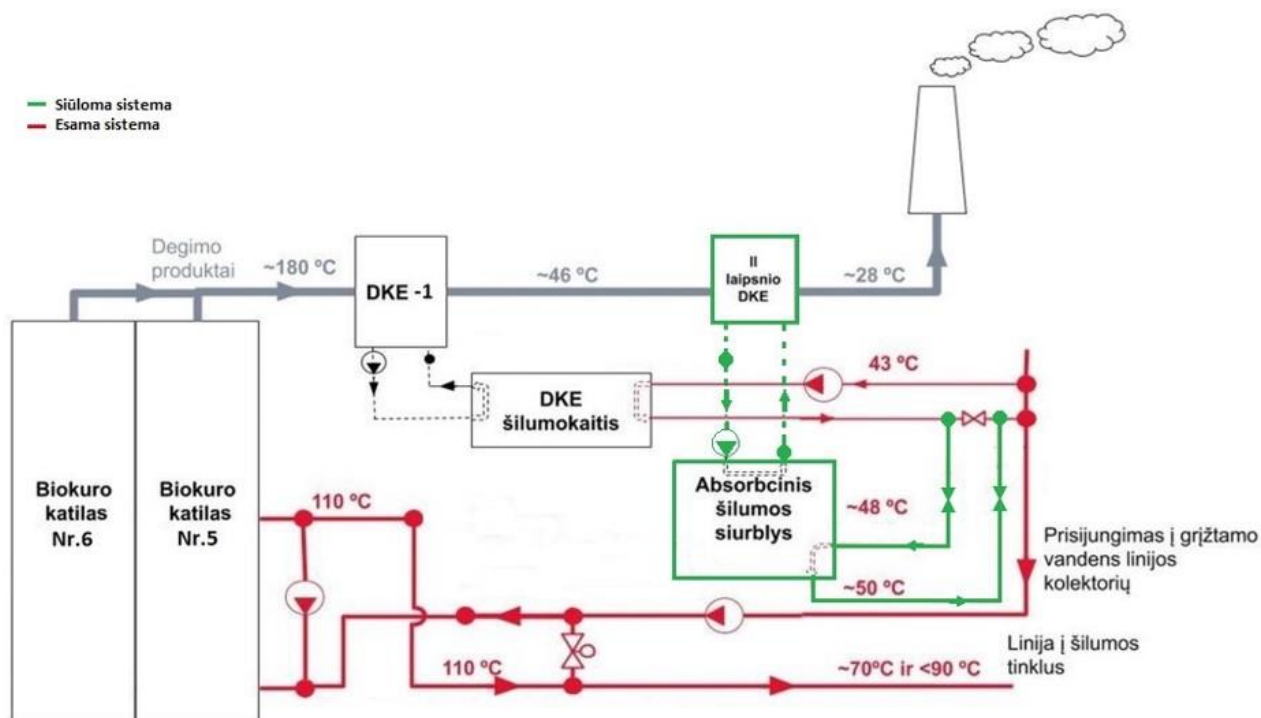
technologinius procesus katilinės darbinuose režimuose, norint pagerinti įrenginių našumą siekiant maksimalaus naudingo veikimo darbo.

Šiame skyriuje pateikta informacija apie energetinio efektyvumo didinimo galimybes AB „Klaipėdos energija“. Analizei buvo pasirinkti 3 scenarijai:

- 1 scenarijus – įrengtas absorbcinis šilumos siurblys ant dviejų, tačiau vieno dūmų trakto, biokuro katilų;
- 2 scenarijus – įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai ant trijų biokuro katilų, iš kurių du katilai vieno ir vienas atskiro dūmų trakto katilų;
- 3 scenarijus – atlikta rekonstrukcija, įrengti dveji absorbciniai šilumos siurbliai ant keturių biokuro katilų, iš kurių dviejų katilų dūmų traktas sujungtas ir pastatytas galingesnis ekonomizeris.

Kaip *status quo* gautų duomenų palyginimui buvo paimti 2019 metų katilinės duomenys.

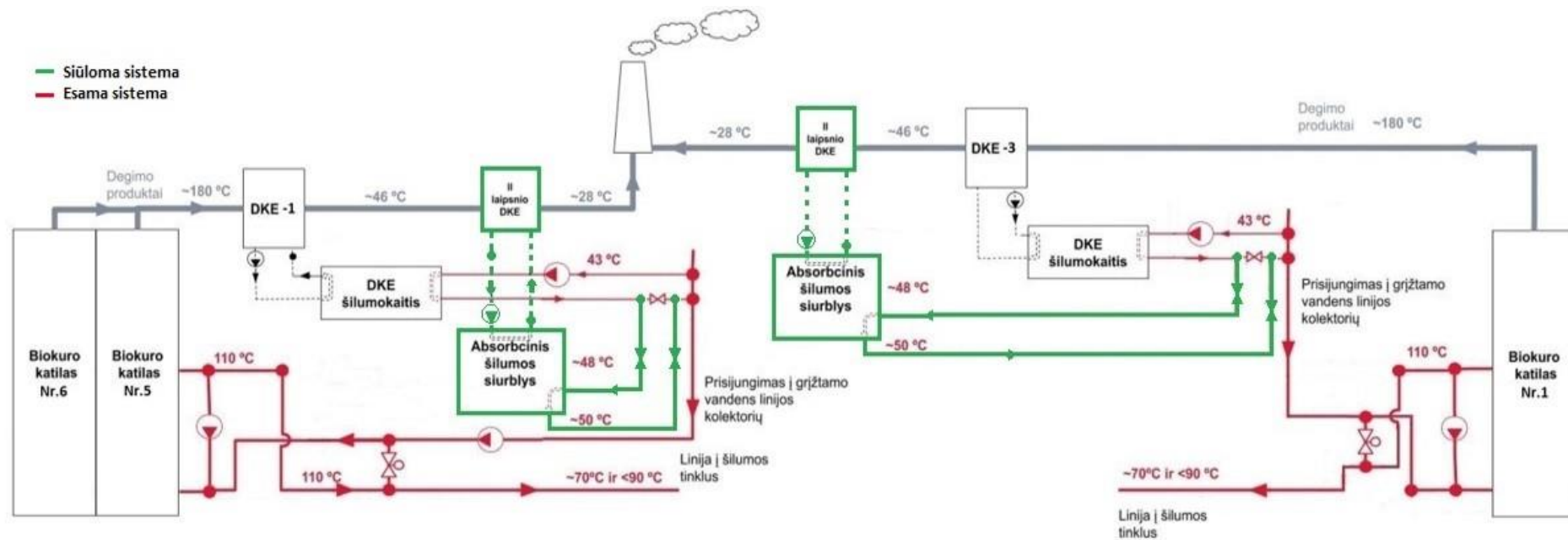
Išėinančių dūmų temperatūra po dūmų kondensacinis ekonomizeris -1 yra $45 \div 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ iš kurios yra galimybė atgauti dalį šilumos. Absorbcinis šilumos siurblys atgautą šilumą naudoja termofikacinio vandens, po kondensacinių ekonomizerių tiekiamam į vandens šildymo katilus pašildymui. Teoriškai degimo produktai gali būti ataušinami ir iki $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir vandens garas, kuris lieka dūmuose sukondensuojamas, tačiau praktikoje to atlikti beveik neįmanoma. Siekiant išgauti daugiausiai energijos iš dūmų, reikia maksimaliai priartėti prie teorinės efektyvumo ribos.



