



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Absorbacinis ar kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje - energetinė ekonominė analizė

Baigiamasis magistro projektas

Dovydas Balandis

Projekto autorius

doc. dr. Algimantas Balčius

Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Absorbacinis ar kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje - energetinė ekonominė analizė

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (6211EX023)

Dovydas Balandis

Projekto autorius

doc. dr. Algimantas Balčius

Vadovas

doc. dr. Juozas Gudzinskas

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Dovydas Balandis

Absorbacinis ar kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje - energetinė ekonominė analizė

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Dovydas Balandis

Patvirtinta elektroniniu būdu



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: 6211EX023 Termoinžinerija

MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Dovydui Balandžiui

(Vardas, Pavardė)

1. Baigiamojo Projekto tema –

Absorbacinis ar kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje – energetinė ekonominė analizė
(Lietuvių kalba)

Absorption or Vapour Compression Heat Pump in Biofuel Boiler House – Energy Economic Analysis

(Anglų kalba)

Patvirtinta 2022 m. gegužės mėn. 2 d. dekanu potvarkiu Nr. V25-11-2

2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Darbo tikslas – atlikti energetinę ir ekonominę analizę ir nustatyti, kuris šilumos siurblys, absorbacinis ar kompresorinis, energetiniu ir ekonominiu atžvilgiu tinkamesnis biokuro katilinėje.
Uždaviniai:

1. Atlikti literatūros, susijusios su šilumos siurblių technologija ir žemo potencialo šilumos atgavimu, analizę.
2. Surinkti biokuro katilinės techninius parametrus, reikalingus energetiniam analizei.
3. Atlikti AŠS ir KŠS energetinę ir ekonominę analizę.
4. Atlikti gautų rezultatų palyginimą ir nustatyti kuris siurblio tipas naudingiausias biokuro katilinėje.

Studentas

Dovydas Balandis

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

2022-02-01

(Data)

Baigiamojo
projekto
vadovas

Algimantas Balčius

(Vardas, Pavardė)

(Parašas)

2022-02-01

(Data)

Balandis, Dovydas. Absorbacinis ar kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje - energetinė ekonominė analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Algimantas Balčius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Energijos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: biokuro katilinė, šilumos siurblys, kondensacinis ekonomizaizeris, drėgni dūmai, žemo potencialo šilumos perdavimas, atliekinė šiluma, ekologija, analizė, absorbacinis šilumos siurblys, kompresorinis šilumos siurblys.

Kaunas, 2022. 61 p.

Santrauka

Šiluminės energijos gamybos efektyvumo didinimas, diegiant ekonomiškai atsiperkančius įrenginius, vartojimo pastatuose mažinimas yra sudėtingas ir kompleksiskai sprendžiamas uždavinys. Daugumoje katilinių jau yra naudojami efektyvūs katilai, dūmų kondensaciniai ekonomizaizeriai. Vienas iš papildomų energijos taupymo sprendimų yra šilumos siurblio panaudojimas likutinei dūmų šilumos energijai susigrąžinti.

Šiame darbe išanalizavome literatūrą, kuri susijusi su atliekinės šilumos realizavimu, tam skirtos technologijos tobulinimu ir naujų pritaikymo metodų paiešką. Darbe nagrinėjamas, šilumos siurblio pritaikymas, UAB „Šilutės šilumos tinklai“ Šilutės katilinėje, atliekinės dūmų šilumos po pirminio ekonomizaizerio atgauti. Susipažįstama su katilinės techniniais parametrais, apžvelgiami istoriniai vietovės meteorologiniai duomenys. Atlikta absorbacinio ir kompresorinio šilumos siurblių energetinė analizė, pagal gautus duomenis atliktas ekonominis skaičiavimas, kuris šilumos siurblio tipas yra palankiausias ekonomiškai. Atlikus skaičiavimus paaiškėjo, kad absorbacinio šilumos siurblio atsipirkimo laikotarpis yra mažesnis.

Balandis, Dovydas. Absorption or Vapour Compression Heat Pump in Biofuel Boiler House – Energy Economic Analysis. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Algimantas Balčius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Energy Engineering.

Keywords: biofuel boiler, heat pump, condensing economizer, wet smoke, low potential heat transfer, waste heat, ecology, analysis, absorption heat pump, compressor heat pump

Kaunas, 2022. 61 p.

Summary

Increasing the efficiency of energy production by implementing cost-effective equipment and decreasing energy use in buildings is a challenging task, which needs a complex solution. Most thermal power boilers already have high-efficiency boilers and flue condensing economizers installed. One of the additional energy saving solutions is the use of a heat pump for additional waste heat recovering from flue gas.

In this work, we have analyzed the literature related to the realization of waste heat, the search for improvements in the technology and new methods of application. The work examines the application of a heat pump, UAB Šilutės šilumos tinklai in Šilutė boiler house, waste heat recovery after the primary economizer. The technical parameters of the boiler house are introduced, the historical meteorological data of the area are reviewed. Energy analysis of absorption and compressor heat pumps was performed, based on the obtained data, an economic calculation was made as to which type of heat pump is the most economically favorable. Calculations have shown that the payback period of the absorption heat pump is shorter.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų ir terminų sąrašas	11
Įvadas.....	12
1. Literatūros analizė.....	13
1.1. Medienos kuro žemo potencialo šilumos modeliavimas ir analizė	13
1.2. Šilumos ir masės perdavimas spiraliniais vamzdžiais, siekiant atkurti atliekinę šilumą.	14
1.3. Eksperimentinis pažangios šilumos siurblio sistemos su didelio efektyvumo išcentrinis kompresoriumi patvirtinimas.....	15
1.4. Šilumos perdavimo technologija absorbcinėje šaldymo sistemoje skirta žemo potencialo šilumos panaudojimo efektyvumo didinimui	16
1.5. Absorbcinių ir kompresorinių šilumos siurblių sistemos patalpų ir vietiniam karšto vandens šildymui, Europoje: Energinė aplinkosauginė ir ekonominė analizė	17
1.6. Žvilgsnis į biokurą, ateities studijose: Sisteminė literatūros apžvalga	18
1.7. Šilumos siurblių vaidmuo mažai anglies dvideginio išskiriančioje ateityje: išsami apžvalga .	19
1.8. Naujos kartos kondensacinių ekonomaizerių dangų projektavimo kriterijai	20
1.9. Dvifazių šilumos siurblių, naudojančio mažai GWP (global warming potencial) turintį šaltnešį R32, energinio efektyvumo vertinimas įvairiomis lauko sąlygomis	21
1.10. Daugiaparametrinis elektrinių, biodujų, gamtinių dujų ir geoterminių šaltinių šilumos siurblių vertinimas	22
1.11. Hierarchinės dujų ir dujų kombinuotos šilumos ir elektros energijos (CHP) elektrinės kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu termodinaminė ir ekonominė lyginamoji analizė	23
1.12. Kietojo biokuro mišinių projektavimas siekiant sumažinti šlakavimosi riziką biomasės katiluose.....	24
1.13. Bendra mokslinių šaltinių analizė.	25
2. Atliekinės šilumos iš ekonomaizerio atgavimas	27
2.1. Dūmų kondensacinis ekonomaizeris	27
3. Katilinės techniniai parametrai.....	30
3.1. Vandens šildymo katilas „Kaistra 4500“	32
3.2. Vandens šildymo katilas „Kaistra 6000“	33
3.3. Vandens šildymo katilas “VHB 10000“	35
3.4. Kondensacinis ekonomaizeris	37
3.5. Vietovės klimatas	39
3.6. Biokuras.....	41
4. Energetinė analizė	47
4.1. Absorbcinis šilumos siurblys biokuro katilinėje	47
4.2. Kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje	53
5. Ekonominė analizė.....	57
5.1. AŠS gautos pajamos	57
5.2. KŠS gautos pajamos	57
5.3. AŠS išlaidos.....	58
5.4. KŠS išlaidos.....	58
5.5. Bendra pajamų ir išlaidų analizė	58

Išvados	61
Literatūros sąrašas	62
Priedai.....	65
1 Priedas. Šilutės rajoninės katilinės technologinė schema.....	66
2 Priedas. Kondensacinio dūmų ekonomizerio principinė schema	67
3 Priedas. Vidutinės mėnesio temperatūros duomenų lentelė nuo 1984m.....	68

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vandens šildymo katilo „Kaistra 4500“ technologiniai parametrai.[33]	32
2 lentelė. Vandens šildymo katilo „Kaistra 6000“ technologiniai parametrai.[34]	33
3 lentelė. Vandens šildymo katilo „VHB 10000“ techniniai parametrai. [35].....	36
4 lentelė. Kondensacinio dūmų ekonomizaizerio techniniai parametrai. [36].....	38
5 lentelė. Sausos medienos sudėties elementai.	43
6 lentelė. Šildymo agentų palyginimas	54
7 lentelė. AŠS ir KŠS ekonominis palyginimas ir kainų dedamosios.....	59
8 lentelė. AŠS ir KŠS ekonominis palyginimas ir kainų dedamosios, pakilus elektros kainai.....	60

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje vykstantys procesai. [30]	27
2 pav. Biokuro DKE galio (procentinė dalis nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros[31].	29
3 pav. Šilutės rajoninė katilinė 2009 metai [31]	30
4 Pav. 2021/2022 Šildymo sezono šilumnešio parametrų grafikas[31]	31
5 pav. Šilumnešio parametrų grafikas šiltajam laikotarpiui[31]	32
6 pav. Vandens šildymo katilo „Kaistra 4500“ priekinė dalis	33
7 pav. Vandens šildymo katilo „Kaistra 6000“ priekinė dalis	35
8 pav. Katilo K-3 konstrukcinė schema[34]	35
9 pav. Katilo K-3 pakuros šoninis vaizdas.....	37
10 pav. Šilutės rajoninės katilinės kondensacinio dūmų ekonomizaizerio pastatas	39
11 pav. Vidutinė šildymo sezono lauko temperatūra nuo 1984 metų.....	40
12 pav. Paskutinių aštuonių šildymų sezonų vidutinė mėnesio temperatūra	40
13 pav. Paskutinių penkerių metų Vasario mėnesio temperatūra	41
14 pav. nepriklausomos šiluminių įrenginių tyrimo ir bandymų laboratorijos tyrimo duomenys....	44
15 pav. Absorbcinio šilumos siurblio schema [39].	47
16 pav. Biokuro katilinės schema su absorbciniu šilumos siurbliu.	49
17 pav. Papildomos dūmų šilumos santykinis potencialas, kai po degimo kameros dūmų temperatūra yra 140°C[41]	50
18 pav. Medienos kuro ŽŠV/VŠV priklausomai nuo vandens kiekio[41].	51
19 pav. Absorbcinio šilumos siurblio šiluminis balansas	52
20 pav. Katilinės su absorbciniu šilumos siurbliu šiluminis balansas	52
21 pav. Biokuro katilės schema, kurioje integruotas kompresorinis šilumos siurblys su elektros varikliu.....	53
22 pav. KŠS ciklo $p-h$ diagrama ir efektyvumas.....	54
23 pav. Skaičiavimo rezultatai su agentu R1234ze.....	55
24 pav. Kompresorinio šilumos siurblio energijos balansas	55
25 pav. Biokuro katilinės su KŠS galios balanso schema.....	56

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

- VDV – vidaus degimo variklis;
- EV – elektros variklis;
- ŽŠV – žemutinė šiluminė vertė;
- VŠV – viršutinė šiluminė vertė;
- DKE – dūmų kondensacinis ekonomizeris
- COP – šilumos transformavimo koeficientas;
- NVK – naudingo veiksmo koeficientas;
- CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas;
- AŠS – absorbcinis šilumos siurblys;
- KŠS - kompresorinis šilumos siurblys;
- ES – Europos sąjunga;
- EHP – aplinkos sveikatos perspektyvos;
- GWP – visuotinio klimato atšilimo potencialas;
- STR – statybų techninis reglamentas;

Įvadas

Efektyvus energijos naudojimas yra šių dienų aktualija, ypač brangstant visoms energijų rūšims. Svarbu tiek efektyviau gaminti, tiek ir vartoti energiją, taikant naujas technologijas, naudojant atsinaujinančios energijos išteklius. Taip yra ne tik taupomos lėšos, bet ir mažinama aplinkos tarša.

Šio tema pasirinkta dėl šiuo metu vis populiarėjančios šilumos siurblio technologijos, vis plačiau pritaikomo ne tik buitiniam naudojimui bet ir pramonėje. Ekologijos požiūriu šilumos siurblys, iš ekonomizaizerio išeinančius dūmus praktiškai išvalo iki tokios ribos, kada per kaminą pašalinami tik garai. Šilumos siurblys naudingas ne tik ekologijoje, energetikoje. Šilumos siurblys naudingas ir tuo, kad gali dar labiau pakelti grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrą, tai teikia ir ekonominę naudą.

Šiuolaikinės šilumos gamybos sistemos yra modernios ir efektyvios, naudojančios aukšto efektyvumo katilus, daugumoje Lietuvoje veikiančių šilumos gamybos objektų yra įrengti dūmų kondensaciniai ekonomizaizeriai (toliau – DKE), tokių sistemų naudingumas perkopia 100 proc. pagal kuro žemutinę šiluminę vertę (toliau – ŽŠV), todėl rekonstrukcijos gali būti ir ekonomiškai nenaudingos. Tiek projektuojant, tiek rekonstruojant energetines sistemas svarbus yra ekonominis pagrįstumas. Pirmenybė teikiama ekonomiškai atsiperkantiems sprendimams, todėl reikia ieškoti netradicinių priemonių energijos taupymo tikslams pasiekti.

Baigiamojo magistro projekto tikslas – atlikti energetinę ir ekonominę analizę ir nustatyti, kuris šilumos siurblys, absorbcinis ar kompresorinis, energetiniu ir ekonominiu atžvilgiu tinkamesnis biokuro katilinėje.

Tyrimo objektas – iš biokuro katilinės išeinančių dūmų po kondensacinio ekonomizaizerio žemo potencialo šiluma.

Tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, techninių duomenų rinkimas, energetinė analizė, ekonominė analizė, rezultatų vertinimas.

Baigiamojo darbo uždaviniai:

1. Atlikti literatūros, susijusios su šilumos siurblių technologija ir žemo potencialo šilumos atgavimu, analizę.
2. Surinkti biokuro katilinės techninius parametrus, reikalingus energetiniai analizei.
3. Atlikti AŠS ir KŠS energetinę ir ekonominę analizę.
4. Atlikti gautų rezultatų palyginimą ir nustatyti kuris siurblio tipas naudingiausias biokuro katilinėje.

1. Literatūros analizė

Literatūros analizė yra labai svarbi baigiamojo darbo dalis. Leidžia susipažinti su kitų autorių darbais, labiau įsigilinti į kitus temos pateikimo aspektus, rasti daugiau galimų iškelto problemos sprendimų būdų.

Norint labiau įsigilinti į baigiamojo projekto temą, buvo pasirinkta literatūra glaudžiai susijusi su projekto tematika. Atliekant literatūros analizę išnagrinėti straipsniai apie šilumos siurblių technologiją, jos tobulinimą, efektyvų naudojimą įvairiuose objektuose. Taip pat literatūros analizei pasirinkti straipsniai, kurie leistų labiau įsigilinti į katilinės veikimą, jos naudojamo biokuro sąvoką bei specifikacijas. Literatūros paieškai buvo panaudotos, Kauno technologijų universiteto, rekomenduojamos duomenų bazės, kuriose sukaupti moksliniai straipsniai įvairiomis tematikomis. Analizuojant mokslinius straipsnius buvo pasitelkta keletas kriterijų:

- pavadinimo aptarimas, raktinių žodžių palyginimas;
- įvadinė dalis, aptariama viso darbo pagrindinės minties atskleidimas, planuojamų darbo tikslų ir problemos sprendimo būdų išdėstymas;
- rezultatų įvertinimas, pateikimo stilius;
- atsakymas į klausimą, pasiaiškinti ar atsakyta į visus anksčiau iškeltus klausimus;
- apibendrinimas, aptariama straipsnio struktūra, nauda, pritaikomumas;

1.1. Medienos kuro žemo potencialo šilumos modeliavimas ir analizė

„Medienos kuro žemo potencialo šilumos modeliavimas ir analizė“ (*The simulation and analysis of wood fuel low-grade heat, 2020, Vytautas Dagilis, Žilvinas Uldinskas, Liutauras Vaitkus, Hussam Jouhara, Robertas Poškas*) [1].

Šiame straipsnyje kaip pagrindinius aspektus galime išskirti kelias aptartas temas. Aprašytas skaičiavimas, kuriuo galime nustatyti, koks šilumokaitis reikalingas, norint naudoti šilumos siurblių. Pateikiamas skaičiavimo modelis, skirtas apskaičiuoti, kiek žemo potencialo šilumos atiduos kuro degimo šiluma. Aptarta kokia įtaka šilumos siurbliui turi degimo dujų temperatūra[1].

Straipsnio analizė:

1. *Straipsnio pavadinimas.* „*The simulation and analysis of wood fuel low-grade heat*“, išvertus į lietuvių kalbą pavadinimas skambėtų taip: „*Medienos kuro žemo potencialo šilumos modeliavimas ir analizė*“. Perskaičius straipsnį kyla mintis, kad pavadinimas neatskleidžia pagrindinės straipsnio minties ir neapima viso turinio, todėl manytina, kad straipsniui tinkamesnis pavadinimas sietųsi su šilumos siurbliais, šilumos perdavimo, bei vandens garais esančiais biokure, skaičiavimais bei analize.
2. *Įvadinė dalis.* Straipsnio įvadinė dalis labai aiški, į labai trumpą tekstą, nors ir glaustai, sutalpinti straipsnio etapų sutrumpinimai, tai leidžia iškart suformuoti nuomonę apie patį straipsnį ir informaciją jame.
3. *Rezultatų įvertinimas.* Straipsnyje pateikta labai daug skaičiavimų, suderinus visą pateiktą teorinę informaciją su skaičiavimais, galime susidaryti labai aiškius rezultatus, be to visi skaičiavimai aiškiai aprašyti, atsakymai pateikti lentelėse, tai sutaupo daug laiko ir leidžia greitai orientuotis situacijoje.

4. *Apibendrinimas*. Apibendrinant susidariau nuomonė, kad šis straipsnis išsiskiria iš kitų straipsnių nes jame netik teoriškai analizuojama iškelta problema, bet ir pateikiami sudėtingi, nuoseklūs skaičiavimai problemai išspręsti. Gauta informacija padėjo labiau įsigilinti į pasirinktą baigiamojo magistrinio darbo temą ir suprasti temos problematiką.[1]

1.2. Šilumos ir masės perdavimas spiraliniams vamzdžiams, siekiant atkurti atliekinę šilumą.

„Šilumos ir masės perdavimas spiraliniams vamzdžiams, siekiant atkurti atliekinę šilumą“ („Heat and mass transfer through spiral tubes in absorber of absorption heat pump system for waste heat recovery“, 2017, Yoshinori Itaya, Masatoshi Yamada Kenji Marumo Nobusuke Kobayashi)[2].

Eksperimentiškai ištirtas LiBr/vandens sugerties šilumos siurblio sistemos (AŠS) šilumos ir masės perdavimas dirbant įkaitinimo režimu. Tyrimas atliktas vieno spiralinio vamzdžio, kuris buvo imituotas šilumos perdavimo vamzdžiams absorberyje. Vamzdžio vidus ir išorė buvo atitinkamai veikiami absorbcinio skysčio plėvelės srautu ir atitinkamai veikiami atmosfera. Didžiausia absorbcinio skysčio temperatūra buvo stebima ne prie įėjimo, o regione, šiek tiek žemiau nuo įėjimo vamzdyje. Garų sugerties greitis ir (arba) šilumos susidarymo greitis skystoje plėvelėje vamzdyje nėra pastovūs. Taigi vidutinis konvekcinis šilumos perdavimo koeficientas tarp skystos plėvelės, tekančios žemyn ir vamzdžio vidinės sienelės, buvo nustatytas remiantis logaritminiu vidutiniu temperatūrų skirtumu tarp vamzdžio paviršiaus temperatūros ir plėvelės temperatūros maksimalios temperatūros vietoje ir apačioje. Plėvelės šilumos ir masės perdavimo koeficientai padidėjo didėjant skystos plėvelės srauto Reinoldso skaičiui. Koeficientai parodė priešingą tendenciją nei empirinė koreliacija, apie kurią pranešta laminarinės plėvelės srautui tiesiame lygiame vamzdyje šaldymo režimu praeitame darbe. Tai gali lemti turbulentinis skysčio spiraliniame vamzdyje skatinamasis poveikis.[2]

Šiame straipsnyje šilumos ir masės perdavimas buvo eksperimentiškai išstudijuotas „LiBr“ (Ličio bromidas) tekant per vidines viengubo spiralinio vamzdžio sieneles, pastatytas vertikaliai su garintuvu absorbciniame šilumos siurblyje, tai leido pasiekti tam tikrus rezultatus, pateiktus toliau:

- plėvelės konvekcinis šilumos perdavimo koeficientas didėja, didėjant Reinoldso skaičiui absorbcinio šilumos siurblio šildymo režimu, kurio tendencija buvo priešinga viengubo glotnaus vamzdžio tendencijai;
- plėvelės šilumos perdavimo koeficientas ir masės perdavimo koeficientas spiraliniame vamzdyje buvo didesni nei lygaus vamzdžio dėl tirpalo, tekančio ant spiralinio vamzdžio sienelės, turbulenciją skatinančio poveikio;
- plėvelės šilumos perdavimo koeficientui tarp vidinės sienelės ir garų sugeriančio tirpalo bei masės perdavimo koeficientui tarp garų ir tirpalo įvertinti buvo pasiūlytos empirinės koreliacijos.