30 pav. Principinė technologinės linijos modernizavimo schema su vienu papildomu absorbciniu šilumos siurbliu (1 scenarijus): DKE – dūmų kondensacinis ekonomizeris; (paveikslas sudarytas darbo autoriaus)

Pirmas iš galimų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų būtų absorbcinio šilumos siurblio pagamintą šilumos energiją tiekti į Klaipėdos miesto centralizuoto šilumos tiekimo sistemą, taip efektyvinant esamų biokuro vandens šildymo katilų su kondensaciniais ekonomaizeriais šilumos energijos gamybos efektyvumą ir sumažinti bendrą mazuto suvartojimo kiekį. 30 paveiksle matome absorbcinio šilumos siurblio schemą, kurioje jis yra prijungtas už dūmų kondensacinio ekonomaizerio – 1, kuris priklauso dvejiems biokuro katilams ir išėinančių dūmų temperatūra už absorbcinio šilumos siurblio būtų ~ 28 °C. Kiekvieno katilo šiluminė galia yra po 8 MW. Katilai veikia lygiagrečiai su vienu bendru kondensaciniu ekonomaizeriu Nr. 1, kurio šiluminė galia iki 3,8 MW. šilumos siurblys bus skirtas 16 MW vandens šildymo katilų su kondensaciniu ekonomaizeriu galiai.

Absorbcinis siurblys paimtų termofikacinį vandenį, kurį jau pašildė dūmų kondensacinis ekonomaizeris (DKE-1) ir panaudotų išėinančių dūmų už kondensacinio ekonomaizerio - 1 temperatūrą vandeniui šildyti (30 pav.). 30 paveiksle matome, kad prieš vandens šildymo katilus yra sumontuoti dūmų kondensacinis ekonomaizeris bei absorbcinis šilumos siurblys, kurie šildo grįžtamą vandenį, esantį 43 °C ir paduoda į vandens šildymo katilus. Už kondensacinio ekonomaizerio termofikacinio vandens temperatūra yra ~ 48 °C, kuri toliau panaudojamas absorbciniame siurblyje išgauti papildomą šiluminę energiją iš dūmų srauto. Už kondensacinio ekonomaizerio ir absorbcinio šilumos siurblio vandens temperatūra paduodama prieš katilus yra ~50 °C. Kuo aukštesnė temperatūra tuo katilas dirbs naudingiau, suvartojant mažiau kuro, kadangi bus mažesnis temperatūrų skirtumas prieš ir už katilo (Gimbutis ir kt., 1993).



31 pav. Principinė technologinės linijos modernizavimo schema su dveiais absorbciniais šilumos siurbliais (2 scenarijus): DKE – dūmų kondensacinis ekonomizeris (paveikslas sudarytas darbo autoriaus)

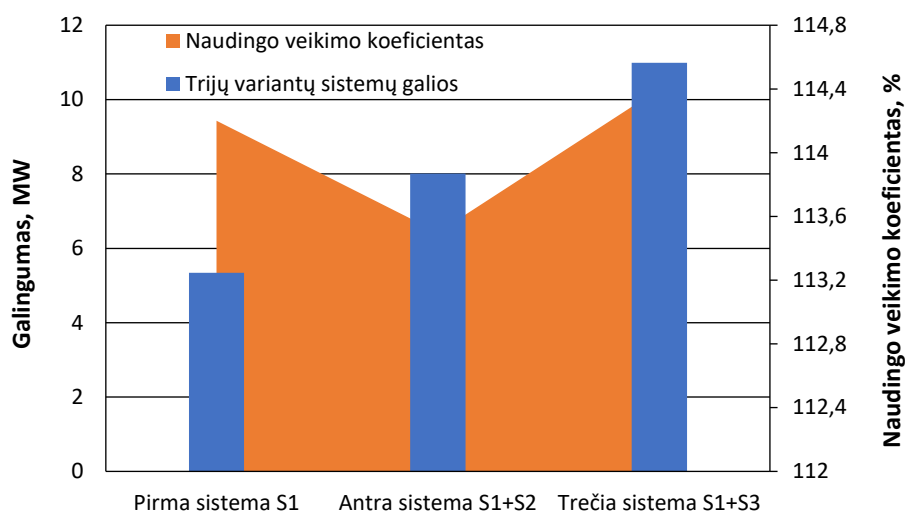
Antras iš galimų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų būtų dviejų absorbcinių šilumos siurblių įrengimas ant skirtingo galingumo biokuro katilų. AB „Klaipėdos energija“ katilinėje yra įsirengti keturi biokuro katilai, kurių galingumai vienodi, po 8 MW. Du iš jų naudoja bendrą dūmų šalinimo traktą ir kondensacinį ekonomaizerį. Kiti du katilai turi savo atskirus ekonomaizerius po 1,9 MW bei atskirus šalinimo traktus. (31 pav.) Dūmų temperatūra išeinanti iš katilo yra tokia pati, tačiau srautas yra mažesnis. Esant mažesniai dūmų srautui, būtų reikalingas mažesnio našumo absorbcinis šilumos siurblys, kuris sušildytų mažesnį kiekį šalto vandens. Tačiau reikia atkreipti dėmesį į tai, kad ši šiluma be absorbcinio siurblio būtų išleidžiama į orą, kurią galėtumėme panaudoti ir katilinėje būtų atliekamas naudingesnis bei efektyvesnis šiluminės energijos gavimas. Naudojant AŠS, ant dviejų katilų dūmų trakto, vandens srautas, kurį pašildytų šilumos siurblys būtų $\sim 500 \text{ m}^3/\text{h}$., dirbant maksimaliu apkrovimu. Įrengus absorbcinį siurblių ant vieno katilo dūmų trakto, pašildyto vandens srautas sumažėtų dvigubai. Tačiau vertinant dūmų temperatūrą už kondensacinio ekonomaizerio $\sim 46^\circ\text{C}$ ir už absorbcinio šilumos siurblio belieka tik $\sim 28^\circ\text{C}$, kurie paduodami į kamina, iš jo - į aplinką.

Trečias iš galimų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų būtų dviejų absorbcinių šilumos siurblių įrengimas ant keturių biokuro katilų, skaidant juos poromis po du. 32 paveiksle matome atliktą rekonstrukciją, kurioje dviejų katilų dūmų šalinimo traktas yra sujungtas, taip sudarant bendrą srautą ir atveriant galimybę pastatyti didesnio našumo absorbcinį siurblių. Tokiu atveju privalu panaikinti dūmų kondensacinį ekonomaizerį-3 ir dūmų kondensacinį ekonomaizerį-4, kurių galingumo neužteks bendro dviejų katilų dūmų srautui ir įrengti vieną didesnio našumo ekonomaizerį, paveiksle pažymėtu kondensacinis ekonomaizeris-2, kurio galingumas turėtų būti $\sim 3,8 \text{ MW}$. Rekonstravus dūmų šalinimo traktą bei įrengus našesnį ekonomaizerį, galime įrengti kur kas galingesnį absorbcinį šilumos siurblių taip padidinant išgaunamos šiluminės energijos našumą. Absorbcinis šilumos siurblys sušildyto vandens srautas išaugtų dvigubai, įrengiant mažesnį kiekį įrenginių. Iš katilų išeinanti dūmų temperatūra siekia $\sim 180^\circ\text{C}$, kuri po šilumos gražinimo įrenginių iš dūmų belieka $\sim 28^\circ\text{C}$. Bendras šildomo vandens srautas naudojant du AŠS ant keturių biokuro katilų gautųsi $\sim 1000 \text{ m}^3/\text{h}$. Naudingiausias absorbcinių siurblių darbas atliekamas kuomet reikalinga vandens temperatūra paduodama į šilumos tinklus iki 90°C (Shueller ir kt., 2019). Esant aukštesnei vandens temperatūrai, naudingumas mažėja, kadangi grįžtamo vandens temperatūra taip pat padidėja, kas sumažina šilumos pasisavinimo galimybes iš šalinamų dūmų.

3.4. Technologinės linijos modernizavimo scenarijų skaičiavimo rezultatų analizė

Pagal 2.3. skyriuje „Absorbcinio šilumos siurblio ir dūmų kondensacinio ekonomaizerio skaičiavimo metodika“ pateiktą metodiką buvo atlikti skaičiavimai AB „Klaipėdos energija“ katilinės

darbo efektyvumui gerinti. Atlikus skaičiavimus buvo nustatyta kiek šiluminės energijos bus susigražinta įrengus absorbcinius šilumos siurblius bei atlikus rekonstrukciją pagal skirtingus tris variantus. Gauti svarbiausi skaičiavimų parametrai pavaizduoti 12 lentelėje ir 33 paveiksle.



33 pav. Skirtingų rekonstrukcijos variantų galių palyginimas su naudingo veikimo koeficientu:

S1 – pirmasis technologinės linijos modernizavimo scenarijus su vienu absorbciniu šilumos siurbliu ant dviejų biokuro katilų; S1+S2 – įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai, t.y. pirmosios linijos scenarijus ir papildomai įrengtas absorbcinis šilumos siurblys ant vieno biokuro katilo; S1+S3 – įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai – pirmojo scenarijaus variantas ir taip pat atlikta dūmų trakto rekonstrukcija sujungiant dviejų biokuro katilų dūmų šalinimo traktus su nauju dūmų kondensaciniu ekonomaizeriu ir dvigubai našesniu šilumos siurbliu.

33 paveiksle pavaizduoti trijų skirtingų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų bendrų suminių galių palyginimas su naudingo veikimo koeficientu. Paveiksle matosi tendencija, kad didinant katilų našumus didėja ir dūmų kondensacinių ekonomaizerių galia kartu lygiagrečiai dirbant su absorbciniais šilumos siurbliais. Tačiau naudingo veikimo koeficiento kritimas pastebimas ties antru įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijumi, kuris yra 113,5 %. Taip yra todėl, kad antrame technologinės linijos modernizavimo scenarijuje yra du absorbciniai siurbliai iš kurių vienas yra ant 8 MW galingumo katilo. Naudingumo koeficientas kinta nedaug tarp šių trijų skirtingų variantų, tačiau didžiausias, kuomet siekia 114,4 % yra trečiame variante, kai yra du absorbciniai šilumos siurbliai su rekonstruotu dūmų kondensaciniu ekonomaizeriu.