Straipsnio analizė:

1. *Straipsnio pavadinimas*. „Heat and mass transfer through spiral tubes in absorber of absorption heat pump system for waste heat recovery“, išvertus į lietuvių kalbą: „Šilumos ir masės perdavimas spiraliniuose šilumos siurbliuose, siekiant atkurti atliekinę šilumą“. Įsigilinus į tekstą, paaiškėjo, kad pavadinimas pažodžiui įvardina straipsnyje aprašomo eksperimento

veiksmus, asmeniškai norėtusi straipsnio pavadinimą sutrumpinti ir supaprastinti, pavadinant jį kaip eksperimentą siekiant gerinti šilumos siurblių efektyvumą.

2. *Įvadinė dalis.* Straipsnio įvadinė dalis pradedama aiškiai suformuluotais sakiniais apibūdinančiais patį šilumos siurblių, po to iškeliamos pačios svarbiausios problemos, kodėl šiais laikais šilumos siurblys yra sudėtingas mechanizmas ir sunkiai pritaikomas.
3. *Rezultatų įvertinimas.* Nuo straipsnio antrosios dalies pradedamas rezultatų aptarimas, aiškiai pateikiama informacija parodanti šio eksperimento naudą, parodo, kad spiralinis vamzdis, geriau perduoda šilumą nei tiesus, visa tai yra todėl, kad spiraliniame vamzdyje susidaro turbulencinis tekėjimas, dėl šio proceso padidėja šilumos perdavimo koeficientas. Rezultatams aptarti skiriama nemaža dalis straipsnio ir tai leidžia aiškiau suprasti eksperimento rezultatus.
4. *Straipsnio aktualumas.* Straipsnio pabaigoje pritrūko atsakymo į pagrindinį iškeltą klausimą, todėl galima teigti, kad šiam straipsniui trūksta užbaigtumo, iš pradžių daug kalbėta apie esmines šilumos siurblių problemas, kurios apsunkina šilumos siurblių panaudojimą, o visa eksperimento esmė buvo ištirti kaip padidės siurblio našumas panaudojant kitos formos vamzdelį.
5. *Apibendrinimas.* Trumpai apibendrinant, straipsnyje buvo nagrinėjama šilumos ir masės perdavimas, kur eksperimentiškai studijuojama, kaip ličio-bromo tirpalas, tekėdamas, vertikaliu, viengubu, spiralinės formos vamzdzium absorbuos garą.

1.3. Eksperimentinis pažangios šilumos siurblio sistemos su didelio efektyvumo išcentrinium kompresoriumi patvirtinimas

„Eksperimentinis pažangios šilumos siurblio sistemos su didelio efektyvumo išcentrinium kompresoriumi patvirtinimas“ („Experimental validation of an advanced heat pump system with high-efficiency centrifugal compressor“, 2020, Hua Liu, Baiyang Zhao, Zhiping Zhang, Hongbo Li, Bin Hu, R.Z. Wang)[3].

Tam, kad kompresorinių šilumos siurblių COP būtų didesnis nei 6, kai temperatūros pakilimas ne mažesnis kaip 30 °C, šiame darbe siūloma dviejų ciklų lygiagrečiai prijungta šilumos siurblių sistema. Atliktas dviejų ciklų lygiagrečios šilumos siurblio sistemos teorinis modeliavimas ir įvertintos sistemos veikimas esant skirtingoms kondensatoriaus išeinančio vandens temperatūroms. Sukurtas šilumos siurblio prototipas, naudojant dviejų ciklų lygiagrečią sistemą, kurios šildymo galia 9000 kW, ir atliekamas eksperimentinis sistemos veikimo tyrimas. Rezultatai rodo, kad dviejų ciklų lygiagrečios sistemos COP yra 6,93, kai garintuvo įleidimo / išleidimo vandens temperatūra yra 30/25 °C, o kondensatoriaus išleidimo vandens temperatūra yra 60 °C. Kondensatoriaus išleidžiamam vandeniui padidėjus nuo 60 °C iki 68 °C, šildymo galia sumažėja 6,8%, o energijos suvartojimas padidėja 11,6%. Dviejų ciklų lygiagretaus šilumos siurblio sistema gali sumažinti kondensacijos slėgį ir energijos suvartojimą, todėl pagerėja sistemos COP. Visi rezultatai rodo, kad šilumos siurblys, naudojant dviejų ciklų lygiagrečią sistemą su laipsnišku vandens šildymu, turi gerą perspektyvą pramoniniam šildymui dėl didelio efektyvumo ir didelio našumo[3].

- Pasiūlyta ir modeliuojama dviejų ciklų lygiagrečiai prijungta šilumos siurblio sistema.
- Dviejų ciklų lygiagrečios sistemos eksperimentinis COP yra 6,93, kai temperatūros pakilimas yra 30 °C.
- Maksimalios šildymo galios ir energijos suvartojimo paklaidos yra 2,35% ir 3,73%.

Straipsnio analizė:

1. *Straipsnio pavadinimas.* Pavadinime nėra pagrindinės užuominos į pačią straipsnio esmę, pridėjus keletą žodžių nusakančių dviejų ciklų šilumos siurblius, būtų gautas daug aiškesnis, labiau pritraukiantis ir greičiau suprantamas pavadinimas.
2. *Įvadinė dalis.* Įvadinėje dalyje labai aiškiai pabrėžiama, kokią svarbą kovai su klimato kaita turi šilumos siurblių technologija, tai technologija, kuri leis kovoti su klimato tarša didelėse gamyklose, kuriose didelis išmetamų teršalų, daug išmetamo karšto vandens po technologinių procesų. Aptaria platų šilumos siurblių panaudojimą gyvenamųjų patalpų, parduotuvių ir įvairių komercinės paskirties patalpų šildymui ir vėdinimui.
3. *Rezultatų įvertinimas.* Rezultatai pateikti labai aiškiai, suskirstyti punktais, tai labai supaprastina bendrą vaizdą, pateikti grafikai leidžia lengviau suprasti rezultatus
4. *Apibendrinimas.* Šis straipsnis netik atsako į iškeltą klausimą, bet ir turi daug papildomos naudingos informacijos, kuri suteikia daug naujų žinių. Labai aiškiai išdėstoma energijos sunaudojimo ir naudingo šilumos perdavimo koeficiento (COP) priklausomybė nuo į kondensatorių pateikto vandens temperatūros ir daug panašios bei vertingos informacijos susijusios su pasirinkta baigiamojo darbo tema.

1.4. Šilumos perdavimo technologija adsorbcinėje šaldymo sistemoje skirta žemo potencialo šilumos panaudojimo efektyvumo didinimui

„Šilumos perdavimo technologija adsorbciniame šaldymo sistemoje skirta žemo potencialo šilumos panaudojimo efektyvumo didinimui“, („Heat transfer design in adsorption refrigeration systems for efficient use of low-grade thermal energy“, 2011, R.Z.Wang, Z.Z.Xia, L.W.Wang, Z.S.Lu, S.L.Li, T.X.Li, J.Y.Wu, S.He.)[4]

Absorbcinės šaldymo ir šilumos siurblių sistemos buvo laikomos svarbia priemone efektyviai panaudoti žemos kokybės 60 – 150 °C šilumos energiją. Sorbcijos sistemos yra tik termodinaminės sistemos, pagrįstos šilumokaičiais, todėl labai svarbus geras dizainas optimizuoti šilumos ir masės perdavimą vykstant reakcijos ar sorbcijos procesams, kurių išskirtinė technika yra išplėsto grafito naudojimas, siekiant pagerinti šilumos ir masės perdavimą. chemisorbcijos lovos. Tyrimai taip pat parodė, kad reikia pagerinti šilumos perdavimą adsorbcijos sluoksnyje, suderinant su efektyviu šiluminių skysčių šilumos perdavimu. Šilumos vamzdžiai ir geras šiluminės kilpos dizainas kartu su adsorbcijos sluoksniais gali padidinti sorbcijos sistemos šiluminį efektyvumą. Buvo pristatytas naujas dizainas su pasyviu išgaravimu, žinomas kaip kylančios plėvelės garinimas kartu su gravitaciniu šilumos vamzdžiu, kad būtų užtikrinta didelė aušinimo galia. Taip pat buvo įrodyta, kad tradicinės šilumos ir masės atgavimo sorbcijos sistemose efektyvumas yra ribotas, o naujas terminio skysčio ir

šaltnešio išdėstymas gali pagerinti sorbcijos sistemų veikimą. Remiantis aukščiau pateiktais tyrimais, buvo sukurtos įvairios sorbcijos sistemos ir pasiekti aukšti rezultatai.[4]

- Tiriamas šilumos perdavimo dizainas absorbcinėse šaldymo sistemose.
- Sukietėjęs absorbentas yra efektyvus būdas pagerinti šilumos perdavimą.
- Šildymo vamzdis ir kylančios plėvelės garavimas gali sukelti didelę aušinimo galią.
- Su efektyvia konstrukcija sukurtos dvi adsorbcijos sistemos.
- Įvedamas dvigubo kelio ir dvigubo efekto ciklas.

Straipsnio analizė:

1. *Straipsnio pavadinimas.* Pats straipsnio pavadinimas šiek tiek painokas ir labai abstraktus.
2. *Įvadinė dalis.* Įvadinėja dalyje labai aiškiai pabrėžiama, kokią svarbą kovai su klimato kaita turi šilumos siurblių technologija, konkrečiai pabrėžiama CO₂ emisijų mažinimą, bei šiuo metu labai populiarius atliekinės šilumos panaudojimo tyrimus, jų gausą ir aktualumą paskutiniaisiais metais.
3. *Rezultatų įvertinimas.* Rezultatai pateikti aiškiai, daug lentelių ir brėžinių, kurie labai supaprastina galutinį rezultatą, iš pradžių pateikiama eksperimentinė dalis po to lygiagrečiomis sąlygomis atliekama konkrečios situacijos simuliacija su realiais duomenimis, tada pateikiami realūs skirtumai ir jų priežastys.

1.5. Absorbcinių ir kompresorinių šilumos siurblių sistemos patalpų ir vietiniam karšto vandens šildymui, Europoje: Energinė aplinkosauginė ir ekonominė analizė

„Absorbcinių ir kompresorinių šilumos siurblių sistemos patalpų ir vietiniam karšto vandens šildymui, Europoje: Energinė aplinkosauginė ir ekonominė analizė“, („Absorption and compression heat pump systems for space heating and DHW in European buildings: Energy, environmental and economic analysis“, 2018, Rossano Scoccia, Tommaso Toppi, Marcello Aprile, Mario Motta.)[5]

Norint pasiekti gerus energetinius ir ekonominius rodiklius, labai svarbu parinkti tinkamą pastato patalpų šildymo ir buitinio karšto vandens prietaisą. Vienbučiam namui labiausiai paplitęs šildymo įrenginys yra kondensacinis katilas. Saulės sistemos, elektriniai šilumos siurbliai ir dujomis varomi sorbciniai šilumos siurbliai yra tinkamos alternatyvos efektyvumui didinti. Nors kiekvienos technologijos našumas yra gerai žinomas, jų gebėjimas efektyviai veikti dvalenčiuose šildymo įrenginiuose priklauso nuo kelių kintamųjų, todėl konkrečiam pastatui tinkamiausios šildymo sistemos pasirinkimas nėra paprastas. Šio darbo tikslas – Europos regionui būdingomis sąlygomis palyginti šešių sistemų konfigūracijų sezonines charakteristikas, kurios gaunamos derinant dažniausiai naudojamas šildymo technologijas. Lyginamas pirminės energijos suvartojimas trimis klimato sąlygomis, keičiant pastato atitvarų kokybę ir emisijos sistemos tipologiją. Nors rezultatai yra jautrūs elektros energijos pirminės energijos veiksniai, elektriniai šilumos siurbliai paprastai yra perspektyviausia technologija esant žemam šiluminiam keltuvui, o dujiniai šilumos siurbliai pasižymi didesniu našumu esant dideliame keltuvui. Be to, sistemos lyginamos pagal metinį CO₂ išmetimą ir ekonominį pagrįstumą, o rezultatai yra išsibarstę tarp šalių dėl didelių vietos energijos rūšių derinio ir energijos kainų skirtumų.[5]

- Oro šilumos siurbliai lyginami su kondensaciniu katilu ir saulės energija.
- Sistemos skirtos tiek patalpų šildymui, tiek karšto vandens ruošimui individualiems namams.
- Atsižvelgiama į devynis klimato sąlygų ir apvalkalo kokybės derinius.
- Kiekvienam klimatui ir pastatui parenkamas efektyviausias šilumos siurblio tipas.
- Pateikiamas sutaupytas CO₂ kiekis ir priimtinos ribinės sąnaudos pagal šalį.

Šiame darbe pagal pirminę energiją, buvo lyginamas skaičiais šešių skirtingų šildymo sistemų sezoninis energijos vartojimo efektyvumas, skirtas šildymui ir karšto vandens ruošimui individualiame name. Siekiant įtraukti pagrindinius rezultatus įtakos turinčius kintamuosius, buvo atlikta trijų skirtingų tipišku Europos klimato sąlygų ir trijų skirtingų pastatų standartų kiekvieno klimato analizė. Rezultatai atitinka skirtingų technologijų ypatybes. Saulės sistemų teikiama nauda yra didesnė šilto klimato sąlygomis ir naujuose pastatuose, kur karšto vandens energijos poreikis yra panašus į patalpų šildymo poreikį. Šiluminis pakėlimas turi įtakos šilumos siurblių našumui, tačiau labiau veikia garų suspaudimą, o ne absorbcinius prietaisus. Vadinasi, jei GHP patvirtins pirmųjų prototipų našumą, tai būtų daug žadantis pasirinkimas aukšto kėlimo reikmėms, t. y. esant šaltam klimatui ir esamiems pastatams su radiatoriais pagrįsta emisijos sistema. Priešingai, naujuose pastatuose su šildomomis grindimis ir esant šiltam klimatui, EHP gaunamas pasirinkimas su mažiausiomis pirminės energijos sąnaudomis, ypač jei atsižvelgiama į mažą PER. Kiekvienam pastatui tinkamiausio šildymo įrenginio atskyrimas tampa ne toks akivaizdus, jei lyginama pagal CO₂ emisiją arba sąnaudas. Palyginus ES lygmeniu, pagrįstu CO₂ taupymu, visos nagrinėjamos technologijos leidžia sumažinti išmetamų teršalų kiekį, palyginti su kondensaciniu katilu. Visų pirma, sistemos su EHP sukelia mažesnę poveikį, ypač jei naudojamas papildomas elektrinis šildytuvas. Atliktas palyginimas ekonominiu pagrindu įvertinant maksimalias leistinas papildomas sąnaudas lyginant su kondensacinio katilo savikaina. Didelę įtaką rezultatams turėjo gamtinių dujų ir elektros kainos. Visų pirma senuose pastatuose, šalyse, kuriose elektros kainos yra didelės, pavyzdžiui, Vokietijoje, Italijoje ar JK, EHP turi būti pigesnis nei kondensaciniai katilai, kad būtų ekonomiškai patogiu. Vokietijoje tai taikoma ir atnaujinamiems, ir naujiems pastatams. Priešingai, šalyse, kuriose yra aukštesnės dujų ar mažesnės elektros kainos, papildomos EHP ir GHP kainos yra palyginamos. Be to, senuose pastatuose ir kai kuriuose atnaujintuose pastatuose gali būti sumokėtos papildomos išlaidos iki kelių tūkstančių eurų, kur daug energijos reikia efektyvesnių technologijų, kad būtų galima sutaupyti daug. Atvirkščiai, efektyviausiuose pastatuose dėl mažesnio ekonominio sutaupymo alternatyvios technologijos kaina neturėtų viršyti apie tūkstantį eurų ar mažiau už kondensacinio katilo kainą, kad būtų konkurencinga[5].

1.6. Žvilgsnis į biokurą, ateities studijose: Sisteminė literatūros apžvalga

„Žvilgsnis į biokurą, ateities studijose: Sisteminė literatūros apžvalga“, („*Outlook on biofuels in future studies: A systematic literature review*“, 2020, Reza Alizadeh, Peter D. Lund, Leili Soltanisehat)[6].

Biokuras ateities perspektyvoje yra labai svarbus aspektas, nes kuo toliau vis mažėjo jo atsargos, nes vartojimas sparčiai auga, todėl kyla daug įvairių klausimų susijusių su jo gamyba ir auginimu, toliau pateiktos straipsnio pagrindinės mintys:

- Apžvelgiami biokuro ateities tyrimai ir nustatomi tikėtini ateities variantai.

- Siūlomas biokuro ekonomikos raidos grafikas.
- Pateiktos politikos rekomendacijos dėl siūlomos biokuro ekonomikos.
- Pateikiamos bioekonomikos varomosios jėgos, kliūty, iššūkiai ir galimybės.

Numatymo metodai yra naudingi ilgalaikiam planavimui, pavyzdžiui, strateginiam energijos valdymui, energetikos politikai ir atsinaujinančios bei tvarios energijos planavimui, siekiant valdyti neapibrėžtumus. Ateities tyrimai gali turėti įtakos ateities ir naujų technologijų numatymui ir spėliojimams. Šiame darbe biodegalų ateitis nagrinėjama remiantis kritiniu literatūros vertinimu, siekiant parengti naujausius į ateitį orientuotus biokuro tyrimus. Naudojamas šešių kartų tipologijos žemėlapis iš dviejų pagrindinių ateities studijų metodikų, aprašomieji scenarijai, prognozės ir statistiniai scenarijai kaip aprašomieji metodai; gairės, vizijos ir atgalinės perspektyvos kaip įsakmi metodai. Literatūroje pateikiami lūkesčiai vėliau nagrinėjami išvedant mokslinius iššūkius apie biokuro ateitį: pagrindiniai motyvai ir varomosios jėgos biokuro eroje, pagrindinės kliūty arba sunkumai, su kuriais susiduria biokuro eros, kiekvieno skirtingo scenarijaus tikėtinas ir svarba, pagrindiniai technologiniai laimėjimai bioekonomikoje, išsami informacija apie vystymąsi, brandą ir klestėjimą, reikšmingas biokuro eros pasiekimas. Literatūroje paaiškinama daugybė tikėtinų ateities variantų – nuo centralizuotų sistemų, susijusių su technologiniais proveržiais, iki decentralizuotų sistemų, pagrįstų nedidelio masto atsinaujinančiais energijos šaltiniais. Atskleidžiami esminiai technologiniai elementai ir nubrėžta tikėtina biokuro ekonomija kartu su reikiamu keliu jai pasiekti. Apžvalga rodo bendrą sutarimą, kad biokuro ekonomika vystysis palaipsniui, o norint greitai pereiti prie biokuro, reikės galingos vyriausybės paramos ir didelių trikdžių, tokių kaip aplinkosaugos principų pasikeitimas šalyse, technologijų laimėjimai, aukštesnės naftos kainos ir skubi klimato kaita.[6]

1.7. Šilumos siurblių vaidmuo mažai anglies dvideginio išskiriančioje ateityje: išsami apžvalga

„Šilumos siurblių vaidmuo mažai anglies dvideginio išskiriančioje ateityje: išsami apžvalga“, („*Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review*“). 2021. Ankita Singh, Gaur Desta Z. Fitiwi, John Curtis.[7]

Po naujausių susitarimų dėl klimato daugelis valstybių ėmėsi ambicingų tikslų padidinti švarios energijos išteklių dalį ir taip sumažinti savo pasaulinį anglies pėdsaką. Paryžiaus klimato susitarimas buvo vienas iš pirmųjų pasaulinių susitarimų, sujungusių visas tautas į bendrą kovos su klimato kaita platformą. Susitarimą ratifikavo 197 šalys, todėl pasaulinis siekis sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išmetimą. Nuo to laiko dauguma šalių ėmėsi naujų politikos priemonių, siekdamas skatinti švarių energijos šaltinių integravimą ir taip sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą bei pažaboti klimato kaitą. Jei tokios priemonės bus sėkmingos, galiausiai jos turėtų lemti tvarią energetikos ateitį, kurios išmetamas anglies dioksido kiekis būtų mažas. Tačiau norint pereiti prie mažai anglies dioksido į aplinką išskiriančios energijos ateities, reikės dekarbonizuoti energetikos sektorius, tokius kaip elektros, šildymo ir transporto. Tarp šių sektorių šildymo sektorius yra daugiausiai energijos ir anglies dioksido išskiriantis sektorius Europos Sąjungoje. Šiam sektoriui tenka beveik 50 % visos Sąjungos energijos poreikio, iš kurio 75 % sudaro iškastinis kuras. Vos 10 % pasaulinės šilumos poreikio 2017 m. buvo gaunama iš atsinaujinančių šaltinių. Tačiau dabartinės tendencijos rodo, kad atsinaujinančios šilumos dalis auga daugelyje šalių, ypač ES šalyse. Atsinaujinančių išteklių dalis elektros energijos derinyje labai auga, todėl mažai anglies dioksido į aplinką išskirianti elektros energija yra perspektyvus sprendimas šildymo sektoriuje sumažinti anglies

dioksido kiekį. Taigi perėjimas nuo iškastinio kuro šildymo prie elektrinio šildymo gali būti neišvengiamas naudojant šilumos siurblius ar kitus įrenginius.[7]

Šilumos siurbLIAI buvo populiarūs dešimtmečius, tačiau pastaraisiais metais jie įgijo didelę reikšmę dėl savo potencialo sumažinti išmetamųjų teršalų kiekį. Šilumos siurblių technologijų diegimas auga, nors ir mažo įsiskverbimo lygio. Pasaulyje šilumos siurbLIAI sudaro tik 3 % pastatų šildymo. Įvairių šalių politikos formuotojai pripažino, kad tokia technologija gali atlikti pagrindinį vaidmenį pereinant prie tvarios energetikos ateities, o tai rodo paskatos ją priimti ir skleisti. Be to, suinteresuotosios šalys taip pat vėl susidomėjo šia technologija. Dėl to ateinančiais metais tikimasi stipraus šilumos siurblių įrengimo augimo, ypač šalyse, kuriose didžioji dalis šilumos poreikio vis dar gaunama iš iškastinio kuro. Tarptautinė energetikos agentūra vis dar prognozuoja, kad šildymo sektoriuje dominuos iškastinis kuras ir įprastinės elektrinio šildymo technologijos, kurios yra mažiau efektyvios ir išskiria daugiau anglies. Tačiau taikant palankią politiką, parduodant energiją taupančias ir atsinaujinančias technologijas, pvz., šilumos siurblius, padidės rinkos dalis. Pagrindinis šio straipsnio tikslas – pateikti skaitytojams literatūros apžvalgą, apimančią kelis šilumos siurblių aspektus ir galimą jų vaidmenį dekarbonizuojant šildymo sektorių. Aptariame temas, susijusias su naujausia šilumos siurblių technologine pažanga, taip pat su jų vaidmeniu suteikiant lankstumo atsinaujinančios energijos sistemoms ir mažinant anglies dioksido kiekį. Taip pat nustatome iššūkius ir kliūtis reikšmingam šilumos siurblių įsisavinimui įvairiose rinkose ir nustatome būsimų tyrimų kryptis.[7]

Straipsnyje pateikiama naujausių darbų ir pokyčių, susijusių su šilumos siurbLIAIS, apžvalga. Šilumos siurbLIAI klasifikuojami pagal pagrindines šiuo metu rinkoje esančias technologijas ir jų pritaikymą. Pasaulinė patirtis rodo, kad šilumos siurbLIAI populiarėja, ypač šaltuose regionuose, tiekti patalpų šildymą ir karštą vandenį buitiniams namų ūkiams dėl didelio našumo koeficiento, o tai prisideda prie pirminės energijos suvartojimo mažinimo.