12 lentelė. Skirtingų variantų vandens šildymo katilų, dūmų kondensacinių ekonomizerių ir absorbcinių šilumos siurblių parametrai

	Katilo našumas	Dūmų kondensacinio ekonomizerio galia	Absorbcinio šilumos siurblio galia	Vandens debitas per dūmų kondensacinį ekonomizerį	Vandens debitas per absorbcinį šilumos siurbį	Dūmų kondensacinio ekonomizerio paduodamų ir išėinančių vandens temperatūrų skirtumas	Absorbcinio šilumos siurblio paduodamų ir išėinančių vandens temperatūrų skirtumas	Sistemos galia	Sistemos naudingumo veikimo koeficientas
Žymėjimas	Q_K	Q_{DKE}	Q_{AŠS}	F_{DKE}	F_{AŠS}	Δt_{DKE}	Δt_{AŠS}	Q_{S1}	NVK
Matavimo vienetai	MW	MW	MW	m³/h	m³/h	°C	°C	MW	%
Pirmosios sistemos, su įrengtu vienu absorbciniu šilumos	16	4	1,34	366,66	80,71	8,66	15,1	5,34	114,2
Antrosios sistemos, su įrengtais dvejais absorbciniais šilumos siurbliais	24	6	2,01	505,75	120,8	8,54	14,8	8,01	113,5
Trečiosios sistemos, su įrengtais dvejais absorbciniais šilumos siurbliais ir naujai įrengtu dūmų kondensaciniu ekonomizeriu	32	8,3	2,69	674,95	160,86	8,71	15,4	10,99	114,4

Iš 12 lentelės galima matyti, kad antrajame technologinės linijos modernizavimo scenarijuje su dvejais absorbciniais šilumos siurbliais, kuomet katilų bendra galia yra 24 MW, naudingumo koeficientas yra pats mažiausias – 113,5 %. Taip yra todėl, kad sąlyginai mažas katilo galingumas – 8 MW daro įtaką naudingesniai dūmų kondensacinio ekonomizerio ir absorbcinio šilumos siurblio darbui. Žinoma, absorbcinis šilumos siurblys susigražintas šilumos kiekis iš dūmų yra 0,67 MW. Prie šios sistemos lygiagrečiai būtų įrengtas absorbcinis šilumos siurblys ant 16 MW galingumo katilų.

Pagal atliktus skaičiavimus, maksimalų efektyvumą būtų galima pasiekti ir daugiausiai šiluminės energijos susigražinti atlikus rekonstrukciją pagal trečio technologinės linijos modernizavimo scenarijų, kuriame būtų įrengti du absorbciniai šilumos siurbliai bei atlikta dūmų kondensacinio ekonomizerio rekonstrukcija. Šame modernizavimo scenarijuje termofikacinio vandens srautas per kondensacinį ekonomizerį siekia 674,95 o per absorbcinį šilumos siurbį 160,86 m³/h. Termofikacinio vandens srautas proporcingai didėja arba mažėja priklausomai nuo bendros biokuro katilų sistemos našumo bei galingumo.

Nustatyta, kad efektyviausias modernizavimo scenarijus yra trečiasis, kuriame būtų atliekama rekonstrukcija ir įrengtas galingesnis dūmų kondensacinis ekonomizeris – 4,3 MW ant dviejų katilų bendro dūmų trakto bei įrengtas absorbcinis šilumos siurblys. Bendras sistemos galingumas siektų 5,65 MW ir naudingumo koeficientas būtų didžiausias – 114,4 %. Taip pat prie šios sistemos priklauso ir pirmosios sistemos 16 MW katilai, kurių naudingo veikimo koeficientas – 114,2 %. Bendras vandens šildymo katilų galingumas būtų 32 MW, o sistemos galia siektų 10,99 MW.

3.5. Taršaus kuro sunaudojimo esant skirtingiems technologinės linijos modernizavimo scenarijams lyginamoji analizė

Pagal AB „Klaipėdos energija“ katilinės 2019 metų ataskaitą ir atliktus skaičiavimus galime įvertinti naujų rekonstrukcijos modernizavimo scenarijų susigražintą šiluminę energiją bei kiek sumažėtų sudeginto mazuto, kaip taršaus kuro kiekis katilinei dirbant naujiems įrenginiams.

13 lentelė. Teoriškai susigražintas šilumos kiekis (MWh), kuris pakeistų sudeginto mazuto kiekį

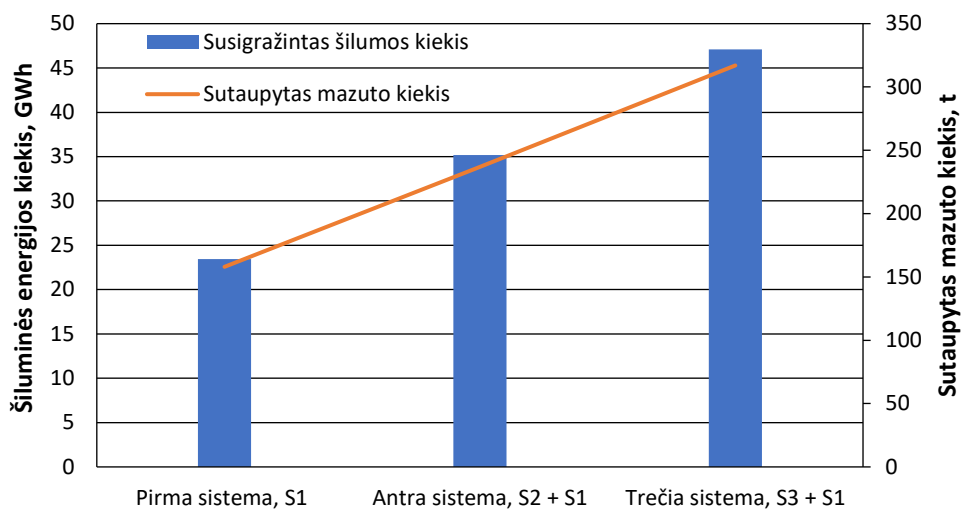
	Susigražintas šilumos kiekis, MWh	Mazutu gauta šiluminė energija, MWh	Sutaupyta mazuto kiekis, t	Sutaupyta mazuto kiekis, %	Skirtumas su 2019 metais, t	2019 metai pagamintas energijos kiekis, MWh	Susigražintas šilumos kiekis palyginus su 2019 metais pagamintu energijos kiekiu, %
Pirmasis scenarijus su vienu įrengtu absorbciniu šilumos siurbliu, S_1	23456,3	68558,97	158	34	303	1190232	1,97
Antrasis scenarijus su dvejais absorbciniais šilumos siurbliais, $S_2 + S_1$	35179,92		237	51	224		2,96
Trečiasis scenarijus su nauju dūmų kondensaciniu ekonomizeriu ir dvejais absorbciniais šilumos siurbliais, $S_3 + S_1$	47082,24		317	69	144		3,96