1.8. Naujos kartos kondensacinių ekonomizerių dangų projektavimo kriterijai

„Naujos kartos kondensacinių ekonomizerių dangų projektavimo kriterijai“, („Design criteria for coatings in next generation condensing economizers“. 2019. Nikolaos Vourdas, Hussam Jouhara, Savvas A. Tassou, Vassilis N. Stathopoulos) [8]

Medžiagų, naudojamų šilumą keičiantiems paviršiams kondensaciniuose ekonomizeriuose ir susijusiuose įrenginiuose, paviršiaus apdorojimas yra naudojamas dangoms, apsaugančioms jas nuo korozinių kondensatų. Suteikus didesnę apsaugą nuo korozijos, nepažeistą šilumos laidumą, tvirtas mechanines ir atsparumo dilimui charakteristikas esant mažoms proceso sąnaudoms, pailgėja investicijų tarnavimo laikas ir ilgėja eksploataavimo laikotarpis. Tačiau pastaraisiais metais paviršiaus apdirbimas suteikė priemones, padedančias išspręsti papildomas palankias paviršiaus savybes, susijusias su drėkinimo reiškiniais. Dangos, didinančios lašelinę kondensaciją per plėvelės kondensaciją, padidinančios kondensato surinkimo greitį ir skatinančios kondensato savaiminį šokinėjimą, toli gražu nėra retos. Šios savybės turi didžiulį poveikį šilumos perdavimo koeficientui, taigi ir susijusių šilumos mainų programų šiluminiam efektyvumui. Vis dėlto tokios savybės paprastai neįtraukiamos į kuriamų ar demonstruojamų dangų bandymų protokolus ir nėra tarp standartinių inžinerinių atrankos kriterijų. Šiame darbe trumpai aprašome šiuos požymius ir pateikiame preliminarias lygtis jų svarbai šilumos perdavimo koeficientui projektuoti ir įvertinti.[8]

Drėkinimo reiškiniai yra labai svarbūs šilumos perdavimo procesuose, išnaudojant latentinę kondensacijos šilumą. Taikymas siekiant aukšto kondensacinių ekonomizerių ir susijusių įrenginių

energijos vartojimo efektyvumo, turėtų būti nustatyti nauji projektavimo kriterijai, be apsaugos nuo korozijos, šilumos laidumo ir atsparumo dilimui. Dangos, pasižyminčios dideliu kontaktiniu kampu, mažu. Tikimasi, kad kontaktinio kampo histerezė, mažas pasvirimo kampas ir didelis vandens surinkimo greitis padidins bendrą šilumos perdavimą koeficientą ir pagerinti investicijų indeksus, todėl tokių įrenginių įrengimas tampa pelningesnis. Tam, kad įvertinti šilumos perdavimo koeficiento padidėjimą, lašelių morfologijos parametrus, tokius kaip kondensato skersmuo pasiskirstymo, susiliejimo laikas yra būtinas užregistruoti. Be dangų drėkinimo savybių dizaino, reikia įtraukti eksperimentines sąrankas, leidžiančias stebėti reiškinius kondensacijos metu dangų bandymo protokolai kondensaciniuose ekonomazeriuose.[8]

1.9. Dvifazių šilumos siurblių, naudojančio mažai GWP (global warming potencial) turintį šaltnešį R32, energinio efektyvumo vertinimas įvairiomis lauko sąlygomis

„Dvifazių šilumos siurblių, naudojančio mažai GWP(global warming potencial) turintį šaltnešį R32, energinio efektyvumo vertinimas įvairiomis lauko sąlygomis“, („Energy performance evaluation of two-phase injection heat pump employing low-GWP refrigerant R32 under various outdoor conditions“. 2020. Dongwoo Kim, DongChan Lee, Minwoo Lee Hyun Joon, Chung Yongchan Kim.)[9]

Šis straipsnis ypač aktualus dabar kai renkantis šaltnešį vis daugiau atkreipiama dėmesio globalinio atšilimo potencialo reikšmę, bei atlieka bandymus įvairiomis klimato sąlygomis, kas gali įtakoti skirtingų šilumnešių našumą.

- Palyginami R32 ir R410A dviejų fazių įpurškimo (TPI) šilumos siurblių našumas;
- TPI efektyviai pagerina R32 šilumos siurblių veikimą ir patikimumą;
- R32 TPI šilumos siurblys rodo skirtingas optimalias sąlygas nei R410A ekvivalentas;
- Įpurškimo parametrai yra optimizuoti, kad būtų pasiektas geriausias našumas ir saugus veikimas.

Šiuo tyrimu buvo siekiama palyginti veiklos charakteristikas R32 ir R410A TPI šilumos siurblius ir pateikti projektavimo gaires, kad būtų pasiektas geriausias našumas saugiai naudojant įvairios veikimo sąlygos. Buvo išmatuotas R32 ir R410A TPI šilumos siurblių energinis naudingumas ir patikimumas. Lyginant keičiant lauko temperatūrą ir kompresorių dažnis. TPI technika leido veikti R32 šilumos siurbliui esant didesniam kompresoriaus dažniui esant atšiaurioms oro sąlygoms, dėl tinkamo išleidimo temperatūros kontrolės. R32 TPI šilumos siurblys demonstravo didesnę šildymo galią nei R410A TPI šilumos siurblys esant visoms lauko temperatūroms. Tiksliau, esant žemai lauko temperatūra 10 C ir 15 C, R32 TPI COP šilumos siurblys buvo didesnis nei R410A TPI šilumos siurblys. Be to, esant 15 C lauko temperatūrai, šildymas šilumos siurblio R32 TPI galia ir COP padidėjo 6,2% ir atitinkamai 2,0%, palyginti su šilumos siurblio R32 VI. Į Be to, buvo atskleista, kad optimali įpurškimo kokybė R32 TPI šilumos siurblys buvo mažesnis nei R410A TPI šilumos siurblys. Optimalus šilumos siurblio R32 TPI įpurškimo santykis buvo 10 pav. Įpurškimo kokybės svyravimai priklausomai nuo įpurškimo EEV angos. žymiai didesnis nei R410A TPI šilumos siurblio. Šilumos perdavimo greičio svyravimai IHX kaip įpurškimo kokybės funkcija įvairiomis eksploataavimo sąlygomis.[9]

1.10. Daugiaparametrinis elektrinių, biodujų, gamtinių dujų ir geoterminių šaltinių šilumos siurblių vertinimas

„*Daugiaparametrinis elektrinių, biodujų, gamtinių dujų ir geoterminių šaltinių šilumos siurblių vertinimas*“, („*Multi-parametric evaluation of electrical, biogas and natural gas geothermal source heat pumps*“, 2020, Cristina Sáez Blázquez, David Borge-Diez, Ignacio Martín Nieto, Arturo Farfán Martín, Diego González-Aguilera)[10].

Geoterminių šaltinių, biodujų, gamtinių dujų šilumos siurblių vertinimo tyrimas, gali padėti atrasti kiekvieno iš jų stipriausias puses, bei sukonkretinti pritaikymo sąlygas, toliau pateikiamos pagrindinės šio straipsnio mintys:

- Vertinami elektros, biodujų ir gamtinių dujų geoterminiai šilumos siurbliai;
- Daugiaparametrinė analizė atliekama pagal tris skirtingus Europos scenarijus;
- Energijos derinio įvertinimas yra būtinas pasirenkant geoterminį šilumos siurblių kiekvienoje vietoje;
- Rezultatams lemiamos įtakos turi konkrečios šalies energetinės sąlygos;
- Biodujų šilumos siurbliai turi didžiulį potencialą visame pasaulyje naudoti šildymo ir vėsinimo reikmėms.

Žemo potencialo energijos šaltinių naudojimas palaipsniui didėja, siekiant sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją ir oro taršą. Geoterminių sistemų siūlomos alternatyvos yra vienas iš pagrindinių ateities atsinaujinančios energijos plėtros sprendimų, leidžiančių elektrifikuoti šildymo sistemas ir naudoti biokurą. Šis tyrimas skirtas geoterminio šildymo sistemų, naudojančių žemės šilumos siurblius įvairiose Europos šalyse, apžvalga. Be tradicinių elektrinių šilumos siurblių, dujiniai šilumos siurbliai, varomi gamtinėmis dujomis arba biodujomis, analizuojami trijose srityse. Iš ankstesnio tyrimo čia naudojami techniniai parametrai, apibrėžiantys geoterminę sistemą, siekiant įvertinti tinkamiausią sistemą kiekviename scenarijuje. Įvairių įtakojančių veiksnių (eksploatacijos sąnaudų, pradinių investicijų, poveikio aplinkai ir prieinamumo) įvertinimas leidžia apibrėžti tinkamiausias sistemas kiekvienai sričiai. Šio daugiaparametrinio tyrimo rezultatai rodo, kad dujiniai variklio šilumos siurbliai su biodujomis gali būti puikus sprendimas visose šalyse, taip pat prisidedant prie atliekų ir teršiančių medžiagų tvarkymo. Jei biodujų sistemų nebūtų, elektrinis šilumos siurblys būtų pirmasis pasirinkimas 1 ir 3 zonose (Italija ir Švedija), bet ne 2 zonoje (Jungtinė Karalystė), kur pirmenybė teikiama gamtinėms dujoms.[10]

Šis tyrimas skirtas nuodugniai analizuoti įprastinius geoterminius šilumos siurblius (varomus elektra) ir rečiau naudojamus dujinius šilumos siurblius (kurie naudojami gamtinėmis dujomis ir biodujomis). Apskritai, nepriklausomai nuo vietovės, kurioje ketinama įrengti geotermines sistemas, EHP sričiai būdingi aukšti COP (4–4,5), variklio našumas siekia apie 90 % ir mažesnis elektros suvartojimas. Tuo tarpu GEHP paprastai pasiekia 1,5–1,6 COP, jiems reikia šaldymo sistemos, o variklio našumas yra tik apie 30%. Nepaisant šių faktų, dujų sistemos yra mažiau jautrios darbinio skysčio temperatūrai dėl pakartotinio likutinės šilumos panaudojimo.[10]

Todėl šis darbas baigiamas, nurodant, kad renkantis vieną ar kitą EHP ar GEHP su gamtinėmis dujomis ar biodujomis labai patartina išanalizuoti konkrečias vietovės energijos derinio sąlygas. Taip

pat pažymėtina, kad biodujos galėtų būti puiki alternatyva kaip GEHP sistemų energijos šaltinis. Šis nepakankamai naudojamas biokuras galėtų padėti geoterminiai sistemai, kuri tuo pat metu yra sprendimas tvarkyti fermentacijos atliekas ir grunto/vandens taršą. Galimybė įdiegti GEHP sistemas daro biodujas pasauliniu būdu atgaminti ir naudoti šildymo ir vėsinimo tikslais.[10]

1.11. Hierarchinės dujų ir dujų kombinuotos šilumos ir elektros energijos (CHP) elektrinės kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu termodinaminė ir ekonominė lyginamoji analizė

„Hierarchinės dujų ir dujų kombinuotos šilumos ir elektros energijos (CHP) elektrinės kartu su kompresoriniu šilumos siurbliu termodinaminė ir ekonominė lyginamoji analizė“. („Thermodynamic and economic comparative analyses of a hierarchic gas-gas combined heat and power (CHP) plant coupled with a compressor heat pump“. 2022. Ryszard Bartnik, Zbigniew Buryn, Anna Hnydiuk-Stefan, Tomasz Kowalczyk.) [11]

Labai plačiai išanalizuotas kompresorinių šilumos siurblių panaudojimas termodinaminiu ir ekonominiu aspektu, toliau išryškinome keletą pagrindinių šio straipsnio minčių:

- Termodinaminė ir ekonominė kompresorinių šilumos siurblių analizė visose įmanomose termodinaminėse sistemose;
- Naudoti kompresorinį šilumos siurblių termodinamiškai nenaudinga;
- Be subsidijų šilumos siurblių naudojimas ekonomiškai neapsimoka.

Straipsnyje pateikiama hierarchinių dujų-dujų elektrinių ir kogeneracinių elektrinių termodinaminė ir ekonominė analizė pateikta sistema, kurią sudaro kompresorinis aušintuvas, varomas elektros varikliu. Literatūroje yra įvairių darbų, kuriuose pristatomi šilumos siurblių naudojimo mažose ir didelėse kogeneracinėse sistemose privalumai. Jie rodo, kad jų veikimas sumažina esamų kogeneracinių sistemų šildymo energijos sąnaudas, atgaunant išmetamų garų šilumą iš anglimi kūrenamo tiesioginio oro aušinimo įrenginio garo turbinos, pagerina elektros energijos sistemų lankstumą ir padeda sumažinti anglies dioksido bei sieros oksidų išmetimą. Šilumos siurbliai naudojami ir pastatų šildymui. Kai kurie tyrinėtojai nurodo, kad tokia integracija yra ekonomiškai efektyvi. Analizė rodo, kad tokios sistemos yra ekonomiškai konkurencingos su įprastomis sistemomis. Šiame darbe autoriai norėjo pabrėžti šilumos siurblio trūkumus. Autoriai teigia, kad HP naudojimas DHN gali būti pelningas, maksimaliai sutaupant 33 % išlaidų ir 75 % išmetamųjų teršalų (CO²). Tačiau pertvarkius reguliavimo sistemą ir optimizavus šilumos siurblio konstrukciją bei veikimą būtų galima pasiekti išlaidų paritetą. ES apyvartinių taršos leidimų prekybos sistemos sukelta CO² kaina greičiausiai nebus pakankama paskata trumpuoju ir vidutinės trukmės laikotarpiu.[11]

Pateikti termodinaminės ir ekonominės analizės rezultatai leidžia suformuluoti tokias galutines išvadas:

Naudoti šilumos siurblius termodinamiškai visiškai nenaudinga. Todėl minimali efektyvumo rodiklio ϵ_{Emin} reikšmė, užtikrinanti jo gyvybingumą, turėtų būti žymiai didesnė už tikrąją ϵ_{E} reikšmę $\approx 2,5$. Taip yra dėl to, kad iškastinio kuro cheminės energijos, naudojamos šilumai gaminti siurblinėse sistemose, sąnaudos yra daug didesnės nei kogeneracinėse elektrinėse.[12]

Šilumos siurblių naudojimas ekonomiškai dar neperspektyvesnis. Taip yra todėl, kad efektyvumo rodiklio, užtikrinančio jo ekonominį gyvybingumą, reikšmė yra daug kartų didesnė už reikšmę arba

termodinaminį rodiklį. Taip yra todėl, kad šilumos, gaunamos naudojant siurbines sistemas, kaina yra žymiai didesnė už šaltinius be siurblio. Kaina net didesnė už šilumą iš buitinės katilinės, kurioje būtų deginamas brangiausias kuras – šildymo alyva. Tokios didelės šilumos sąnaudos siurblinėse sistemose, kaip jau buvo minėta aukščiau, lemia tai, kad jai gaminti naudojamas didesnis iškastinio kuro kiekis.[12]

Pigiausia šiluma šildymui gaunama termofikacijos procese, t. y. kai ji kartu su elektra gaminama kombinuotoje šilumos ir elektros energijos (CHP) elektrinėje, nes, kaip jau ne kartą buvo minėta, tuomet iškastinio kuro suvartojimas yra mažesnis.

1.12. Kietojo biokuro mišinių projektavimas siekiant sumažinti šlakavimosi riziką biomasės katiluose

„Kietojo biokuro mišinių projektavimas siekiant sumažinti šlakavimosi riziką biomasės katiluose“. („Design of solid biofuels blends to minimize the risk of sintering in biomass boilers“. 2020. Juan Luis Rodríguez, Xana Álvarez, Enrique Valero, Luis Ortiz, Natalia de la Torre-Rodríguez, Carolina Acuña-Alonso.) [12]

Šlakas ir kiti degimo produktai susidarantys dėl netinkamo degimo arba prasto kuro, labai kenkia katilų darbų jų pakurai ar netgi gali padaryti sunkiai pataisoma žalą. Vis daugiau kalbama to išvengti ne tik keičiant degimo procesą ir katilo konstrukcijos tipą, bet gauti rezultatų panaudojant skirtingus biokuro mišinius, kurie užtikrintų pastovesni ir mažiau kenksmingą degimo procesą. Toliau pateikiam pagrindines šio straipsnio mintis.

- Ištirtas 24 biomasės rūšių mišinių pelenų elgesys;
- Šlako ir sukepinimo rodikliai buvo patvirtinti kokybiniais ir kiekybiniais testais;
- Šlako ir užsiteršimo indeksai gali būti naudojami biomasės pelenų elgsenai prognozuoti;
- Biomasės likučiai galėtų būti naudojami kaip biokuras, siekiant gauti energijos ir sumažinti atliekų kiekį.

Biomasė su didele šarminių/šarminių ir silicio komponentų koncentracija gali sukelti šlakų susidarymą/užteršimą ir pelenų nuosėdų sukepinimą, sukeldama katilų koroziją ir eroziją. Yra keletas metodų, leidžiančių numatyti sluoksnio aglomeraciją, pvz., šlako / užsiteršimo indeksus. Tačiau šie indeksai sukurti naudoti anglies pelenams, kurie rodo kitokį elgesį nei biomasės kuras. Šio darbo tikslas buvo nustatyti tinkamą skirtingų rūšių, esančių biomasės mišiniuose, procentą, siekiant sumažinti šlako ir sukepinimo riziką. Mes ištyrėme 24 mišrių biomasės mėginių pelenų elgseną naudodami du šlako indeksus: šarmų indeksą ir bazių procentą pelenuose, ir patvirtinome šiuos du indeksus naudodami Bioslag testą ir kietumo indeksą (%D1). Daugumoje mėginių yra maža šlakų susidarymo rizika, taip pat maža sukepinimo rizika. Tačiau kai kurie mėginiai kelia nedidelę sukepinimo riziką, galbūt dėl SiO₂. Bioslag testas ir %D1 testas patvirtina mūsų rezultatus. Mėginiai, kuriems būdinga sukepinimo rizika, viršija 25% viso sukaupto pelenų masės procento $ac\%_{1P} > 25\%$, o jų kietumas yra $\%D1 > 0,7$. Šie patvirtinimai gali būti laikomi naudingais įrankiais nustatant medienos biomasės kuro šlaką ir sukepinimą buitiniuose granuliniuose katiluose.[12]

Išbandyti du šlako indeksai 24 mišriems biomasės mėginiams. Rezultatai parodė, kad daugumoje mėginių yra nedidelė šlako ir sukepinimo rizika. Dviejuose mėginiuose buvo nustatyta didelė šlakų

susidarymo rizika ($NaK/B > 0,5$), o tai galėjo lemti jų cheminę sudėtis, nes vieninteliuose buvo mažai CaO, o K^2O ir MgO kiekis buvo didelis. Kita vertus, septyni mėginiai parodė vidutinę sukepinimo riziką, kuri galėjo atsirasti dėl didelio SiO_2 kiekio. Naudojant skirtingus mišinių procentus, sukepinimo rizika skiriasi priklausomai nuo SiO_2 procento. Šiuos rezultatus patvirtina patvirtinimo testai. Atliktas vizualinis kokybinis testas parodė kietą sukepinimą tuose pavyzdžiuose, kuriuose buvo vidutinis sukepinimas pagal %B indeksą. Panašiai mūsų rezultatus patvirtina ir „Bioslag“ testas bei %D1 testas. Mėginiai, kuriems būdinga sukepinimo rizika, viršija 25 % bendro pelenų svorio $ac\%_{1P} > 25\%$, o jų kietumas yra $\%D1 > 0,7$. Šie patvirtinimai gali būti laikomi naudingais įrankiais apskaičiuojant medienos biomasės kuro šlaką ir sukepinimą buitiniuose granuliniuose katiluose, nes abu žadėjo aptikti su katilu susijusias problemas, kurias sukelia biomasės deginimas.[12]

1.13. Bendra mokslinių šaltinių analizė.

Atrinkome paskutinių penkerių metų straipsnius, kurie glaudžiai susiję su baigiamojo magistro darbo tema, šiuose straipsniuose aptariama medžiaga apie absorbcinius ir kompresorinius šilumos siurblius ir jų technologijas.