Iš 13 lentelėje pateiktų duomenų galime matyti, kad didžiausią naudingą katilinės darbą ir mažiausiai taršaus kuro sudegintumėme tuomet, kai būtų atlikta rekonstrukcija. Taip sumažinant sudeginto mazuto kiekį 69 % nuo 461 iki 144 tonų per metus.

Trečiojo technologinės linijos modernizavimo scenarijaus su dvejais absorbciniais šilumos siurbliais bei rekonstruotu dūmų kondensaciniu ekonomizeriu našumas siekia beveik 68 % lyginant su šilumine energija pagaminta iš mazutu deginamo kuro. Atitinkamai pirmojo scenarijaus 32 %, o antrojo 49 %.

Pagal apskaičiuotus rezultatus ir palyginus trijų skirtingų rekonstrukcijos variantų pagamintą šilumos kiekį su katilinės bendru šiluminės energijos kiekiu galime matyti, kad šiuo metu katilinė

išleidžia į aplinką tokį šilumos kiekį, kuris svyruoja nuo 1,97 iki 3,96 % nuo bendros pagamintos energijos 2019 metais kas sudaro iki 47082,24 MWh.



34 pav. Šiluminės energijos kiekio palyginimas su sudeginto mazuto kiekiu

34 paveiksle yra palygintas šiluminės energijos kiekis su mazuto kiekiu, kuris buvo sutaupyta skirtingiems rekonstrukcijos tipams. Iš šio paveikslo matome, kad siekiant sumažinti kenksmingų išmetimų deginant mazutą kiekį, reiktų investuoti į absorbcinį šilumos siurblių, kuris išgauna šiuo metu išmetamą šilumą iš išsėjančių degimo produktų. Paveiksle taip pat galime įžvelgti išgautos šiluminės energijos tiesioginę priklausomybę nuo sudeginto mazuto kiekio. Pasirinkus rekonstrukcijos variantą ir norint visiškai nutraukti mazuto deginimą įmonė turi dirbti 266 dienas. Per pastaruosius 10 metų, maksimalus katilinės darbas per metus truko 11 mėnesių, t.y. 334 dienų. Tokiu atveju dūmų kondensacinis ekonomizeris su absorbciniu šilumos siurbliu pagamintų 86189 MWh šiluminės energijos, taip visiškai nutraukiant mazuto deginimą bei išgaunant maksimalų efektyvumą iš išsėjančių degimo produktų.

REKOMENDACIJOS

Pagal 2.3 skyriuje „Absorbcinio šilumos siurblio ir dūmų kondensacinio ekonomaizerio skaičiavimo metodika“ atliktus skaičiavimus ir 3.3 skyriuje „AB „Klaipėdos energija“ energetinio efektyvumo didinimo galimybių analizė“ atliktą įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų analizę rekomenduojama AB „Klaipėdos energija“ įrengti du absorbcinius šilumos siurblius, atlikus dviejų biokuro vandens šildymo katilų dūmų trakto ir dūmų kondensacinio ekonomaizerio rekonstrukciją.

Įmonės katilinėje atlikta rekonstrukcija, leistų sujungti dviejų biokuro katilų dūmų traktus, taip įrengiant dvigubai našesnę dūmų kondensacinį ekonomaizerį ir absorbcinį šilumos siurblių. Atlikus trijų technologinių linijų galimų modernizacijų palyginimą, nustatyta, kad taip bus pasiektas didžiausias efektyvumas ir maksimalus našumas.

Vertinant pasaulyje vyraujančias tendencijas, mažėjantis iškastinio kuro suvartojimas, kuris pakeičiamas atsinaujinančiais energijos šaltiniais, priverčia imtis sprendimų, kurie atneštų didžiausią naudą tiek įmonei, tiek visuomenei jau netolimoje ateityje. Toks įmonės sprendimas leistų per metus susigražinti ~47 GWh šiluminės energijos, kuri šiuo metu yra pašalinama su išėinančiais degimo produktais. Taip pat atsižvelgiant į 3.1 skyriuje „Klaipėdos miesto energijos poreikio ir AB „Klaipėdos energija“ pagamintos energijos kiekių analizė“ pateiktus duomenis ir emisijų deginant mazutą skaičiavimo rezultatus, iš trijų analizuotų galimų technologinių linijų modernizavimo scenarijų, susigražintas šilumos kiekis būtų didžiausias, taip leidžiant sumažinti sudeginto iškastinio kuro kiekį net iki 69 %, lyginant su 2019 metais.

Be to, siūlomas technologinės linijos modernizavimo scenarijaus naudingo veikimo koeficientas yra pats didžiausias ir siekia 144,4 %, kuris parodo biokuro katilų su naujais įrenginiais efektyviausią darbą deginant medienos skiedras, taip pasiekiant maksimalią naudą iš esamų įrenginių ir su rekonstrukcijos metu suprojektuotais įrenginiais.