Pirmasis straipsnis „Atsinaujinančios energijos procesų integravimo į garų sugėrimo aušintuvą, siekiant tvaraus vėsinimo, apžvalga“[13] jame plačiau kalbama apie tai, kad tolimesnis Nuolatinis iškastinio kuro, kaip energijos šaltinio, naudojimas kenkia aplinkai dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų, kurios ardo ozono sluoksnį ir padidina vidutinę pasaulio temperatūrą. Straipsnyje teigiama, kad norint patenkinti didėjančią pasaulio energijos poreikį, reikia imtis būdų, kaip atsikvoti iškastinio kuro naudojimui, griežtesniais įsipareigojimais naudoti atsinaujinančią energiją tiekiant bet kokią energiją, įskaitant aušinimo tiekimą.[13]. Sekantis straipsnis „Kombinuotosios šilumos ir elektros energijos sistemų ekserginė analizė: apžvalga“[14], jame plačiau kalbama apie eksergijos analizę energijos sistemas. Kitame straipsnyje – „Gyvenamieji pastatai, kuriuose energijos suvartojimas nulinis: apžvalga ir perspektyva“[15], šiame straipsnyje aptariama atsinaujinančių energijos šaltinių tokių kaip saulės fotovoltinės, terminės, vėjo biudžių šilumos ir elektros jėgines[15]. „Anglies dioksido surinkimo, panaudojimo ir saugojimo sistemų technologinė ir ekonominė apžvalga, siekiant ateityje pasiekti, kad CO_2 emisija būtų lygi nuliui“[16] – šioje apžvalgoje aptariamos anglies utilizavimo ir sandėliavimo sistemos, CO_2 išskyrimas šilumos gamyboje ir transporto sektoriuje. „Paskirstytų energijos sistemų taikymai, vertinimai ir pagalbinės strategijos: apžvalga“[17]. Šiame straipsnyje aptariama DES veiklos vertinio kriterijų vertinimas, aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu. Būsiami DES iššūkiai parodyti remiantis taikymo ir strategijų analize. „Dabartinės automatizuotos gamybos praktikos apžvalga energetikos požiūriu“[18]. Pateiktame tekste išryškintas energijos vartojimo efektyvumas ir šilumos valdymo praktika, aptariami būsiami žingsniai siekiant įgyvendinti mažai anglies dioksido į aplinką išskiriantį automatikos gamybos sektorių. „Pramonės energijos poreikio mažinimas JK: energijos vartojimo efektyvumo technologijų ir energijos taupymo galimybių pasirinktuose sektoriuose apžvalga“. Apžvelgtos bendros JK pramonės energijos vartojimo efektyvumo galimybės. Didžiausias dėmesys buvo skiriamas garų sistemai, šilumos atgavimo gerinimui ir bioenergijos panaudojimui. JK geležies ir plieno bei maisto ir gėrimų pramonė buvo pasirinkta kaip atvejų analizė. [19] „Išsamus geoterminio šildymo ir vėsinimo sistemų tyrimas“. Išsamus geoterminio šildymo ir vėsinimo sistemų tyrimas. Veiksnių, galinčių padidinti geoterminio šildymo ar vėsinimo sistemų įrengimo patikimumą, atpažinimas ir pritaikymas. [20]. „Šildymo sprendimai gyvenamiesiems pastatams Kinijoje: dabartinė būklė ir ateities perspektyva“. Kinija susiduria su iššūkiais teikti švaraus pastatų šildymo paslaugas savo piliečiams. Visi pastatų šildymo sprendimai turi didelį potencialą. Pastatų šildymo sprendimų

pasirinkimą Kinijoje įtakoja erdviniai parametrai.[21]. „Naujausi tvarios energetikos sistemų plėtros metodų, politikos ir technologijų pažanga“. Iš straipsnių, paskelbtų šiame darbe ir anksčiau paskelbtuose SDEWES specialiuosiuose numeriuose, aišku, kad nors darnaus vystymosi sritis yra daugiadalykė, Paryžiaus susitarimo tikslams pasiekti reikalingas integruotas požiūris. Tvari energetikos politika, planavimas ir valdymas yra privalomi norint sukurti išmanias energetikos sistemas, didinti atsinaujinančių išteklių skverbimąsi, sistemos lankstumą ir stabilumą, energetinio saugumo ir decentralizuotos energijos gamybos klausimus.[22]. „Naujo mikrotrigeneracijos ciklo, pagrįsto α tipo Stirlingo varikliu, organiniu Rankine ciklu ir absorbciniu aušintuvu, įvertinimas pagal daugiakriterį“. Šiame darbe siūloma nauja Micro-CCHP sistema, kurią sudaro Stirlingo variklis, organinis Rankine ciklas ir absorbcinis aušintuvas. Sistema vertinama termodinaminiu, ekonominiu ir aplinkosaugos požiūriu. Aptariamas įvairių projektavimo parametrų poveikis sistemos veikimui. Sistema optimizuota pagal ekonomines charakteristikas naudojant genetinį algoritmą.[23]. „Didelio masto cukranendrių biorafinavimo gamyklos termodinaminis, finansinis ir išteklių vertinimas: visiško bioenergijos anglies surinkimo ir saugojimo scenarijaus preliudija“. Šiame darbe aprašoma didelės apimties cukranendrių biorafinavimo gamyklos techninis-ekonominis-išmetimo vertinimas. Įvertintas vandens suvartojimas, galia, anglies balansas, pelningumas ir BECCS potencialas. BECCS perkonfigūravus įprastą biorafinavimo gamyklą, išmetama neigiama emisija.[24]. „Šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas iš šilumos energijos kaupimo, įdiegto popieriaus fabrike vėjo energijos panaudojimui“. Šiame moksliniame straipsnyje buvo lyginamas vėjo-šilumos energijos keitiklis (WECth) ir vėjo turbina (WTp). Buvo modeliuojami popieriaus gamyklų su TES ir vėjo energijos srautai ir ŠESD emisija. Popieriaus gamyklos sumažino energijos gamybos ŠESD kiekį mažiau nei iškastinį kurą kūrenančios elektrinės.[25]. „Siurblys, katilas, elementas ar turbina? Šeši mišrūs energetikos ateities scenarijai ūkiuose“. Atliktas mišraus scenarijaus tyrimas, apjungiantis kokybinius ir kiekybinius duomenis. Delphi tyrime buvo naudojami interviu, klausimynai ir suinteresuotųjų šalių seminaras. Taip buvo sukurti šeši energijos vartojimo Suomijos žemės ūkyje scenarijai [26]. „Šilumos perėjimas Europos statybų sektoriuje: šilumos dekarbonizacijos metodų, naudojant šilumos siurblių technologiją, apžvalga“. Šiame straipsnyje išanalizuoti pagrindiniai šilumos siurblių diegimo klausimai nustatomi remiantis praktikos įrodymais. Šilumos siurbliai negali būti savarankiškas dujinių katilų pakaitalas. Hibridinis šilumos siurblys – tai lengvas pereinamasis sprendimas siekiant visiško dekarbonizavimo. [27]

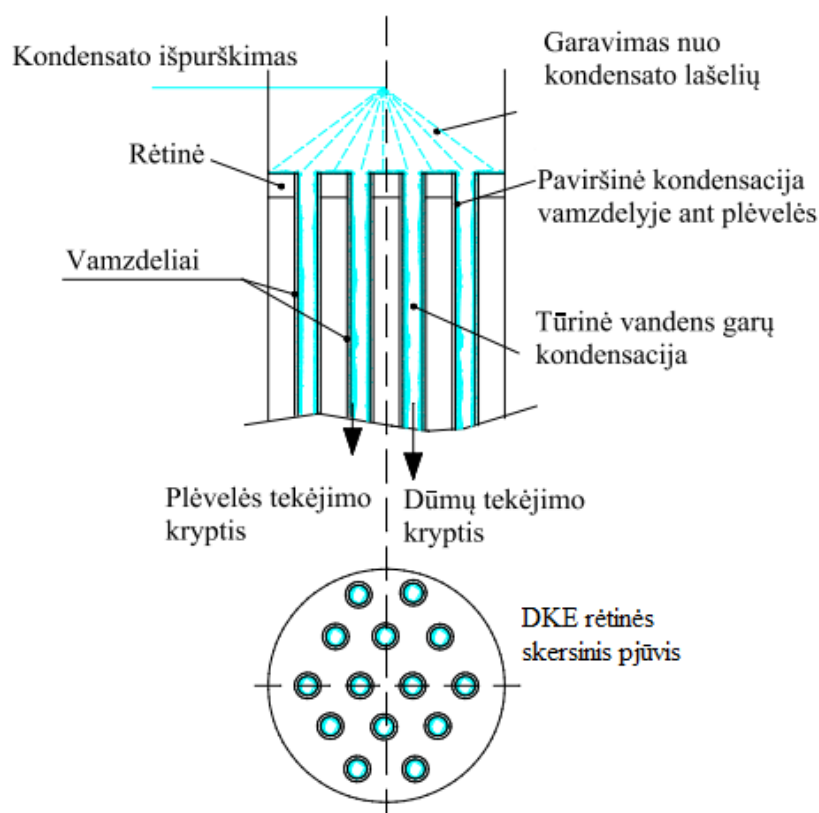
Atlikus mokslinių šaltinių apžvalgą, pamatėme, kad daugelis mokslinių darbų, sprendžia problemą kaip pagerinti šilumos atidavimo koeficientą, padidinti įrenginių naudingą paviršiaus plotą, visi tyrimai kalba apie tai kaip patobulinti jau esamą technologiją, kad ji taptų našesnė, kaip ją supaprastinti, kad sumažinti investiciją ir padaryti vartotojams labiau prieinamą. Atkreiptas dėmesys į biokuro katilų korozija, pradedama spręsti problemas iš kitos pusės, nebekalbama apie degimo procesų tobulinimą, o kalbama apie tai biokuro mišinio projektavimą, padaryti jį tokį, kad jis kuo mažiau keltų metalo koroziją ir kuo mažiau išskirtų kenksmingų medžiagų.

2. Atliekinės šilumos iš ekonomazerio atgavimas

Antrame termodinamikos dėsnyje teigiama, kad šiluma iš žemesnį potencialą turinčios šilumos šaltinio nebus perkeliama į aukštesnio potencialo šilumos šaltinį, jei tam nepanaudosime darbo. Praktikoje žinome, kad yra tik keletas sričių, kada energija, esanti žemo potencialo šilumos šaltinyje, būtų panaudojama, tad šitame atvejuje reikia ieškoti techninio sprendimo. Šis sprendimas neprieštaraudamas antram termodinaminiam dėsniai gali perkelti energiją iš žemesnį šiluminį potencialą turinčio šilumos šaltinio į aukštesnį šiluminį potencialą turintį šaltinį. Šiam tikslui įgyvendinti naudojami šilumos siurbliai. Dažnai šilumos siurblio panaudojimo terpė – atgauti žemo potencialo atliekinę šilumą. Ši šiluma dėl savo žemos temperatūros negali būti naudojama niekur kitur. Su šilumos siurbliu turime galimybę gauti aukštesnio potencialo šilumą, ši šiluma bus naudojama šildymui ar kitiems šilumos reikalaujantiems procesams. Ciklas yra naudojamas ir priešingai – vėsinimui, kai iš šaltesnio fluideo šiluma perduodama šiltesniam, tokiu būdu dar labiau jį ataušinant.[28]

2.1. Dūmų kondensacinis ekonomazeris

Katilinėse, kuriose deginamas biokuras DKE (dūmų kondensacinis ekonomazeris) yra sudėtingų vykstančių šilumos ir masės mainų procesų įrenginys, jame į dūmų srautą išpurkštų lašelių pagalba, vyksta šilumos ir masės mainai, kondensuojasi dūmuose esantys vandens garai. Vieni iš pagrindinių procesų, kurie vyksta biokuro dūmų kondensaciniame ekonomazeriulyje pavaizduoti 1 paveikslėlyje. Vienas iš tų procesų paviršinė kondensacija ant vamzdelyje susidarancios šalto vandens plėvelės bei tūrinė kondensacija, kuri vyksta dėl esančios šaltesnės aplinkos negu degimo produktų srautas vamzdeliuose. [30]



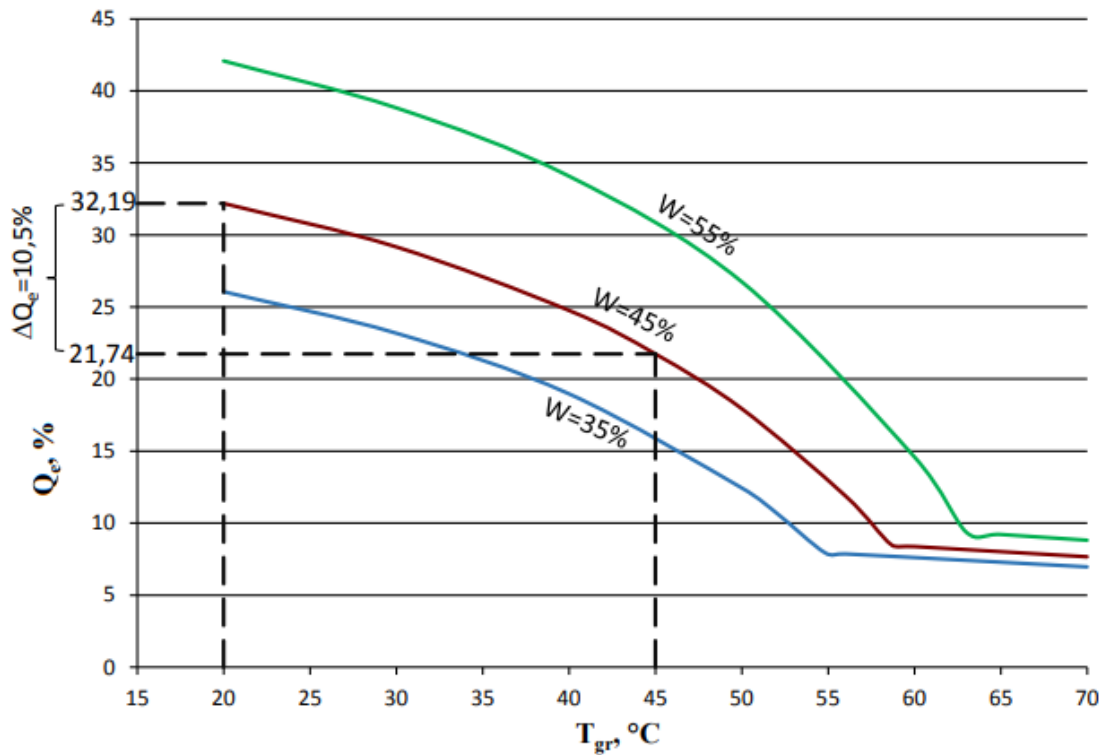
1 pav. Dūmų kondensaciniame ekonomazeriulyje vykstantys procesai. [30]

Dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje vyksta vandens lašelių išpurškimas, kuris turi keletą pagrindinių funkcijų:

- Šilumos mainų intensyvinimas. Išpurškiant šaltų vandens lašelių srautą į karštų degimo produktų srautą, dėl lašelių tiesioginio sąlyčio su degimo produktais, vyksta intensyvesnis dūmuose esančių vandens garų kondensavimas. Kondensuojantis vandens garai ant vamzdelių paviršiaus susidaro vandens plėvelė, kuri intensyviai perduoda šilumą termofikaciniam vandeniui, kuris apiplauna vamzdelius iš išorės[29].
- Išpurškimas neleidžia vamzdeliams užsinešti kietosiomis dalelėmis esančiomis dūmų sraute. Išpurškiant vandens srautą, susidaręs kondensatas taip pat nusodina ir kietąsias daleles ant vamzdelių paviršiaus, kurios be kondensato išpurškimo priliptų ir laikui bėgant juos užkimštų. Susidariusi vandens plėvelė ant vamzdelių šias daleles nuplauna kartu su kondensatu[29].

DKE susidaręs kondensatas, pašalinamas į nuotekų sistemą. Kietos dalelės esančios degimo produktuose, kurios nusėda DKE kartu su kondensatu nurodo ir susidariusio kondensato vandens kokybę. Kondensatas tiekiamas į kondensato valymo sistemą, joje iš pradžių neutralizuojamas kondensato pH, kuris turi būti 6,5 – 6,8, tam reikalui atlikti, dozuojame šarmo ir rūgšties tirpalus. Po neutralizacijos kondensatas yra išvalomas nuo nusėdusių kietųjų dalelių, tam reikalui į jį yra dozuojama koagulianto reagento, kad smulkiosios kietos dalelės koaguluotų į didesnes. Sukoaguluotos dalelės flokuluojamos atliekant flokulianto reagento dozavimą. Mechanškai ir chemiškai paruoštas kondensatas yra tiekiamas į nusodinamuosius filtrus, ten kietos dalelės yra pašalinamos iš kondensato, o kondensatas tampa paruoštas išmetimui į kanalizaciją [29].

DKE galingumas priklauso nuo naudojamo kuro turimo drėgmės kiekio ir aušinančio skysčio (grįžtančio iš tinklų termofikacinio vandens) temperatūros. Pritaikius šilumos siurblių darbui su DKE, aušinančio skysčio temperatūra mažėja, dėl to išauga DKE galia. Priklausomai nuo naudojamo biokuro drėgnumo galime rasti ir DKE galios priklausomybę nuo vandens temperatūros, kuris įteka į DKE, 2 paveikslėlyje pateikta biokuro ir DKE galios priklausomybė nuo grįžtančios termofikacinio vandens temperatūros. Trumpiau tariant, jei katilo galia 10 MW, kuro drėgnumas 45 %, paduodamo į DKE vandens temperatūra 45 °C, tai dūmų kondensacinio ekonomizaizerio šiluminė galia yra 21,74 % nuo katilo šiluminės galios arba 2,174 MW [29].



2 pav. Biokuro DKE galio (procentinė dalis nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros[31].

Iš šio paveikslėlio matome, kai prasideda kondensacija DKE galia smarkiai išauga, o atlikus gilų degimo produktų atvėsinimą, naudojant absorbcinį šilumos siurbį kartu su kondensaciniu dūmų ekonomizeriu, įmanoma išgauti dar 10 % galios, lyginant su įprastine termofikacinio vandens temperatūra, kuris grįžta iš tinklų. Teoriškai, jei degimo produktai atauštų iki 0 °C, būtų galima gauti ir 36 % DKE galia, procentų dalimis nuo katilo galios, bet tuo atveju neproporcingai išaugtų AŠS dydis ir sistemos kaina. Atlikus gilų degimo produktų atvėsinimą padidėja ir susikondensavusio vandens garo kiekis.