Taip pat deginant iškastinį kurą, AB „Klaipėdos energija“ atveju mazutą, į aplinką patenka dideli kiekiai sieros dioksido – iki 1143 mg/Nm³, kuris yra pavojingas ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai. Siūlomas modernizavimo scenarijus leistų sumažinti ne tik sudeginto mazuto kiekį, bet ir emisijas, kurias degimo produktas išskiria ruošiant termofikacinį vandenį centriniams šilumos tinklams.

IŠVADOS

1. Pagal darbe atliktus skaičiavimus ir technologinės linijos modernizavimo scenarijų analizę nustatyta, kad susigražintos šiluminės energijos kiekis gali svyruoti nuo 23456,3 MWh (pirmas iš galimų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų) iki 47082,24 MWh (trečias iš galimų įmonės technologinės linijos modernizavimo scenarijų) taip sudarant nuo 1,97 iki 3,96 % viso pagaminto energijos kiekio katilinėje.
2. Nustatyta, kad katilinėje įrengus absorbcinį šilumos siurblį ir atlikus dūmų kondensacinio ekonomaizerio rekonstrukciją (trečias scenarijus), būtų ne tik didžiausias susigražintas šilumos kiekis, bet ir nuo 39 iki 69 %, lyginant su 2019 metais, sumažintas sudegintas iškastinio kuro kiekis.
3. Nustatyta, kad pasirinkus įrengti du absorbcinius šilumos siurblius (antras scenarijus) neatliekant dūmų kondensacinio ekonomaizerio rekonstrukcijos, iš trijų scenarijų nors ir susigražintas šilumos kiekis būtų 33 % didesnis nei pirmojo scenarijaus ir siektų 35179,92 MWh, tačiau naudingo veikimo koeficientas būtų mažiausias – 113,5 %. Taip yra todėl, kad vieno biokuro katilo dūmų srautas per mažas užtikrinti efektyvų absorbcinio šilumos siurblio darbą.
4. Nustatyta, kad įmonėje antras pagal naudingumą scenarijus būtų įrengti vieną absorbcinį šilumos siurblį (pirmas scenarijus), neatliekant dūmų kondensacinio ekonomaizerio rekonstrukcijos, bet užtikrinant aukštą naudingo veikimo koeficientą 114,2 %. Šio scenarijaus įgyvendinimo metu, naudojant dūmų kondensacinio ekonomaizerio ir absorbcinio šilumos siurblio kombinaciją, galia siektų 5,34 MW. Taip pat šis scenarijus reikalautų mažiausiai įmonės išteklių įrengimui.
5. Nustatyta, kad siekiant maksimalaus efektyvumo reikėtų atlikti dūmų kondensacinio ekonomaizerio rekonstrukciją (trečias scenarijus). Bendra siūlomos rekonstrukcijos galia siektų 10,99 MW, taip būtų išgaunamas didžiausias šiluminės energijos kiekis – 47082,24 MWh. Susigražinta šiluminė energija kompensuotų didžiausią kiekį energijos, kurį pagamina iškastinis kuras, sumažinant sudegintą mazuto kiekį per metus apie 317 tonų, lyginant su 2019 metais.

INCREASING ENERGY EFFICIENCY AT KLAIPĖDOS ENERGIJA AB

Š.Šukutis

Supervisor prof. dr. T.Paulauskienė

SUMMARY

In today's growth-driven world economy affordable, reliable, and sustainable energy supply is needed. Today, and in recent decades, the main source of energy has been fossil fuel, whose resources have been steadily declining over time. For this reason, the technology-driven world is investing heavily in renewable energy, which is environmentally friendly and ensures security of energy supply.

In Lithuania, where the demand for heating is quite high, a reliable supply of energy is mandatory. However, Lithuania does not have enough of its own fossil fuel reserves and fuel is imported, so renewable energy is one of the best ways to remain independent. For this reason, the National Energy Independence Strategy until 2030 envisages increasing the usage of renewable energy resources up to 45% of the country's total consumption. Following global trends in the field of energy and seeking to increase the company's energy efficiency for contributing to a climate-neutral economy, further companies' economical investments would be a step towards the implementation of Lithuania's renewable energy strategy.

In this Master's Thesis, it was established that in order to achieve maximum efficiency, Klaipėdos Energija AB should perform the reconstruction of the condensing economizer (the third of the possible scenarios for the modernization of the company's technological line). The total capacity of the proposed reconstruction would reach 10.99 MW, thus the maximum amount of thermal energy would be extracted - 47082.24 MWh. The recovered thermal energy would compensate for the maximum amount of energy produced by fossil fuel, reducing the amount of fuel oil burned per year by about 317 tonnes compared to 2019.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- A.M.Costa, D.Salvatore. 2020. Does biomass energy consumption reduce total energy CO₂ emissions in the US. *Journal of Policy Modeling*. Vol. 42: 953-967.
- B.Hebenstreit, R.Schnetzinger, R.Ohnmacht, E.Hoftberger, W.Haslinger. 2011. Efficiency optimization of biomass boilers by a combined condensation – heat pump – system. *Proceedings of ECOS*.
- Baltpool [Interaktyvus], Žiūrėta: 2020-11-04, Nuoroda:<<https://www.baltpool.eu/lt/birzoje-prekiaujami-produktai/>>
- C.Wang, B.He, L.Yan, X.Pei, S.Chen. 2014. Thermodynamic analysis of a low-pressure economizer based waste heat recovery system for a coal-fired power plant. *Energy*. Vol. 65: 80-90.
- C.Netzer, T.Li, L.Seidel, F.Mauss. Stochastic Reactor-Based Fuel Bed Model for Grate Furnaces. *Energy & Fuels*. 2020. Vol.34(12).
- C.Wang, J.Zhu. Circulating Fluidized Beds. *Essentials of Fluidization Technology*. 2020. 239-268.
- D.Aga, A.J.Daugulis, Z.He, E.C.Lima, G.Lyberatos. 1996. From waste to raw material—the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 50: 157-168
- D.Barceló, J.Gan. 2020. Exploration of the potential capacity of fly ash and bottom ash derived from wood pellet-based thermal power plant for heavy metal removal. *Science of The Total Environment*. Vol. 740.
- D.Brack, J.Hewitt, T.M.Marchand. Woody Biomass for Power and Heat. *Energy*. 2018.
- D.Martuzevičius. Pagrindiniai biokuro deginimo energetikoje aplinkosaugos aspektai. 2015.
- D.S.Balzarov, L.S.Sabitov, B.F.Timershin, E.Y.Balzarova. Increase of efficiency of heat sources work due to application of condensation economizers on an example of a boiler PTVM-180. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 412
- Europos Bendrijų Tarybos direktyva [Interaktyvus] Žiūrėta: 2020-10-22, Nuoroda:<https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en>
- Europos komisijos direktyva [Interaktyvus] Žiūrėta: 2020-09-17, Nuoroda:<https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_lt>
- Europos komisijos direktyva [Interaktyvus] Žiūrėta: 2020-09-23, Nuoroda:<https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en>

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva [Interaktyvus] Žiūrėta: 2020-10-02, Nuoroda:<<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A32016L0802>>

Europos Sąjungos tarybos ir Europos Vadovų tarybos susitarimas [Interaktyvus] Žiūrėta: 2020-10-08, Nuoroda:<<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>

F.Ziegler. 2020. Theoretical performance evaluation of ejector and economizer with parallel compression configurations in high temperature heat pumps. International Journal of Refrigeration. Vol. 119: 356-365.

F.Lamers, M.Cremers, D.Matschegg, C.Schmidl, K.Hannam, P.Hazlett, S.Madralli, B.Primdal. Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing. IEA Bioenergy. 2018.

F.Silva, N.C.Cruz, L.A.C.Tarelho, S.M.Rodrigues. Use of biomass ash-based materials as soil fertilisers: Critical review of the existing regulatory framework. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol.214:112-124

G.Gimbutis, K.Kajutis, V.Krukoniš, A.Pranckūnas, P.Švenčianas. Šiluminė technika Vilnius: Mokslas 1993. 333 p. ISBN 5-420-00741-7

H.Hartmann. Handbuch Bioenergie Kleinanlagen. 2007.

H.Keith E.,R.Reinhard ir K.Sanford, "Absorption Chillers and Heat Pumps", "CRC Press", 1996

H.Lund. 2019. A novel thermodynamic method and insight of heat transfer characteristics on economizer for supercritical thermal power plant. Energy. Vol. 191.

H.A.J.A.V.Kuijk, R.J.M.Bastiaans, J.A.V.Oijen, P.D.Goey. Grate Furnace Combustion: A Submodel for the Solid Fuel Layer. International Journal for Multiscale Computational Engineering. 2007. Vol.6(1):947-954.

H.Kopnina. Energy Policy in the European Union: Renewable Energy and the Risks of Subversion. Governance and Security Issues of the European Union. 2016.

Y.Niu, J.Hua, H.Fan, Optimization of solution heat exchanger of AHP in flue gas waste heat recovery. Procedia Engineering. 2017. Vol. 205:477-484.

Y.Shi, Q.Liu, Y.Shao, W.Zhong. Energy and exergy analysis of oxy-fuel combustion based on circulating fluidized bed power plant firing coal, lignite and biomass. Fuel. 2020. Vol. 269.

Y.Yang, C.Ryu, V.Sharifi. Modelling Waste Combustion in Grate Furnaces. Process Safety and Environmental Protection. 2004. Vol.82(3):208-222.

I.Konsantinavičiūtė. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų nacionalinių emisijų rodiklių energetikos sektoriuje atnaujinimas. Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorija. Lietuvos energetikos institutas. 2016.

I.Librenti, E.Ceotto. Biomass characteristics and energy contents of dedicated lignocellulosic crops. 2010.

I.Martic, S.J.Budimir, N.Mitrovic, A.Maslarevic. Application and design of an economizer for waste heat recovery in a cogeneration plant. Thermal Science . 2015. Vol. 2015(00):211-211.

- I.Nduagu, I.D.Gates. Unconventional Heavy Oil Growth and Global Greenhouse Gas Emissions. *Environmental science and technology*. 2015. Vol. 49(14):8824-8832
- Y.Sun, L.Ma, W.Robinson, C.Fidge. Using decision trees in economizer repair decision making. *Prognostics and Health Management Conference*. 2010.
- International renewable energy agency. Renewable power – to – heat. Innovation landscape brief. 2019.
- J.D.Mcmillan. Pretreatment of Lignocellulosic Biomass. *Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production*. 1994. Vol.15:292-324.
- J.Gudzinskas, V.Lukoševičius, V.Martinaitis, E.Tuomas. Šilumos vartotojų vadovas. Lietuvos tiekėjų asociacija. 2011.
- J.Yan. 2015. Energy consumption and CO₂ analysis of different types of chippers used in wood biomass plantations. *Applied Energy*. Vol. 156:686-692
- J.J.Klemeš, C.Maria, V.B. de Almeida, Y. Wang. 2020. Does wood biomass energy use reduce CO₂ emissions in European Union member countries. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 253.
- J.J.Klemeš, C.Maria, V.B. de Almeida, Y.Wang. 2020. Performance evaluation of thermal power plants considering CO₂ emission: A multistage PCA, clustering, game theory and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 223: 641-650.
- J.K.Schueller, S. Fountas, Y. He, D. Schmoldt, S. Symons, Q. Zhang. Use of heat pumps in HVAC systems for precise environment control in broiler houses: System's modeling and calculation of the basic design parameters. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2019. Vol. 163.
- J.Perko, V.Dugec, D.Topic, D.Sljivac. Calculation and design of the heat pumps. *International Youth Conference on Energetis*. 2011
- J.DeFrees, R.Stuckey. Demonstration of a Condensing Economizer. *Energy Engineering*. 2008. Vol. 105(05):19-43.
- J.Hao, L.Wang, M.Shen, L.Li, J.Hu. Air quality impacts of power plant emissions in Beijing. *Environmental Pollution*. 2007. Vol.147:401-408
- J.R.Grace. Fluidization And Fluidized Beds. *The Expanding World of Chemical Engineering*. 2019. 196-209.
- J.Vos. Biomass Energy for Heating and Hot Water Supply in Belarus. *Best Practice Guidelines*. 2005.
- Jonathan J. I.barra Bahena, Rosenberg J. Romero. 2014. Performance of Different Experimental Absorber Designs in Absorption Heat Pump Cycle Technologies: A Review. *Energies*. Vol 7(2): 751-766.