3. Katilinės techniniai parametrai

UAB "Šilutės šilumos tinklai" yra pagrindinė centralizuotos šilumos energijos tiekėja Šilutės mieste ir Traksėdžių gyvenvietėse. Šilumą tiekianti įmonė įsikūrė 1978 m. kovo 1 d. ir vadinosi "Šilutės rajono Jungtinių katilinių ir šiluminių tinklų direkcija", o nuo 1984 metų sausio 1 d. pasikeitė įmonės pavadinimas į "Šilutės rajono katilinės ir šilumos tinklai", pavaldūs buvo Komunalinio ūkio ministerijos Respublikinio gamybinio šiluminės energijos tiekimo susivienijimui. Šiluma buvo tiekama tik Šilutės miesto vartotojams, prijungtiems prie centralizuotai tiekiamos šilumos tinklų. Įmonė turėjo 5 kvartalines katilines, kūrenamos skystu krosnių kuru.[32]

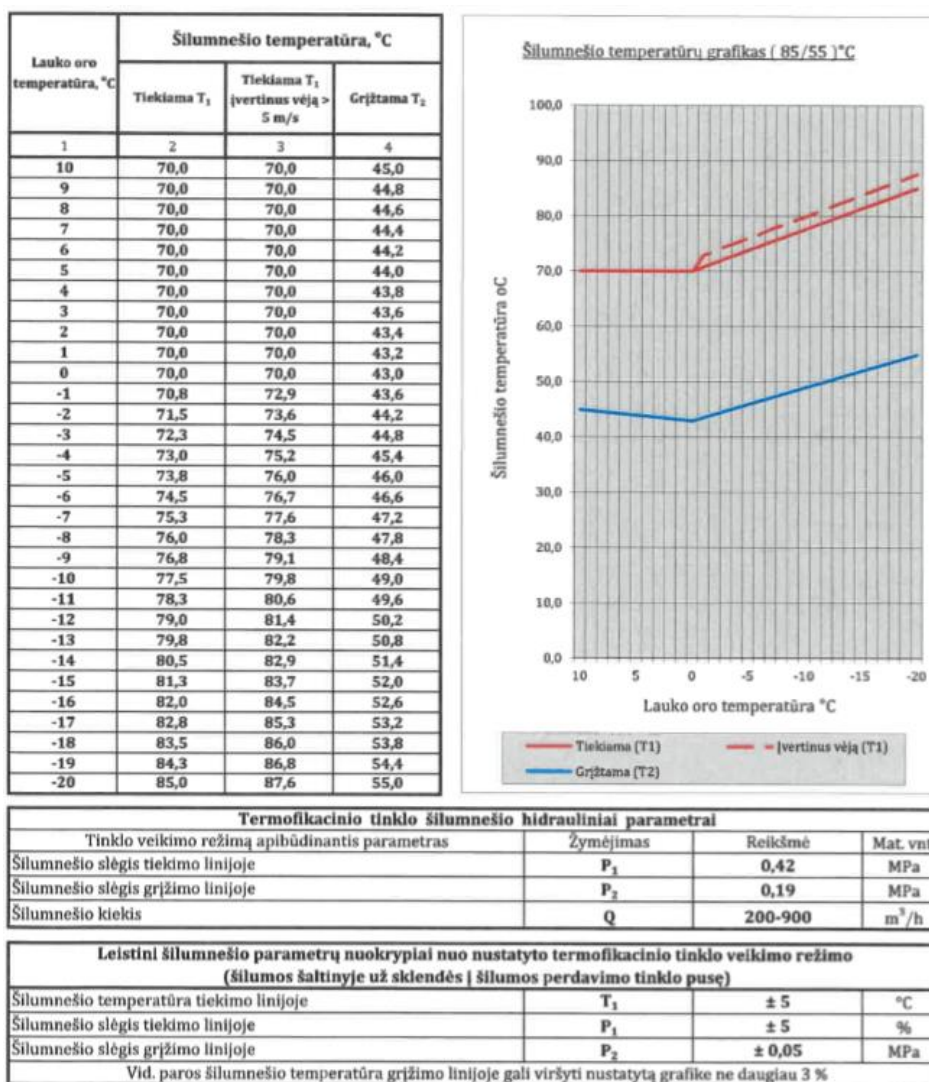
1983 metais kūrenimo sezono pradžioje pradėta eksploatuoti naujai pastatyta mazutu kūrenama 50 MW instaliuotos galios rajoninė katilinė, kuri buvo pajėgi aprūpinti šiluma visus centralizuotus šilumos vartotojus. Šilutės mieste buvusios penkios kvartalų katilinės liko veikti kaip boilerinės (1999 metais jos panaikintos). 1994 metais gegužės 31 dieną pasikeitė įmonės pavadinimas, buvo prijungta prie AB "Lietuvos energija" filialas "Klaipėdos šilumos tinklai" ir perduota eksploatuoti Traksėdžių gyvenvietės katilinė. Nuo 1997 metų liepos 1 d. restruktūrizavus AB „Lietuvos energija“ "Šilutės šilumos tinklai" tapo savarankiška įmonė SPAB „Šilutės šilumos tinklai 2000 metų lapkričio 28 dieną keičiamas bendrovės statusas į specialiosios paskirties uždarają akcinę bendrovę "Šilutės šilumos tinklai". 2003 metų spalio 3 dieną vadovaujantis Vyriausybės nutarimu bendrovėje naikinamas specialiosios paskirties statusas ir lieka uždaroji akcinė bendrovė Šilutės šilumos tinklai. 2007 metais. Šilutės rajoninės katilinės nuotrauka pateikta 3 paveikslėlyje [3].



3 pav. Šilutės rajoninė katilinė 2009 metai [31]

Šilutės rajoninėje katilinėje yra trys biokuro vandens šildymo katilai, kurių operatyviniai pavadinimai K-3, K-5 ir K-6, vienas biokuro garo katilas K-2, vienas dyzelinis perdarytas iš mazuto vandens šildymo katilas K-4 bei vienas dyzelinis perdarytas iš mazuto garo katilas K-1. Katilinės schema pateikiama priede Nr. 1. Šiame darbe nagrinėsime atkreipsime į tris biokuro katilus, kurie šildo vandenį, nes jų visų dūmų srautas nukreiptas per kondensacinį dūmų ekonomizerį. Du iš trijų

biokuro katilų vandenį šildo per vandens šildytuvus o likęs biokuro katilas pašildytą vandenį perduoda tiesiai į miesto vamzdyną. Šių nagrinėjamų katilų vardinė galia siekia 20,5 MWh.

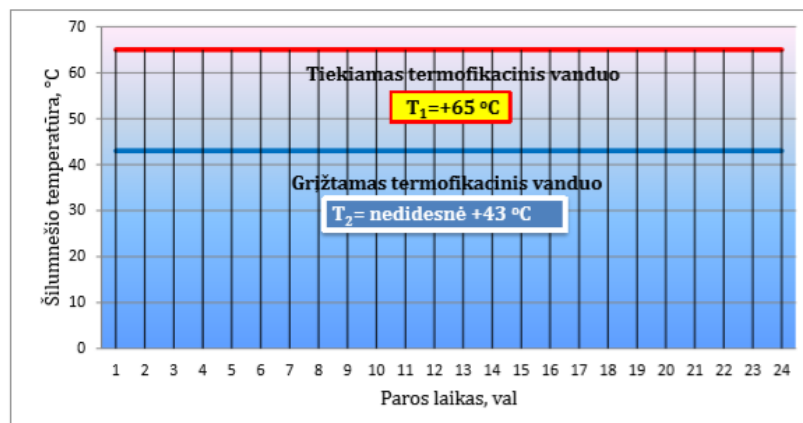


4 Pav. 2021/2022 Šildymo sezono šilumnešio parametrai grafikas[31]

Katilinė dirba dvejais temperatūriniais režimais, tai yra šildymo sezono režimas, kada termofikacinio vandens temperatūra kinta pagal nustatytą temperatūrinį grafiką, siekiant užtikrinti pastovų reikiamos temperatūros termofikacinio vandens paskirstymą visiems šilumos vartojams (4 pav.). Šildymo sezono metu dirba du arba trys katilai priklausomai nuo lauko temperatūros, pasiekus žiemos didžiuosius šalčius dirba visi trys katilai, šalčiausiomis dienomis visi katilai dirba maksimaliu apkrovimu. Žiemos sezono metu katilinės apkrova svyruoja gan plačiu diapazonu nuo 5 MWh sezono pradžioje ir pabaigoje, iki 24 MWh šalčiausiu žiemos laikotarpiu. Vandens srautas katilinėje svyruoja nuo 350 m³/h, sezono pradžioje ir pabaigoje, iki 750 m³/h žiemos laikotarpiu. Tiekiam ir grįžtamo termofikacinio vandens temperatūrą nurodo šilumnešio parametrai grafikas. Pasibaigus šildymo sezonui pereiname prie šiltojo sezono režimo (5 pav.), kada katilinė dirba vienu nustatytu režimu skirtu vartotojų šilto vandens gamybos poreikiams patenkinti. Šiltojo sezono katilinės apkrova svyruoja nuo 1,5 MWh iki 3 MWh, priklausomai nuo paros laiko ir lauko temperatūros, nes kaip žinome rytais ir vakarais atsirandi didesnis karšto vandens poreikis, kai žmonės keliasi rytais ir

ruošiasi į darbus ir kai vakare grįžta į namus. Vandens srautas katilinėje taipogi ryškiai sumažėja šiltuoju laikotarpiu ir svyruoja nuo 110 m³/h iki 160 m³/h.

**ŠILUMNEŠIO PARAMETRŲ GRAFIKAS
2022 METŲ ŠILTAJAM LAIKOTARPIUI
UAB Šilutės šilumos tinklai Šilutės rajoninei katilinei,
tiekiančiai termofikacinį vandenį karšto vandens ruošimui
pastatams Šilutės mieste**



Šilumnešio hidrauliniai parametrai			
Slėgis termofikacinio tinklo tiekimo linijoje	P ₁	3,4	bar
Slėgis termofikacinio tinklo grįžimo linijoje	P ₂	1,9	bar
Termofikacinio vandens kiekis	Q	110-160	m ³ /h
Termofikacinio tinklo papildymo vandens kiekis	Q _p	0,2	m ³ /h
Veikiančių tinklo siurblių skaičius	TS	1	vnt.
Rezervo režime esančių tinklo siurblių skaičius	TS _R	3	vnt.

5 pav. Šilumnešio parametrų grafikas šiltajam laikotarpiui[31]

3.1. Vandens šildymo katilas „Kaistra 4500“

Tai mažiausią galingumą turintis katilinėje naudojamas biokuro vandens šildymo katilas, jo vardinė galia yra 4500 kW, katilas pastatytas 2003 metais. Katilo techniniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Vandens šildymo katilo „Kaistra 4500“ technologiniai parametrai.[32]

Eil. Nr.	Parametras	Mat. Vnt.	Parametro reikšmė
1	Pavadinimas	-	Kaistra 4500
2	Katilo gamintojas	-	UAB Šilterma
3	Operatyvinis pavadinimas	-	K-5
4	Galia	kW	4500
5	Kuras		Medžio atliekos iki 55% drėgnumo, kurių leidžiamas maksimalus matmuo 70 mm
6	Darbinis slėgis	MPa	0,6
7	Hidraulinio bandymo slėgis	MPa	0,8
8	Vandens temperatūra, įeinančio	°C	65
9	Vandens temperatūra, išeinančio	°C	115
10	Išeinančių dūmų temperatūra	°C	130-180

11	Šildomas paviršius	m ²	301,3
12	Vandens tūris	m ³	7,2
13	Kuro suvartojimas (smulkinta mediena)	Kg/h	745-3260
14	Katilo naudingo veiksmo koeficientas (bruto)	%	89
15	Našumo diapazonas	%	15-100
16	Cirkuliacijos būdas katile	-	Priverstinis

Vandens šildymo katilas „Kaistra 4500“ kūrenamas medžio drožlėmis, kuras iš sandėlio parnešamas specialiais kuro trauktuvais, parnešamas krenta ant sraigtinio transportinio, šis kurą neša tolyn ir kelia aukštyn į katilo kuro bunkerį. Esant pagrindinio kuro padavimo transporterio gedimui, galimas kuro padavimo perjungimas iš šalia esančio katilo grandiklinių kuro transporterio. Kuro bunkerio pastūmos cilindrai kurą iš bunkerio stumia ant ardyno, ardynas judėdamas pirmyn ir atgal perneša kurą per visą pakurą, kol jis sudega ir pavirsto į degimo produktus, tai yra pelenus. Pelenai iš katilo pašalinami šlapiuoju būdu naudojant grandiklinį transporterį, kuris pelenus nunešą į specialus konteinerius, kuriuos su krautuvo pagalba išvežame į pelenų saugojimo vietą. Katilo valdymas dalinai automatizuotas. Operatorius privalo pašalinti susidariusius pelenus. Šis katilas termofikacinį vandenį šildo per sumontuotus tris vandens šildytuvus. 6 paveikslėlyje pavaizduota katilo K-5 priekinė dalis.[32]



6 pav. Vandens šildymo katilo „Kaistra 4500“ priekinė dalis

3.2. Vandens šildymo katilas „Kaistra 6000“

Šis biokuro katilas pagal savo nominalų galingumą užima vidutinę poziciją iš visų katilinės turimų biokuro katilų. Katilas pastatytas 2007 metais.

2 lentelė. Vandens šildymo katilo „Kaistra 6000“ technoliniai parametrai.[33]

Eil. Nr.	Parametras	Mat. Vnt.	Parametro reikšmė
1	Pavadinimas	-	Kaistra 6000
2	Operatyvinis pavadinimas	-	K-6
3	Galia	kW	6000
4	Kuras	-	Medžio atliekos iki 50% drėgnumo, kurių leidžiamas maksimalus matmuo 100-40-14 mm.
5	Darbinis slėgis	MPa	0,6
6	Vandens temperatūra, įeinančio	°C	65
7	Vandens temperatūra, išeinančio	°C	110
8	Išeinančių dūmų temperatūra	°C	130-160
9	Šildomas paviršius	m ²	396,6
10	Vandens tūris	m ³	8
11	Maksimalios kuro sąnaudos	Kg/h	2520
12	Našumo diapazonas	%	35-100
13	Cirkuliacijos būdas katile		Priverstinis
14	Naudingo veiksmo koeficientas	%	89

Kuro padavimo į katilą sistema tiekia smulkintą biokurą (medienos atliekas, nestambesnes 100x40x14 mm) į katilo pakūrą. Kuro sandėlio hidrostotis valdo kuro sandėlio hidrocilindrus, kurie prie jų prijungtais kuro trauktuvais paduoda kurą į kuro sandėlio transporterį prieš tai sulipę kuro gabalai susmulkinami kuro trupintuvu, kuris be to dar neleidžia kurui byrėti atgal į sandėlį, kuro šliaužikliams judant atgal. Virš kuro sandėlio transporterio įrengtos apsauginės grotelės nuo pašalinių daiktų patekimo į transporterį. Jas judina kuro purtytuvas. Toliau kuras tiekiamas į kuro transporteriais į katilo bunkerį. Katilo hidrostotis kuro pastūmos pagalba iš bunkerio kurą nustumia ant ardyno. Ardynas yra judinamas hidrostotis hidrocilindru stumdomais I ir II ardynų vežimėliais, kurie judėdami kilnoja katilo pakūros ardeles. Ardelėms kilnojantis, kuras juda iš katilo priekio link katilo galo.[34]

Pakūroje vyksta degimas. Iš pakūros degimo produktai patenka į dūmavamzdžius, kuriais jie grįžta į galinę katilo dalį. Galinėje dalyje degimo produktai verčiasi ir tokio pat diametro dūmavamzdžiais išeina į katilo priekinę dalį. Čia degimo produktai dar kartą verčiasi ir mažesnio skersmens vamzdžiais grįžta į katilo galinę dalį ir išeina iš katilo. Išėję iš katilo, degimo produktai patenka į cikloną, kur iš jų atskiriamos kietosios dalelės. Kietosios dalelės patenka į pelenų šalinimo sistemą, o degimo produktai dūmsiurbe pašalinami į dūmtraukį. Dūmų vertimosi vietose sumontuoti apžiūros ir aptarnavimo liukai. [34]

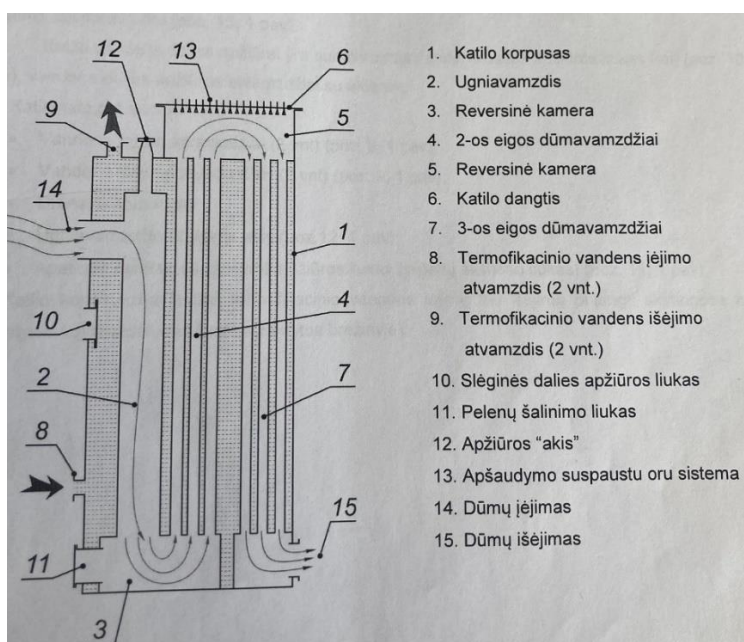
. Pelenai iš katilo pašalinami šlapiuoju būdu naudojant grandiklinį transporterį, kuris pelenus nuneša į specialius kontenerius, kuriuos su krautuvo pagalba išvežame į pelenų saugojimo vietą. Katilo valdymas dalinai automatizuotas. Operatorius privalo pašalinti susidariusius pelenus. Šis katilas termofikacinį vandenį šildo per sumontuotus du vandens šildytuvus. 7 paveikslėlyje matome katilo K-6 priekinę dalį, kurioje yra kuro bunkeris, ir virš jo esantis kurą pernešantis grandiklinis transporteris. [34]



7 pav. Vandens šildymo katilo „Kaistra 6000“ priekinė dalis

3.3. Vandens šildymo katilas „VHB 10000“

Šis biokuro katilas yra galingiausias biokuro katilas katilinėje, jo vardinė galia siekia 10 MW. Šio vandens šildymo katilo paskirtis yra karšto vandens gamyba. Šis katilas turi tris dūmų eigas, tam, kad maksimaliai išgauti energiją iš dūmų. Šis katilas skirtas šiluminės energijos gamybai, šildant karštą vandenį ir tiekiant jį į šilumos tinklus. Normaliam katilo darbui yra būtina pakura, kurioje deginimas kuras, o karšti degimo produktai tiekiami į katilą.



8 pav. Katilo K-3 konstrukcinė schema[34]

Katilą galima eksploatuoti su judančio ardyno, verdančio sluoksnio ar kito tipo pakuromis. Katilo konstrukcija pavaizduota 8 paveikslėlyje. Katilas sumontuotas 2013 metais.

3 lentelė. Vandens šildymo katilo „VHB 10000“ techniniai parametrai. [34]

Eil. Nr.	Parametras	Mat. Vnt.	Parametro reikšmė
1	Pavadinimas	-	VHB 10000
2	Operatyvinis pavadinimas	-	K-3
3	Pagaminimo metai	-	2013.09
4	Kuras	-	Biokuras SM1 ir SM2 iki 50% drėgnumo, kurių leidžiamas maksimalus matmuo 15x40x100 mm.
5	Katilo paskirtis	-	Vandens šildymas
6	Katilo tipas	-	Kaitravamzdis, 3-jų eigių
7	Montavimo padėtis	-	Vertikali
8	Kategorija	-	IV
9	Išeinančių dūmų temperatūra	°C	130-180
10	Katilo maksimalus galingumas, kai apkrovimas lygus 100 %.	kW	10000
11	Katilo minimalus galingumas, kai apkrovimas lygus 30 %.	kW	3000
12	Maksimali darbinė temperatūra, T	°C	130
13	Minimali vandens temperatūra prieš katilą, T	°C	70
14	Vandens tūris	m ³	47,5
15	Terpės grupė		grupė 2 (vanduo)
16	Cirkuliacijos būdas katile		Priverstinis
17	Projektinis slėgis, Ps	bar	12,0
18	Bandomasis slėgis PT	bar	17,6
19	Apsauginių vožtuvų atsidarymo slėgis	bar	13,2
20	Naudingo veiksmo koeficientas	%	89

Vandens šildymo katilas kurą gauna iš biokuro sandėlio. Kuro trauktuvai, partraukia iš sandėlio skiedra, kuri beriama ant grandiklinio transporterio ir per kelis tokius transporterius nešama į katilą. Kuras kaupiasi katilo bunkeryje, kuras iš bunkerio paduodamas ant ardyno hidraulinės pastūmos pagalba, ją stumdo cilindras įrengtas po bunkeriu. Kuras pagal poreikį, kuris yra užduodamas katilo valdymo programoje yra paduodamas į pirmo džiovinimo zoną. Kuras stumiamas džiovinančia ardynu dalimi per visą katilą, o džiovinamas tiekiant pirminį orą, taipogi tiekiant recirkuliacinius dūmus ir pakuros skleidžiama sienų šiluma. Kurui išdžiūvus jis patenka į degimo zoną. Esant aukštai temperatūrai ir pirminio oro srautui, kuras ima gazifikuotis. Siekiant sudeginti dujas virš biokuro sluoksnio, tam yra paduodamas antrinis oras. Siekiant galutinai sudeginti dujas paduodamas ir tretinis oras. Katilo išorės vaizdas parodytas 9 paveikslėlyje. [34]

Ardyno judinimo mechanizmas išjungiamas prieš ir po šviežios kuro porcijos įstūmimo į pakurą (pelenų nustūmimas ir kuro sluoksnio išlyginimas). Temperatūra pakuroje neturėtų viršyti 1000 °C. Viršijus šią ribą, temperatūra mažinama didinant recirkuliuojamų dūmų kiekį. Pakuroje yra

įrengti 1 mūro ir 3 dūmų srauto temperatūros matavimo davikliai. Kuro sluoksnis turi dengti ardyną per visą jo plotą. Kuro sluoksnio storis turi būti toks, kad ardynas būtų apsaugotas nuo perkaitinimo. Kuras turi baigti degti ant paskutinių ardelių eilių. Pirminio ir antrinio orų kiekio paskirstymas tarp zonų atliekamas derinimo metu, priklausomai nuo degimo proceso pakuroje. Kuro padavimas, degimo palaikymas ir pelenų pašalinimas atliekamas automatinio režimu pagal užduotus parametrus. Pelenų pašalinimas iš pelenų kanalo ir iš po ardyno atliekamas derinimo metu nustatomu periodiškumu. Automatinė pelenų šalinimo iš pakuros sistema, susideda iš grandiklių ir hidrocilindrų, hidrostotelių bei jungiančios armatūros. Pelenai automatinio būdu šalinami iš 5 zonų: galinės (už paskutinės ardelių eilės, pagrindinis pelenų srautas) ir 4 zonų po ardelėmis (prabyrėjęs per ardeles pelenų srautas). Pelenai mechaniniu būdu šalinami i 1 zonos (nuo maitintuvo pusės žiūrint, zona po pirmomis 4 ardelių eilėmis). Temperatūrų stebėjimui po ardynu yra įrengti 5 temperatūros davikliai, po 1 daviklį kiekvienoje zonoje. [34]



9 pav. Katilo K-3 pakuros šoninis vaizdas

3.4. Kondensacinis ekonomaizeris

Tai yra korpusinis-vamzdelinis šilumokaitis. Išmetami dūmai įteka į ekonomaizerio viršutinę dalį, teka žemyn vertikalių vamzdelių vidumi ir išteka ekonomaizerio apačioje. Aušinantis grįžtantis termofikacinis vanduo įteka į ekonomaizerio kondensato surinktuvo kūginę apatinę dalį, teka darydamas keletą eigų tarpvamzdine erdve skersai vamzdelių ir išteka iš ekonomaizerio jo viršuje. Praėję per ekonomaizerio vamzdelius, dūmai ataušta iki temperatūros, vos keliais laipsniais aukštesnės už į ekonomaizerį įtekančio termofikacinio vandens temperatūrą. Ekonomaizerio viršutinė rietinė yra nuolat apipurškama kondensatu. Apipurškimas reikalingas tam, kad viršutinė rietinė

išliktų švari, taip išvengiant vamzdelių užsikimšimo. Kitas apipurškimo tikslas yra šilumos mainų tarp dūmų ir vamzdelių sienelių pagerinimas. Išpurškimas yra realizuojamas septinių purkštukų pagalba, purškiant per juos pastovų vandens kiekį [35].