- K. Marcinauskas, I. Korsakienė. Žemiau rasos taško temperatūros vėsinamų dūmų šilumos panaudojimo galimybių įvertinimas. Lietuvos mokslų akademijos leidykla, 2006. ENERGETIKA. Nr . 4.
- L.A.C Tarelho, E.R. Texeira, D.F.R. Silva, R.C.E Modolo, J.A. Labrincha, F.Rocha. Characteristics of distinct ash flows in a biomass thermal power plant with bubbling fluidised bed combustor. *Energy*. 2015. Vol. 90(1):387-402
- L.Janeiro, L.Gutierrez, G.Prakash D.Saygin. IRENA REmap EU 2018 - Renewable energy prospects for the European Union, REmap analysis to 2030. 2018.
- L.Tosti, A.V.Zomeran, J.R.Pels, J.J.Dijkstra, R.N.J.Comans. Assessment of biomass ash applications in soil and cement mortars. *Chemosphere*. 2019. Vol. 223:425-437
- M.C.Forde. 2016. Utilisation of wood ash from biomass for the production of ceramic products. *Construction and Building Materials*. Vol. 127: 264-273.
- M.Moreno, E.Manzano A.Moreno. Biomass as Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*. 2019. Vol. 11(3):863.
- M.Baratieri, P.Baggio, L.Fiori, M.Grigiante. Biomass as an energy source: Thermodynamic constraints on the performance of the conversion process. *Bioresource Technology*. 2008. Vol. 99(15):7063-7073.
- Biomass cogeneration as a key point for Lithuanian energy strategy. National energy independence strategy of the Republic of Lithuania. 2012.
- M.Peric, B. Branko, M. Komatina, D. Antonijevic. Best Practices of Biomass Energy Life Cycle Assessment and Possible Applications in Serbia. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2016. Vol. 37(2)
- M.Wzorek. Evaluating the Potential for Combustion of Biofuels in Grate Furnaces. *Energies*. 2020. Vol.13(8):1951.
- O.Karps, A.Aboltins, J.Palabinkis. Biomass ash utilization opportunities in agriculture. *Rural development*. 2018.
- Suppala, J. Hokkinen, H.Puustinen, P.Y.Pirila. Fine Particle Emissions from Biomass and Heavy Fuel Oil Combustion without Effective Filtration (BIOPOR). VTT working papers. 2017.
- P. Švenčianas. Kuro degimo teorijos pagrindai vadovėlis. Kaunas: Technika 2003. ISBN 9955-09-547-4
- P.McKendry. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. Vol.83 (2002):37-46
- R.Poškas, A.Sirvydas, J.Jankauskas. Elektrostatinio filtro efektyvumo tyrimas deginant biokurą mažos galios katilė. *Energetika*. 2015. Vol. 61:131-140.
- S. Bland. 2020. Materialstoday: Proceedings. CFD analysis of an economizer for heat transfer enhancement using serrated finned tube equipped with variable fin segmets.

- S. D. Thomas. 2012. SO₂ pollution of heavy oil-fired steam power plants in Iran. *Energy Policy*. Vol. 43: 456-465
- S.Kakac, J.Wiley and Sons. 1991. *Boilers, Evaporators and Condensers*.
- S.Zou, X.Xie. Simplified model for coefficient of performance calculation of surface water source heat pump. *Applied Thermal Engineering*. 2017. Vol. 112: 201-207
- S.Caillat, E.Vakkilainen. Large-scale biomass combustion plants: an overview. *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*. 2013.
- S.Chantasiriwan. Optimum Installation of Heat Recovery Devices in Biomass Boiler. *Computer Aided Chemical Engineering*. 2020. Vol. 48:1537-1542.
- S.Wang, A.Miller, E.Llamazos, F.Fonseca, L.Baxter. Biomass fly ash in concrete: Mixture proportioning and mechanical properties. *Fuel*. 2008. Vol.87:365-371
- T.Coppieters, J.Blondeau. Techno-Economic Design of Flue Gas Condensers for Medium-Scale Biomass Combustion Plants: Impact of Heat Demand and Return Temperature Variations. *Energies*. 2019.
- T.Gebreegziabher, A.O.Oyedun, H.T.Luk. Design and Optimization of Biomass Power Plant. *Chemical Engineering Research and Design*. 2014. Vol.92(8)
- V.Martinaitis, V.Lukoševičius. Šilumos gamyba deginant kurą. Vilnius: Technika. 2014. ISBN 978-609-457-633-1
- V.Minea, F.Chiriac. Hybrid absorption heat pump with ammonia/water mixture – Some design guidelines and district heating application. *International Journal of Refrigeration*. 2006. Vol.29(7):1080:1091
- V.Vares, U.Kask, P.Muiste, T.Pihu, S.Soosaar. *Manual for biofuel users*. 2005.
- W. Li, Y. Wang, Y. Jin. Study on Heat Transfer Calculation Method of Ground Heat Exchangers Based on Heat Pump Unit Operation Characteristics. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 146: 450-458.
- World Nuclear Association. Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources. WNA report. 2011.
- X.Liu, S.Hu, B.Lu, X.Chen. *Fluidization and Fluidized Bed. Powder Technology Handbook, Fourth Edition*. 2019.