4 lentelė. Kondensacinio dūmų ekonomazerio techniniai parametrai. [35]

Eil. Nr.	Parametras	Mat. Vnt.	Parametro reikšmė
1	Darbo slėgis:		
	Korpusas	MPa	0-1,0
	Vamzdeliai	MPa	0-0,005
2	Bandomasis(hidraulinis) slėgis	MPa	1,43
3	Didžiausia darbo temperatūra:		
	Korpusas	°C	+ - 100
	Vamzdeliai	°C	+ - 200
4	Darbinė terpė:		
	Korpusas		Termofikacinis vanduo
	Vamzdeliai		Dūmai
5	Vidinis tūris	m ³	9,4
6	Pripiltos terpės masė	t	30
7	Tuščio indo masė	t	20,6
8	Biokuro katilų našumas:		
	Minimalus	MW	4,5
	Maksimali	MW	20,5
9	Ekonomazerio galia:		
	Minimali	MW	0,49
	Maksimali	MW	4,95
10	Vandens temperatūra prieš ekonomazerį	°C	+45
11	Vandens kiekis per ekonomazerį		
	Minimalus	m ³ /h	130
	Maksimalus	m ³ /h	400

Grįžtantis termofikacinis vanduo yra naudojamas ekonomazeriye ataušinti išmetamiems dūmams ir nuvesti susidarantią šilumą. Termofikacinis vanduo į ekonomazerį yra paduodamas siurblio pagalba. Grįžtantis termofikacinis vanduo įteka į ekonomazerio apatinę dalį, teka darydamas keletą eigu tarpvamzdine erdve skersai ekonomazerio vamzdelių ir išteka iš ekonomazerio jo viršuje. Ekonomazerio galiai ir pagamintam energijos kiekiui apskaityti, termofikacinio vandens vamzdyne yra įrengta šilumos apskaita SKU-1M. Ekonomazerio ir vamzdyno apsaugai nuo viršslėgio termofikacinio vandens vamzdyne už ekonomazerio yra įrengtas apsauginis vožtuvas. Principinė ekonomazerio schema pateikta priede Nr2. 10 paveikslėlyje pateiktas Šilutės rajoninės katilinės kondensacinio dūmų ekonomazerio pastatas su dūmtraukiu, fone taip pat matyti mūrinis katilinis dūmtraukis, kurio aukštis 80 metrų, jis naudojamas, ekonomazerio valymo darbų metu arba avarijos atveju. Taipogi per jį paleidžiamas dyzelinio vandens šildymo katilo dūmų srautas [35].



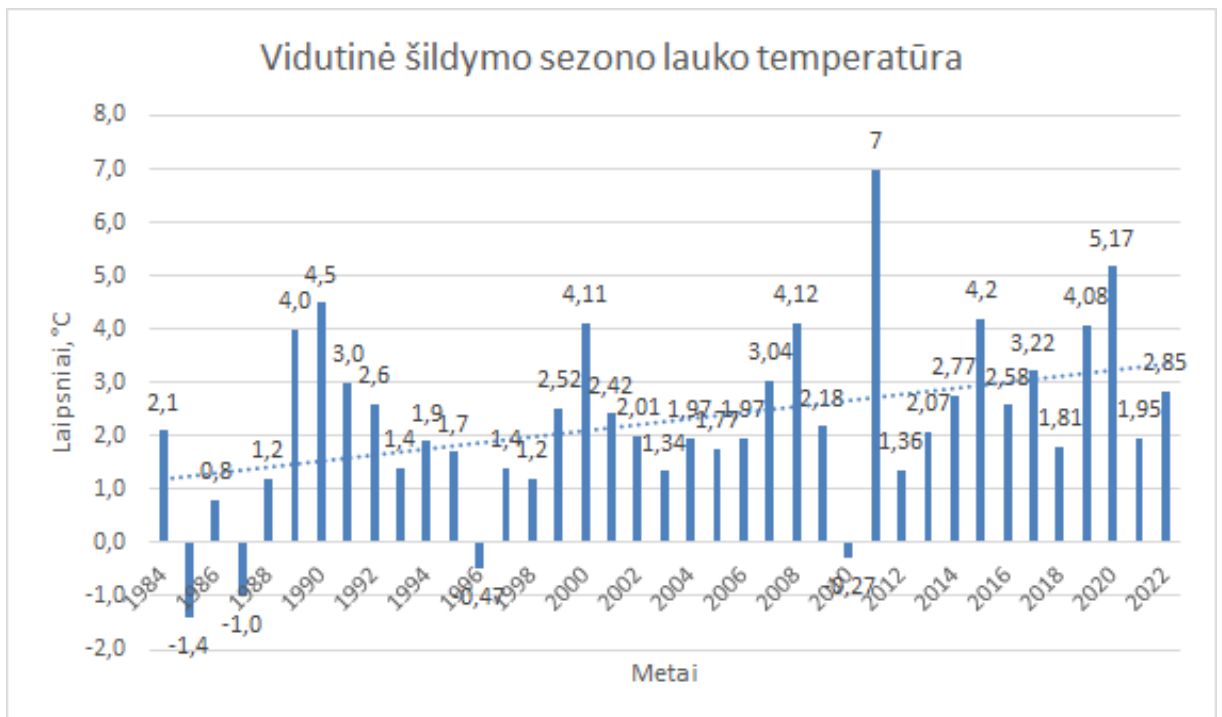
10 pav. Šilutės rajoninės katilinės kondensacinio dūmų ekonomizerio pastatas

3.5. Vietovės klimatas

Didelė dalis katilinei reikalingo galingumo priklauso nuo vietovės, kurioje ji įsikūrusi, klimato. Kuo atšiauresnis klimatas tuo didesnė šiluminė galia reikalinga ir atvirkščiai jei šioje vietovėje vyrautų pliusinė temperatūra, vargu ar katilinė būtų išvis reikalinga.

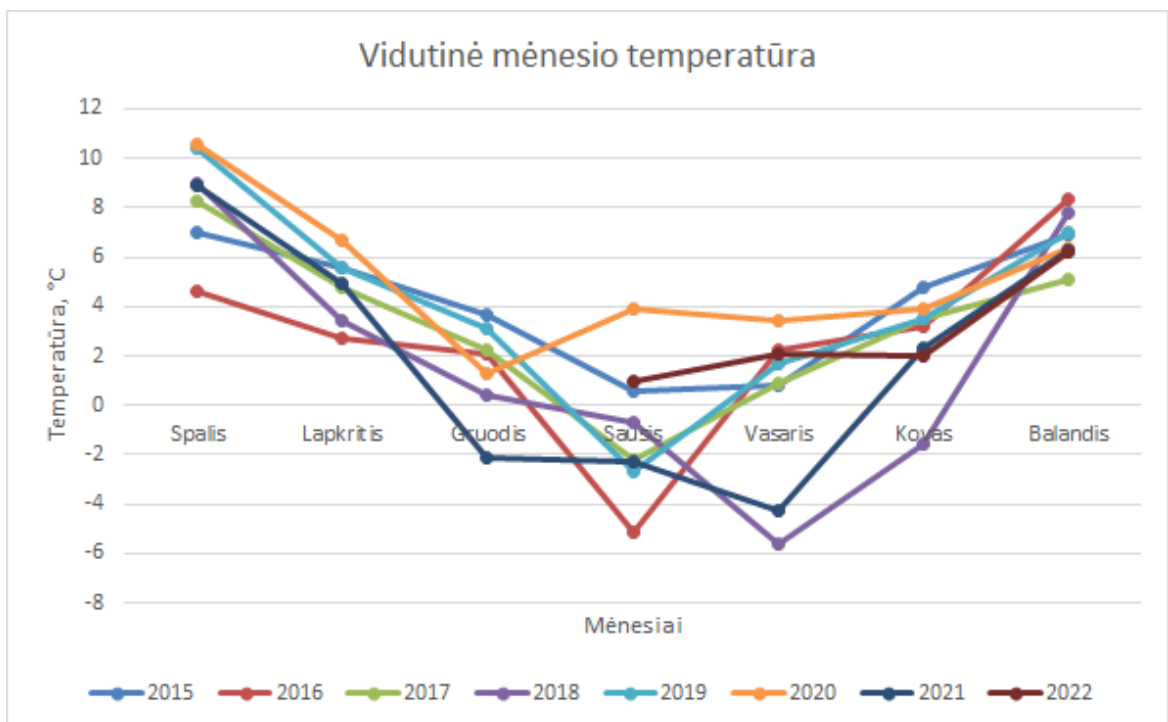
Įmonėje kaupiami istoriniai duomenys susiję su oro sąlygomis. Registruojama kiekvienos dienos vidutinė lauko temperatūra, fiksuojama vidutinė mėnesio temperatūra ir šitie duomenys kaupiami nuo 1984 metų. Toliau pateiksime palyginamuosius grafikus, kuriuose matysime kaip per katilinės gyvavimo metus keitėsi vidutinė oro temperatūra šildymo sezono metu. Labiau išskirsime paskutinių aštuonių šildymo sezono temperatūra ir išskaidysime į vidutinę mėnesio temperatūrą, ir išrinkę šalčiausią mėnesį, pateiksime jo temperatūrų grafiką padieniui. 4 priede pridedame vidutinės mėnesio temperatūros duomenų lentelę, kurioje sukaupti duomenis nuo 1984 metų.

11 paveikslėlyje pateikiamas palyginamasis grafikas su vidutine šildymo sezono lauko temperatūra nuo 1984 metų iki 2022 metų šildymo sezono pabaigos. Iš grafiko matome, kad temperatūrų kaita per šiuos metus turi tam tikrą dėsningumą, kuris pasireiškia kaip pastovus temperatūrų svyravimas kas kelerius metus, šalčiausias šildymo sezonas su $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, buvo 1985 metais, per viso šį laikotarpį pasitaikė tik keletas sezonų, kada buvo fiksuota neigiama vidutinė temperatūra. Šilčiausias šildymo sezonas buvo 2011 metais, kai užfiksuota vidutinė lauko temperatūra siekė $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, grafike aiškiai matomas temperatūros augimas, kas rodo bendrą klimato šiltėjimą.



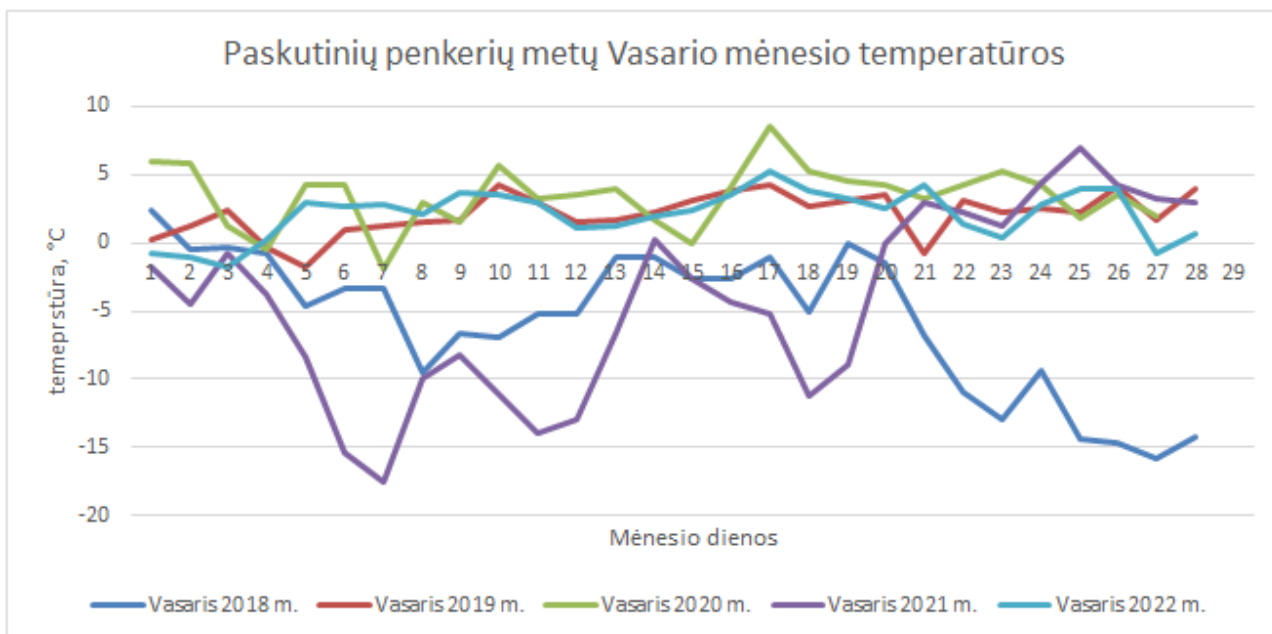
11 pav. Vidutinė šildymo sezono lauko temperatūra nuo 1984 metų

12 paveikslėlyje pateiksime paskutiniųjų aštuonių šildymo sezonų kiekvieno mėnesio vidutinę mėnesio temperatūrą. Iš grafiko matome, kad šalčiausias mėnesis yra Vasaris, su didžiausia vidutine neigiama lauko temperatūra. Taipogi matome, kad kiekvienais metais šildymo sezono pradžios ir pabaigos temperatūra nežymiai padidėja, o ir bendra šildymo sezono temperatūra tampa vis aukštesnė.



12 pav. Paskutinių aštuonių šildymų sezonų vidutinė mėnesio temperatūra

Iš prieš tai buvusio grafiko išsiaiškinome, kad šalčiausias šildymo sezono mėnuo yra Vasaris, todėl toliau panagrinėsime paskutinių penkerių metų Vasario mėnesio temperatūras, kurias pateiksime 13 paveikslėlyje.



13 pav. Paskutinių penkerių metų Vasario mėnesio temperatūra

Iš grafiko matome, kad šalčiausia buvo 2018 ir 2021 metų Vasario mėnesiais, tada vidutinė dienos temperatūra nukrito žemiau $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.6. Biokuras

Katilinės darbą tiesiogiai įtakoja vartojimo kuro kokybė, kadangi šiame darbe apsiribojame ties biokuro vandens šildymo katilais, tai plačiau aptarsime ir patį biokurą. Biokuras pakankamai plati sąvoka, šioje katilinėje naudojame medžio drožles, kurios gaunamos iš miško kirtimo ir medienos perdirbimo atliekų. Skiedros kokybė labai keičiasi priklausomai nuo metų laiko, pavyzdžiui žiemos laikotarpiu, kada reikalinga daug kokybiškos, sausos ir be žalingų priemaišų skiedros, rinkoje tokios labai sunku gauti, dėl prastos žiemos neįvažiuojamų miškų. Vasara kada situacija priešinga ir gamybos apimtys labai minimalios, tiekiamos skiedros kokybė tampa ideali. [37]

Labai didelę įtaka biokuro sudėtis turi ir ekonomizerio darbui, taipogi ir projektuojamam šilumos siurbliui, kuris pasisavins perteklinę šilumą iš dūmų po kondensacinio ekonomizerio, kadangi šių įrenginių našumas tiesiogiai proporcingas išmetamų dūmų sudėčiai ir temperatūrai. Katilo naudingumo koeficientas NVK (naudingo veiksmo koeficientas), priklauso nuo nesudegusio kuro. [37]

Panaudosime paskaitų metu sukauptoje literatūroje aprašyta metodiką ir matematinėmis išraiškomis, apskaičiuojant dūmų, susidarančių deginant augalinę biomasę, slaptajai garavimo šilumai įvertinti bei formules leidžiančias apskaičiuoti kitus kondensacinį režimą charakterizuojančius parametrus [37]:

Apskaičiuojamas sočiųjų garų parcialinis slėgis:

$$p_{sg} = 479 + (11.52 + 1.62 * t)^2; \quad (3.1)$$

čia t - oro temperatūra $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$p_{sg} = 479 + (11.52 + 1.62 * 20)^2 = 2407.97 \text{ Pa};$$

Apskaičiuojamas oro drėgnis, kuris nurodo ore esančių vandens garų ir sauso oro masės santykį:

$$d = 0.623 * \frac{\varphi * p_{sg}}{B - \varphi * p_{sg}}; \quad (3.2)$$

čia:

φ – santykinis oro drėgnis;

B – atmosferinis slėgis, Pa;

p_{sg} – sočiųjų garų parcialinis slėgis, Pa;

$$d = 0.623 * \frac{0.7 * 2407.97}{101325 - 0.7 * 2407.97} = 0.0105;$$

Apskaičiuojamas susidarantis drėgmės kiekis sudeginus 1 kg drėgno biokuro:

$$m_{H_2O} = (1 - n_s) * (1 - w) * (m_{H_2OSt}^0 + \lambda * d * m_{OSt}^0) + w; \quad (3.3)$$

čia:

n_s - biokure esančių nedegių mineralinių medžiagų kiekis kuro sausos masės dalimis;

w - kuro drėgnumas, kuro bendrosios masės dalimis;

$m_{H_2OSt}^0$ - stochiometriškai sudeginus 1 kg biokuro, susidaranti vandens garų masė;

λ – oro pertekliaus koeficientas;

d – oro drėgnis;

m_{OSt}^0 - oro masė reikalinga stochiometriškai sudeginti 1 kg biokuro.

$$m_{H_2O} = (1 - 0,015) * (1 - 0,5) * (0,54 + 1,4 * 0,0105 * 5,89) + 0,5 = 0.809 \text{ kg};$$

Apskaičiuojamas su oro pertekliumi sudeginus 1 kg drėgno biokuro susidaranti dūmų kiekis:

$$m_D = 1 + \lambda * (1 - n_s) * (1 - w) * (1 + d) * m_{OSt}^0; \quad (3.4)$$

$$m_D = 1 + 1.4 * (1 - 0.015) * (1 - 0.5) * (1 + 0.0105) * 5.89 = 5.10 \text{ kg};$$

Apskaičiuojamas dūmų drėgnis, sausų dūmų masės dalimis:

$$d_D = \frac{m_{H_2O}}{m_D - m_{H_2O}}; \quad (3.5)$$

$$d_D = \frac{0.809}{5.10 - 0.809} = 0.188;$$

Turint dūmų drėgnumą, galima apskaičiuoti rasos taško temperatūrą:

$$t_{Dr} = 37.6 * \lg(250 * d_D); \quad (3.6)$$

$$t_{Dr} = 37.6 * \lg(250 * 0.188) = 62,9 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Panaudojus dūmų vandens garų slaptąją garavimo šilumą, būtina juos atšinti iki temperatūros, kuri yra žemesnė nei rasos taško temperatūra. Dūmams pasiekus temperatūrą, žemesnę negu rasos taško temperatūra, vandens garų dalis, kuri yra dūmuose, ima kondensuotis ir dūmų drėgnumas mažėja. Drėgmės kiekis, kuris liko dūmuose apskaičiuojamas pagal formulę:

$$d_{D1} = 0,004 * 10^{\frac{t_{D1}}{37,6}}; \quad (3.7)$$

$$d_{D1} = 0,004 * 10^{\frac{45}{37,6}} = 0.0629 \text{ kg};$$

Ataušus dūmams iki temperatūros, kuri žemesnė negu rasos taško temperatūra, gauname šilumos kiekį, kuris apskaičiuojamas kaip suminis dūmų ataušinimo sąskaita gautas šilumos kiekis ir slaptosios garavimo šilumos, kuri gauta besikondensuojančiuose dūmuose esantiems vandens garams.

$$Q_{D1} = 1.005 * t_d + (2500 + 1.8 + t_d) * d_D - 1.005 * t_{D1} - (2500 + 1.8 * t_{D1}) * d_{D1}; \quad (3.8)$$

$$Q_{D1} = 1.005 * 140 + (2500 + 1.8 + 140) * 0.188 - 1.005 * 45 - (2500 + 1.8 * 45) * 0.0629 \\ = 504.4 \frac{kJ}{kg};$$

Šilumos kiekis Q_{D1} apskaičiuotas 1 kg sausų dūmų, kai dūmus ataušiname nuo pradinės temperatūros iki temperatūros, kuri yra žemesnė už rasos taško temperatūrą t_{D1} .

Tolimesniems skaičiavimams bus reikalinga biokuro elementinė sudėtis, ją imsime iš LST CEN/ TS 14961:2006 „Kietasis biokuras – Kuro specifikacijos ir klasės“ (angl. Solid biofuels - Fuel specifications and classes) standarto [38].

Kuras susideda iš įvairių elementų, kurių dalis nusakoma elementų masės procentais. Biokuro degieji elementai yra anglis (C), vandenilis (H_4) ir siera (S). Kure taipogi galima rasti tokių elementų kaip deguonis (O) azotas (N), drėgmė (W) ir mineralinės priemaišos (A). Deguonis ir azotas sudaro taip kuro vidinį balastą, o drėgmė ir mineralinės priemaišos – išorinį balastą. 5 lentelėje pateikta medienos sudėtis be išorinio balasto.

5 lentelė. Sausos medienos sudėties elementai.

C^S	H^S	S^S	O^S	N^S	Cl^S
50,23	6,23	0,03	43,19	0,30	0,02

Sekantiems skaičiavimams naudosime formules pateiktos literatūroje [36]. Apskaičiuojamas sauso kuro kaloringumas kaip žemutinė kuro degimo šiluma:

$$Q_{\frac{z}{z}}^n = 339 * C^n * 1035 * H^n * 109 * S^n - 109 * O^n - 25 * W^n; \quad (3.9)$$

$$Q_{\frac{z}{z}}^n = 339 * 50.23 * 1035 * 6.23 * 109 * 0.03 - 109 * 43.19 - 25 * 0 = 18486 \frac{kJ}{kg};$$

Palyginimui paimsime iš nepriklausomos šiluminių įrenginių tyrimo ir bandymų laboratorijos gautus 7 skirtingų biokuro vežėjų tyrimų rezultatų duomenis, kurie pateikti 14 paveikslėlyje.

Parametras	Vertė	Išplėstinė neapibrėžtis, ±%
KJ0802 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	19625	0,71
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18297	0,78
Pelenų kiekis, %*	1,28	0,33
KJ0803 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	19965	0,60
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18637	0,66
Pelenų kiekis, %*	2,13	0,27
KJ0804 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	19785	0,60
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18458	0,65
Pelenų kiekis, %*	0,92	0,13
KJ0805 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	19662	0,81
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18335	0,89
Pelenų kiekis, %*	2,45	0,05
KJ0806 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	19812	1,24
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18485	1,37
Pelenų kiekis, %*	3,23	0,54
KJ0807 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	20262	0,85
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18934	0,93
Pelenų kiekis, %*	2,09	0,09
KJ0808 S		
Sauso kuro viršutinis šilumingumas, kJ/kg	20198	0,75
Sauso kuro apatinis šilumingumas, kJ/kg	18871	0,83
Pelenų kiekis, %*	1,86	0,06

14 pav. nepriklausomos šiluminių įrenginių tyrimo ir bandymų laboratorijos tyrimo duomenys.

Visų atliktų tyrimų mėginiai buvo paimti iš skirtingų vietų, pagal nustatytą tvarką. Atlikę visų tyrimų sauso kuro apatinio šilumingumo reikšmės matematinio vidurkio paskaičiavimą gauname, kad vidutinė reikšmė lygi $18518 \frac{kJ}{kg}$, šis skaičius labai artimas reikšmei, kuria paskaičiavome iš biokuro standartinių duomenų, todėl priimsime galioti teoriškai paskaičiuotos žemutinės kuro šilumos reikšmę.

Bendras visų katilų našumas bus 20,5 MW arba 20500 kW. Priimsime, kad per visus tris biokuro katilus bendrą naudingumo koeficientą laikysime lygų 89 %.

$$Q = 20.5 \text{ MW} = 20500 \text{ kW};$$

$$\eta = 89 \%;$$

Apskaičiuojama kuro energija:

$$Q_k = Q * \frac{100}{\eta} = 20500 * \frac{100}{89} = 23033 \text{ kW} = 23 \text{ MW}; \quad (3.10)$$

Apskaičiuojama kuro energetinė vertė:

$$Q_{en} = \frac{Q_k^n}{3600} = \frac{18486}{3600} = 5.135 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}; \quad (3.11)$$

Tuomet su gautais duomenis apskaičiuojamas kuro suvartojimas:

$$B = \frac{Q_k}{Q_{en}} = \frac{23033}{5.135} = 4485.5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 1.246 \frac{\text{kg}}{\text{s}}; \quad (3.12)$$

Toliau skaičiuojame teorinį reikalingo oro kiekį:

$$V_O^t = 0.0899 * (C^n + 0.375 * S^n) + 0.265 * H^n - 0.033 * O^n; \frac{\text{nm}^3}{\text{kg}} \quad (3.13)$$

$$V_0^t = 0.0899 * (50.23 + 0.375 * 0.03) + 0.265 * 6.23 - 0.033 * 43.19 = 4.66 \frac{nm^3}{kg};$$

Oro pertekliaus koeficientą primisime lygų $\alpha=1,4$.

Skaičiuosime tikrąjį degimui reikalingą oro kiekį apskaičiuosime pagal toliau pateiktą formulę:

$$V_O = V_0^t * \alpha; \frac{nm^3}{kg} \quad (3.13)$$

$$V_O = 4.66 * 1.4 = 6.52 \frac{nm^3}{kg};$$

Visiškai sudeginus kurą su teoriniu oro kiekiu, degimo produktuose būna visiško degimo produktai – CO₂, SO₂, H₂O, ir kuro bei oro azotas N. Deginant su oro pertekliumi, dūmuose dar yra oro pertekliaus deguonis. Sieros kiekis medienoje labai mažas, todėl tolimesniuose skaičiavimuose sieros degimo produktas SO₂ nevertinamas.

Skaičiuojame anglies dioksido tūrį:

$$V_{CO_2} = 0.01866 * C^n; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.14)$$

$$V_{CO_2} = 0.01866 * 50.23 = 0.92 \frac{nm^3}{kg};$$

Tada skaičiuojame azoto dujų tūrį:

$$V_{N_2} = 0,79 * V_0^t + 0,008 * N^n; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.15)$$

$$V_{N_2} = 0,79 * 4,66 + 0,008 * 0,3 = 3.68 \frac{nm^3}{kg};$$

Pereiname prie perteklinio azoto skaičiavimo:

$$V_{N_2}^p = (\alpha - 1) * V_0^t * 0,79; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.16)$$

$$V_{N_2}^p = (1,4 - 1) * 4,66 * 0,79 = 1.47 \frac{nm^3}{kg};$$

Apskaičiuojame vandens garų tūrį:

$$V_{H_2O} = 0,111 * H^n + 0,0124 * W^n + 0,0161 * \alpha * V_0^t; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.17)$$

$$V_{H_2O} = 0,111 * 6,23 + 0,0124 * 0 + 0,0161 * 1,4 * 4,66 = 0.79 \frac{nm^3}{kg};$$

Pereiname prie perteklinio deguonies skaičiavimo:

$$V_{O_2}^p = (\alpha - 1) * V_0^t * 0,21; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.18)$$

$$V_{O_2}^p = (1,4 - 1) * 4,66 * 0,21 = 0.39 \frac{nm^3}{kg};$$

Skaičiuojame sausų degimo produktų tūrį:

$$V_{sd} = V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{N_2}^p + V_{O_2}; \frac{nm^3}{kg}; \quad (3.19)$$

$$V_{sd} = 0.92 + 3.68 + 1.47 + 0.39 = 6.47 \frac{nm^3}{kg};$$

Toliau skaičiuosime dūmų masę, kuri susidaro sudeginant 1 kg sauso kuro:

$$M_{sd} = V_{sd} * \rho_{sd} = 6.47 * 1.37 = 8.83 \frac{kg}{kg}; \quad (3.20)$$

Skaičiuojame susidarančių dūmų masinį debitą, kada deginamas reikiamas kuro keikis:

$$G_{sd} = M_{sd} * \frac{B}{3600} = 8.83 * \frac{4485.5}{3600} = 11 \frac{kg}{s}; \quad (3.21)$$

Su gautais duomenimis suskaičiuosime kokia teoriška šiluminė galia gali būti gauta kondensaciniame ekonomizaizeryje:

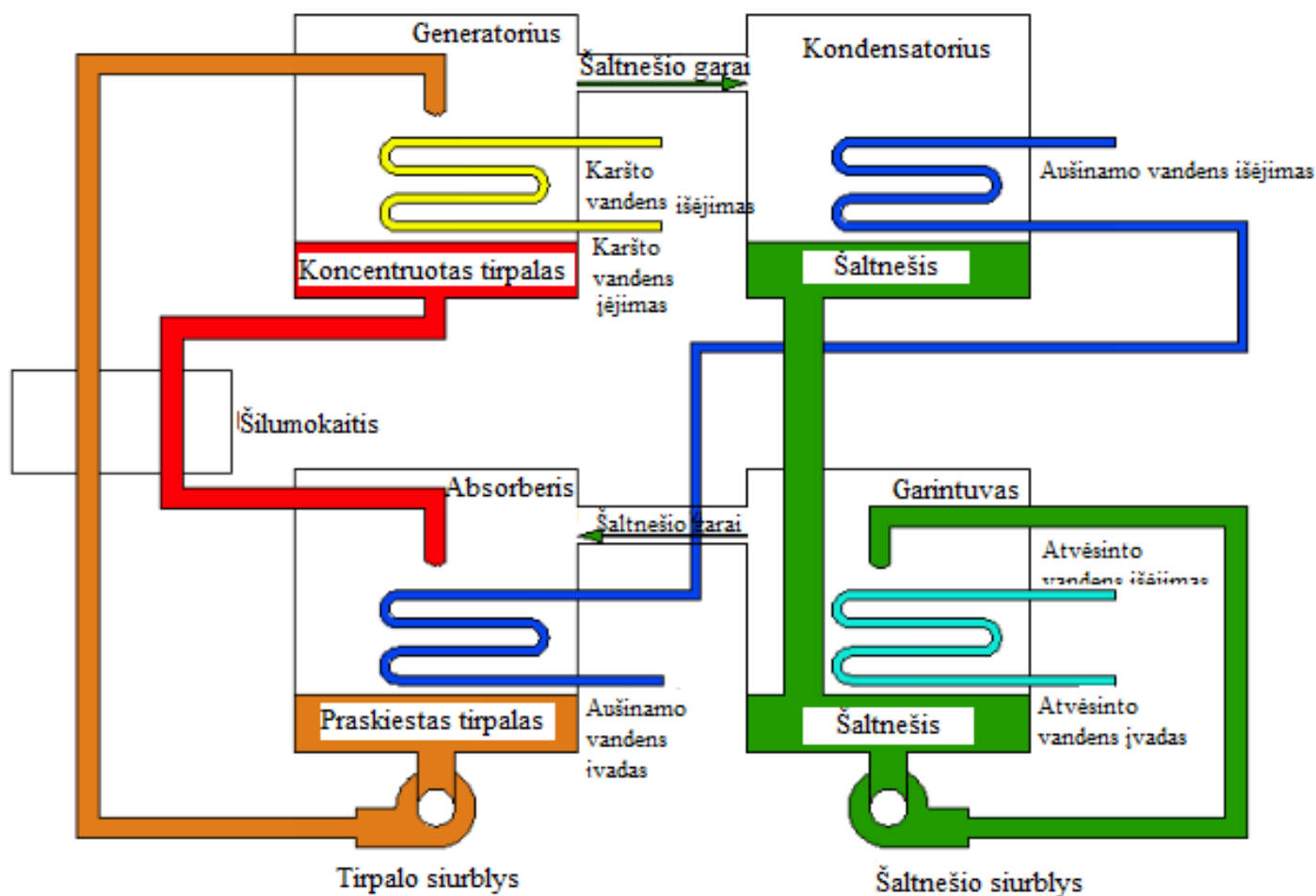
$$Q_{KE} = Q_{D1} * G_{sd} = 504.4 * 11 = 5548.4 kW; \quad (3.22)$$

Šiame skyriuje apžvelgėme katilinėje naudojamų vandens šildymo katilų bei pagrindinio dūmų kondensacinio ekonomizaizerio techninius parametrus ir veikimo technologiją. Įmonėje buvo renkame šildymo sezono metu fiksuotos vidutinės temperatūros, išanalizavome ir grafiškai pateikėme vidutinę šildymo sezono temperatūrą nuo 1984 metų šildymo sezono iki paskutinio 2022 metų šildymo sezono, pateikėme paskutinių aštuonerių šildymo sezonų vidutines mėnesio temperatūras, nustatėme, kad šalčiausias mėnuo buvo vasaris ir pateikėme paskutinių penkerių šildymo sezonų vasario mėnesio kiekvienos vidutines temperatūras. Turėdami biokuro sudėties elementus paskaičiavome žemutinę šiluminę vertę ir palyginome su nepriklausomos tyrimų laboratorijos gautais duomenimis, kurie skyrėsi $32 \frac{kJ}{kg}$, toliau su gautais duomenimis paskaičiavome teoriškai maksimalią šiluminę galią kuri gali būti išgauta kondensaciniame ekonomizaizeryje - 5548.4 kW.

4. Energetinė analizė

4.1. Absorbcinis šilumos siurblys biokuro katilinėje

AŠS sudaro garintuvą, absorberį, kondensatorių, generatorių, tirpalo šilumokaitį, absorberio šilumokaitį, aušinimo skysčio/tirpalo siurblius, prapūtimo siurblys ir valdymo įrangą. AŠS veikia taip, kai esant vakuumui aušinimo skystis užverda žemoje temperatūroje. Tokiu būdu šilumos šaltinis (atliekinė šiluma iš dūmų), kuris turi būti ataušinamas, cirkuliuoja garintuvo vamzdžiuose. Aušinimo skystis paskirstymo vamzdeliais patenka ant garintuvo vamzdžių. O patekęs išgaruoja žemoje temperatūroje. Aušinimo skysčio cirkuliacijai per garintuvo kontūrą, siekiant pagerinti šilumos perdavimo procesą naudojamas aušinimo skysčio siurblys. 15 paveikslėlyje pateikėme supaprastintą AŠS schema. Siekiant, kad aušinimo procesas vyktų pastoviai ir be pertraukų, garai, kurie susidaro garintuvo kontūre turi būti pašalinti iš sistemos. Skysčio garams absorbuoti, absorberio kontūre naudojamas ličio bromido tirpalas. Vykstant šiam procesui, ličio bromidas praskiedžiamas ir dėl to sumažėja jo absorbcijos pajėgumas. Tirpalo siurbliai perduoda šį tirpalą į generatorių, tada vamzdžiais tekantis karštas vanduo šildo praskiestą ličio bromido tirpalą ir pasiekia virimo temperatūrą. Verdant aušinimo skysčiui, padidėja ličio bromido koncentracija. Aušinimo skysčio garai, kurie išsiskyrė generatoriaus korpuso pusėje, patenka į kondensatorių, kuriame atvėsunami sugrįžta į skystą būseną. Aušinimo skystis grįžta į garintuvą ir pradeda naują ciklą.



15 pav. Absorbcinio šilumos siurblio schema [39].

Pagrindiniai absorbcinio šilumos siurblio komponentai:

- Garintuvas - Sukondensuotas vanduo iš kondensatoriaus garintuve yra garinamas dėl labai žemo slėgio (0,08 – 0,02 bar) naudojant žemos temperatūros šilumos šaltinį, kuris galėtų būti iš šilumos tinklų ar DKE tiekiamas šaltas vanduo, kuris garintuve būtų dar giliau ataušinamas. Garavimo temperatūra turėtų būti apie 20-40 °C;
- Absorberis - Jame atėjęs garas yra absorbuojamas didelės koncentracijos tirpalu egzoterminėje reakcijoje. Silpnos koncentracijos tirpalas turės didesnę virimo temperatūrą nei vandens esant tam pačiam slėgiui, dėl to tirpalas kondensuosis, o šio proceso metu susidariusi šiluma perduodama į centralizuoto šilumos tiekimo (toliau – CŠT) termofikacinį vandenį, kuris tiekiamas iš DKE į katilą;
- Generatorius – arba dar vadinamas distiliatorius, jame atliekamas darbas, kai aukštų parametrų karštas vanduo ($T = 90 - 160$ °C), žemų parametrų garas (iki 300 °C), arba atliekinė išmetamų degimo produktų šiluma (iki 300 °C) šilumokaityje garina tirpalo lagesnįjį komponentą – vandenį;
- Kondensatorius - jame vandens garas sukondensuojamas, o šiluma, kuri susidaro kondensacijos proceso metu, perduodama į šilumos tinklus – iš absorberio tiekiamam termofikaciniam vandeniui. Susikondensavęs vanduo grąžinamas į garintuvą.

Absorbcinis šilumos siurblys, tai sudėtingas įrenginys, turintis ne vieną šilumos ir masės mainų įrenginį. Absorbcinis šilumos siurblys neturi kompresoriaus – pagrindinio įprastinių siurblių įrenginio. Aukšto slėgio garai čia gaunami vykdant kelių procesų kombinaciją – lagesniojo komponento garų absorbciją skysčiu, šio skysčio suspaudimą siurblio pagalba ir gauto mišinio garinimu (desorbicija), panaudojant aukštesnės temperatūros šilumą. Absorbcinio šilumos siurblio sistemoje galime sutikti papildomų šilumos ir masės mainų aparatų, kurių paskirtis didinti šilumos siurblio efektyvumą. Papildomi aparatai fiziškai didina mainų plotą, taip gerindami rektifikacijos bei absorbcijos procesus, tačiau kartu sukelia papildomus hidraulinius nuostolius sistemoje. Kitas svarbus faktorius šilumos siurblio efektyvumo didinime, tai kuo grynesnis lagesniojo komponento garų gavimas garo generatoriuje. Kuo grynesni lagesniojo komponento garai, tuo efektyvesnis šilumos gavimas kondensatoriuje ir atliekinės šilumos sunaudojimas garintuve.[39]

Biokuro katilinės degina šviežios medienos drožles, turinčias daug drėgmės, todėl ekonomaizeriai duoda apčiuopiamą ekonominį efektą. Kita vertus, šalinami į aplinką dūmai dar turi antra tiek žemo potencialo šilumos, kurios negalima atgauti tiesiogiai šildant grįžtantį iš tinklų vandenį. Ją reikia transformuoti į aukštesnės temperatūros šilumą pasitelkiant šilumos siurblio technologiją. Minėtas žemos temperatūros šilumos potencialas tarnautų kaip šilumos šaltinis šilumos siurblio darbo agento išgarinimui prieš padidinant šio agento slėgį ir temperatūrą iki tinkamo minėtam vandeniui pašildyti [39]

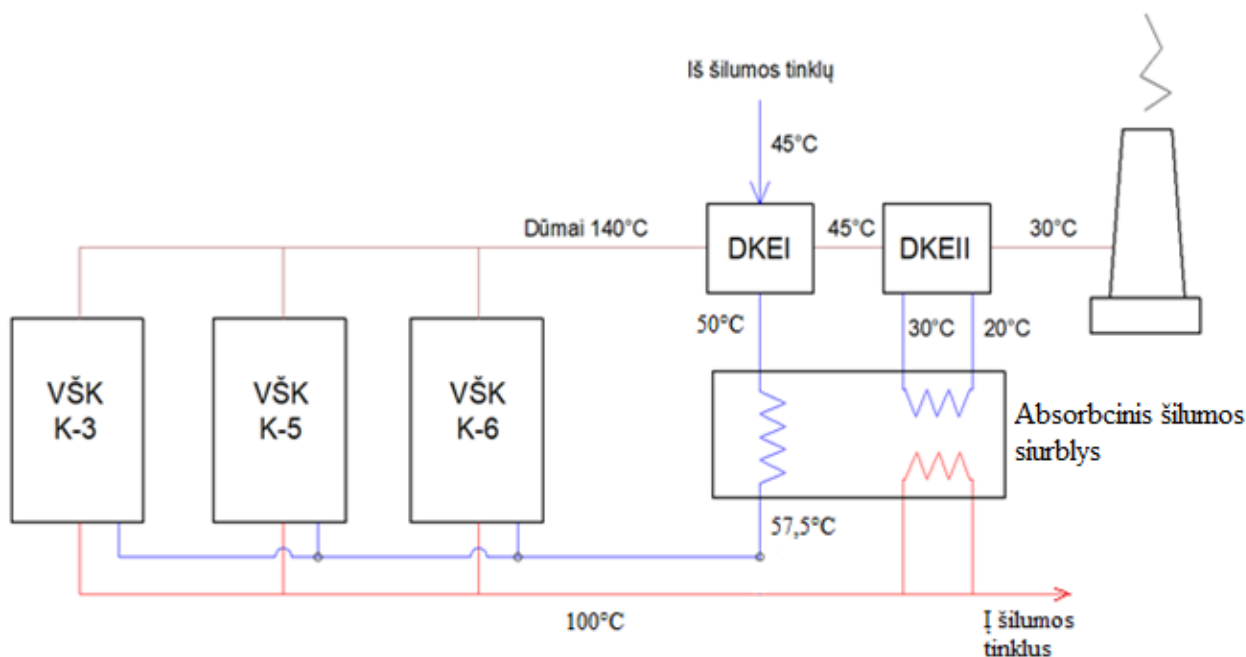
Absorbcinio šilumos siurblio panaudojimas biokuro jėgainėse nėra dažnas reiškinys ir tai nėra vien dėl šio siurblio sudėtingo veikimo principo ir žemo šilumos transformacijos koeficiento. Tai labiau susiję su jo pačio kaina ir eksploatacinėmis išlaidomis. Absorbcinio šilumos siurblio integravimas į biokuro jėgainę gali turėti ne vieną variaciją, kiekviena iš jų gali turėti savo plusų ir minusų priklausomai nuo pačios jėgainės tipo, kuro specifikos ir kitų naudojamų įrenginių. Norint pagrįsti ar paneigti tokio šilumos siurblio ekonominę naudą, reikia atlikti kiekvienam konkrečiam atvejui skaičiavimus ir analizę. Kalbant apie atsipirkimo laiką, dažnu atveju jis bus ilgesnis už šilumos

siurblio darbo resursą. AŠS atsipirkimą ilgina jo pačio kaina, kuri skaičiuojama apie 500 €/kW. Taip pat reikalingas nerūdijančio plieno šilumokaitis, kurio pagalba būtų paimama žemo potencialo šiluma iš dūmų, šio šilumokaičio kaina taip pat apie 320 €/kW.

Absorbcinis šilumos siurblys (AŠS) labiau tinkamas tuo atveju, kai bus nauojamas katilinėje, kuri negamina elektros energijos, AŠS reikalingas žymiai mažesni elektros energijos kiekis lyginant su KŠS. Šioje dalyje nagrinėjamos absorbcinio šilumos siurblio (AŠS) integravimo, į veikiančią biokuro 20,5 MW galios katilinę, galimybės ir schemas. Kitos sąlygos ir duomenys apie katilinę:

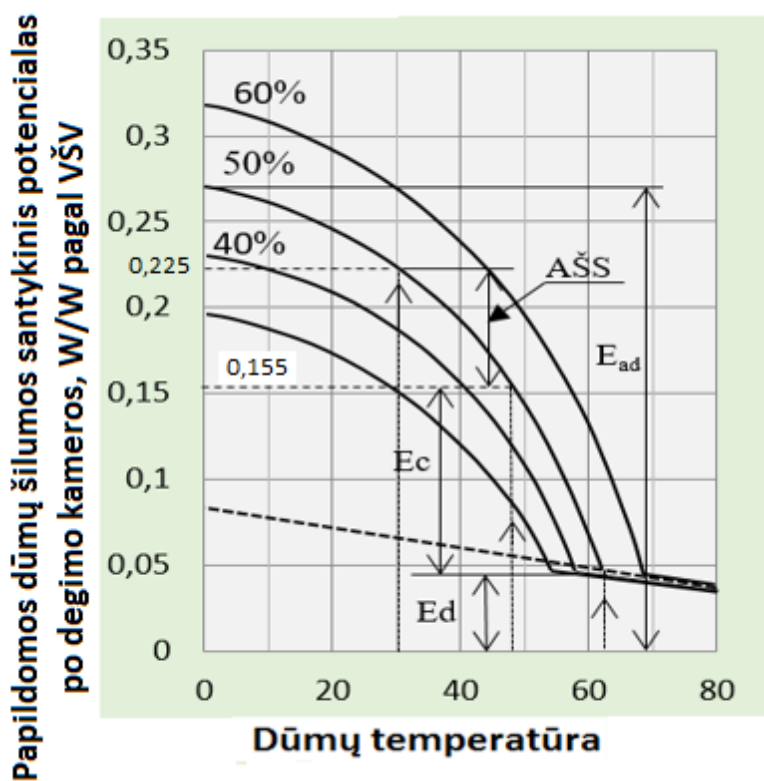
- katilinėje kurui naudojamos 50% drėgnumo medienos biokuras;
- katilinėje dalis žemo potencialo šilumos jau yra atgaunama DKE pagalba, dėl to katilinės šilumos išnaudojimo koeficientas yra $\eta_u=1,0$ (ŽŠV);
- AŠS naudoja to paties biokuro (medžio drožlių) šiluminę energiją, o jo transformacijos koeficientas (COP) yra 1,79[39], kai dūmų temperatūra pažeminama nuo 46°C iki 30°C;
- priimame, kad vidutiniškai dūmai iš katilinės ekonomizaizerį pasiekia 140°C, o iš ekonomizaizerio vidutiniškai išeina 46°C, esant vidutinei šildymo sezono lauko temperatūrai.
- Atliekant analizę šilumos nuostolių nevertiname.

AŠS integravimo katilinėje schema pateikta 16 paveikslėlyje, šioje schemoje matome, kad vanduo į AŠS tiekiamas po ekonomizaizerio, o dūmai papildomai ataušinami iki 30°C papildomame šilumokaityje, kuriame vėsus 20°C vanduo tiekiamas iš AŠS. Pasitelkdami 17 paveikslėlyje pateiktas grafines priklausomybes, galime rasti, koks yra papildomas šilumos potencialas, kai dūmai yra ataušinami iki 30°C.



16 pav. Biokuro katilinės schema su absorbciniu šilumos siurbliu.

Paprastai biokuro katilinių efektyvumas (šilumos išnaudojimo koeficientas η_u) yra artimas vienetui, jei naudojamas kondensacinis ekonomizeris. Vadinasi, bendri šilumos nuostoliai sudaro 21% nuo ŽŠV, jei kuro drėgnumas yra 50% (pasitelkdami 18 pav. grafiką, randame, kad ŽŠV/VŠV yra 0,823, taigi $1/0,823=1,21$, arba 21% virš ŽŠV potencialo minėto drėgnumo medienai). Žinome, kad skirtumą tarp kuro VŠV ir ŽŠV sudaro vien slaptoji, arba vandens garo dūmuose kondensacijos šiluma, kai dūmus ataušiname iki aplinkos temperatūros. Realiai dūmų jutiminė ir slaptoji šiluma jėgainėje persidengia ir vieną nuo kitos atskirti galima pasitelkiant skaičiavimus ar grafines priklausomybes. Viena iš tokių priklausomybių pateikta 17 paveikslėlyje, padaryta remiantis skaičiavimais su sąlyga, kad dūmų temperatūra po degimo kameros yra 140°C, o aplinkos oras yra 0°C.

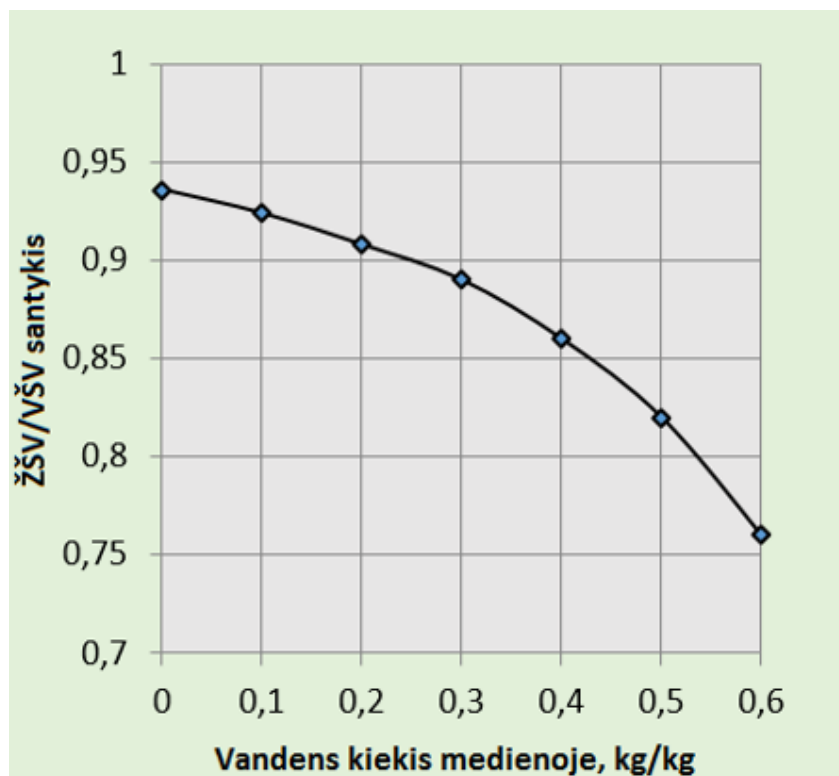


17 pav. Papildomos dūmų šilumos santykinis potencialas, kai po degimo kameros dūmų temperatūra yra 140°C[41]

Iš grafiko matome, kad papildomos šilumos gauname tiek dėl slaptosios tiek ir dėl jutiminės dūmų šilumos: juk dūmai ataušinami ne iki 0°C, o iki 140°C, o esant ekonomizeriui iki 46°C. Sausasis E_d ir kondensacinis E_c ekonomizeriai kartu atgauna 15,5% šilumos pagal VŠV, arba 19% - pagal ŽŠV ($0,155/0,823=0,19$). Nuostoliai per kaminą sudaro 0,27 (E_{ad} atkarpa minus 0,155, taigi gauname 11,5 nuo VŠV, o skaičiuojant ŽŠV atžvilgiu tai sudaro 14%). Kadangi katilinės $\eta_u=1,0$, šį atskaitos tašką (arba lygį) grafike nustatome brėždami punktyrinę liniją pratęsiant jutiminės šilumos tiesę 50% drėgnumo medienai.

Matome, kad punktyrinė linija ordinačių ašyje atkerta 0,08 papildomos šilumos potencialą, kas reiškia tokio drėgnumo kuro ŽŠV lygį. Kartu tai reiškia katilinės pagaminamos šilumos lygį, nes $\eta_u=1,0$ rodiklis randamas būtent pagal ŽŠV. Tuo atveju, kai dūmai į jėgainės kaminą išeina 48°C, papildomai ekonomizeriuose atgauname 7,5% pagal VŠV ($0,155-0,08=0,075$) šilumos ir tai yra šiluma, viršijanti ŽŠV lygį. Skaičiuojant šį procentą ŽŠV atžvilgiu ($0,075/0,823=0,091$), gauname, kad be nuostolių per kaminą, jėgainėje dar turime 9,1% šilumos nuostolių, skaičiuojant nuo ŽŠV. Tai

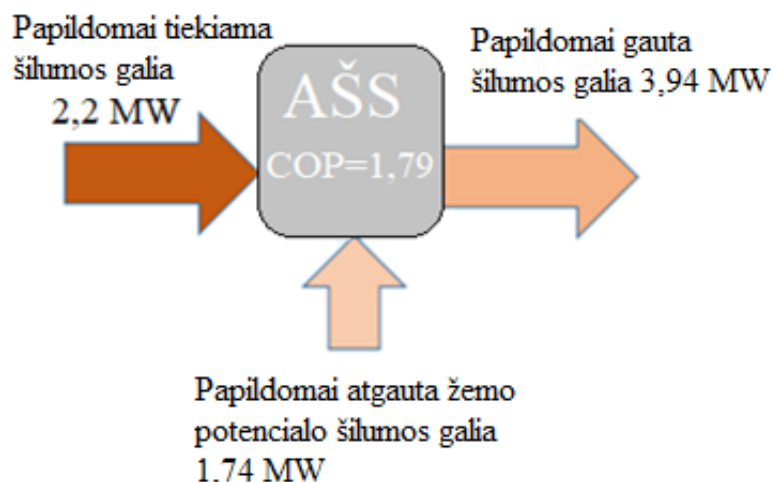
suminiai nuostoliai per degimo kameros sienas, nuostoliai su šalinamais pelenais, taip pat dėl nepilno sudegimo. Šiuos nuostolius papildo tai, kad žiemą kuro temperatūra yra žemiau nulio, todėl vanduo medienoje yra ledo būsenos. Be to, dalis drėgnų medžio drožlių, laikomų krūvoje, šiluminės vertės prarandama dėl biocheminių procesų, kuriuos sukelia grybienos ar kitos bakterijos medienos kapiliaruose. Vyksta gana intensyvus medienos puvimo procesas, kas sumažina jos šiluminę vertę.



18 pav. Medienos kuro ŽŠV/VŠV priklausomai nuo vandens kiekio[41]

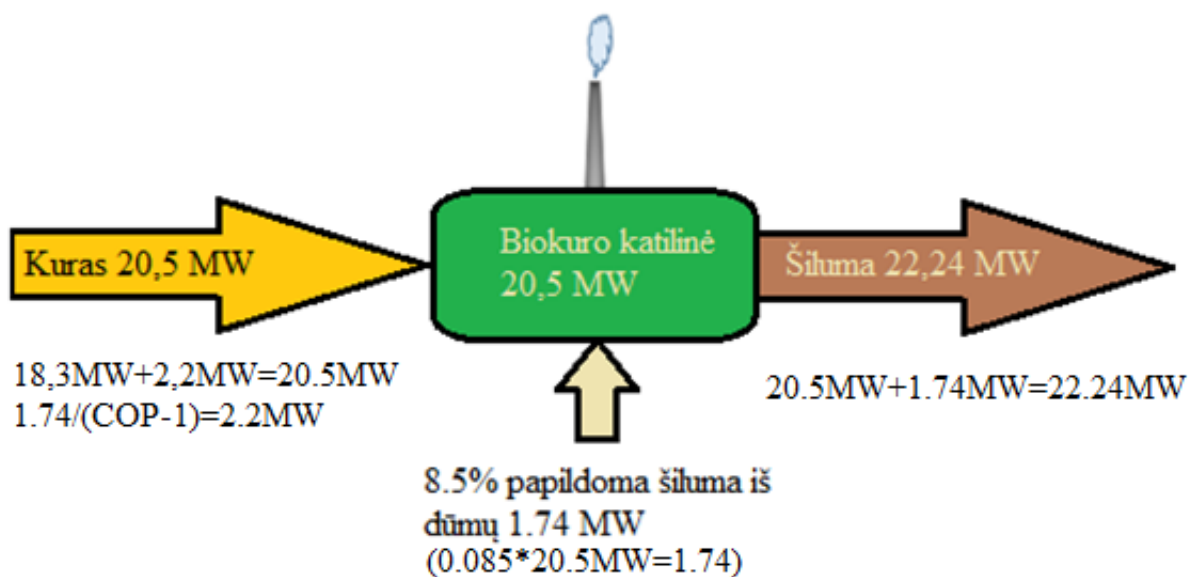
Tokiu būdu, absorbcinis šilumos siurblys gali padidinti medienos (50% drėgnumo) šilumos išnaudojimą 0,07% ($0,225 - 0,155 = 0,07$) pagal VŠV arba 8,5%, pagal ŽŠV. Jei jėgainės šiluminė galia yra 20,5MW, papildomai iš dūmų paimama 1,74MW šilumos, kuri transformuojama į aukštesnės temperatūros šilumą. Jei transformavimo koeficientas (COP) yra 1,79, katilinei tiekiamos šilumos galia išauga 2,2MW, tai yra iki 22,7MW, o gaminamos šilumos galia padidėja 3,94MW, iki 24,44MW. Tačiau modernizuojant katilinę, jos suvartojamos šilumos galia negali padidėti, todėl priimama, kad ši galia nesikeičia. Tai reiškia, kad pirminę suvartojamą šiluminę galią, šiuo atveju 20,5MW, sudaro dvi dedamosios. Viena iš jų skirta absorbciniam šilumos siurbliui (2,2MW), antroji – likusi dalis 18,3MW, ($20,5 - 2,2 = 18,3$ MW). Absorbcinio šilumos siurblio šiluminis balansas pateiktas 19 paveikslėlyje.

Absorbcinio šilumos siurblio šiluminis balansas



19 pav. Absorbcinio šilumos siurblio šiluminis balansas

Absorbcinis šilumos siurblys naudingos šilumos pagamina 3,94MW ($2,2+1,74=3,94$ MW). Katilinės sunaudojamos šilumos pagrindinė dalis (18,3MW) virsta naudinga šildymui šiluma tuo pačiu efektyvumu, kaip ir be AŠS. Taigi iš šios šilumos pagaminame tokį patį kiekį šiluminės energijos, kaip ir įprastinės katilinės atveju, nes $\eta_u=1,0$. Tuo tarpu absorbciniame šilumos siurblyje šiluminė energija transformuojama 79 procentais efektyviau. Taigi suvartojant tą patį šilumos kiekį, šilumos gauname daugiau: vietoj sunaudojamos 2,2MW galios, gauname 3,94MW. Todėl visos jėgainės gaminamos šilumos galia išauga iki 22,24MW. Katilinės energijos balansas su AŠS pateikiama 20 paveikslėlyje.



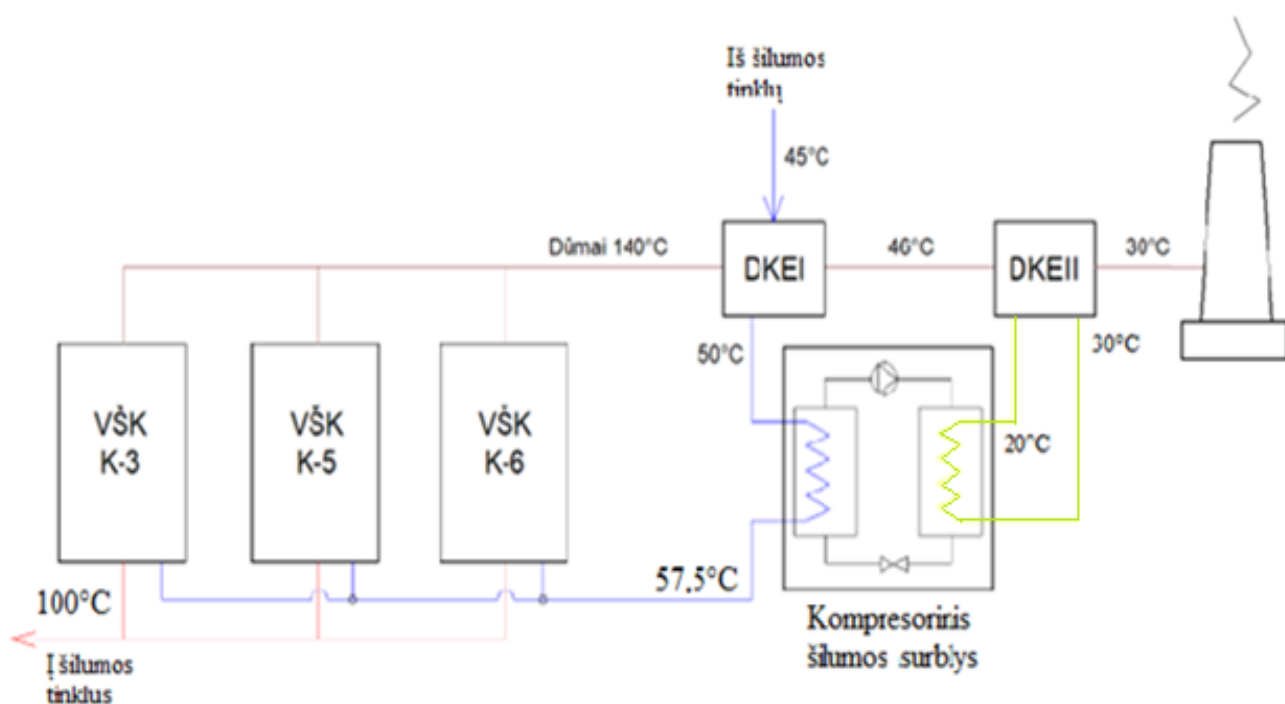
20 pav. Katilinės su absorbciniu šilumos siurbliu šiluminis balansas

4.2. Kompresorinis šilumos siurblys biokuro katilinėje

Kompresorinio šilumos siurblio privalumai:

- Ganėtinai paprasta KŠS sistema, dėl to KŠS galima sumontuoti ir savomis jėgomis;
- KŠS transformacijos koeficientas yra aukštesnis net jei ir įvertinsime šilumos/elektros konversijos santykį (šiuo metu ES jis yra artimas 2);
- kompresorių gali sukurti elektros variklis (EV), elektros varikliui reikalingai energijai pagaminti ateityje planuosime įsirengti saulės elektrinę arba vėjo jėgainę ;
- naudojant atsinaujančios energijos elektrines, elektros energija gaminama paliekant minimaliai taršų pėdsaką.

Tam, kad objektyviau pavyktų palyginti abiejų tipų šilumos siurblių variantai, priimame, kad ir šiuo atveju į kaminą nukreipiami 30°C temperatūros dūmai, kas reiškia, kad pirminio energijos šaltinio (biokuro degimo šilumos) išnaudojimas yra vienodas, nors kompresorinio šilumos siurblio (KŠS) atveju dūmus naudingiau atšaušinti iki žemesnės temperatūros. Taip pat priimame tuos pačius katilinės parametrus – jos galią, dūmų temperatūrą prieš ekonomizerį, kuro drėgnumą ir kitus parametrus. 21 paveikslėlyje pateikta principinė katilinės schema su integruotu kompresoriniu šilumos siurbliu. Atliekant energetinę kompresorinio šilumos siurblio, patiriamų šilumos nuostolių nevertinsime.



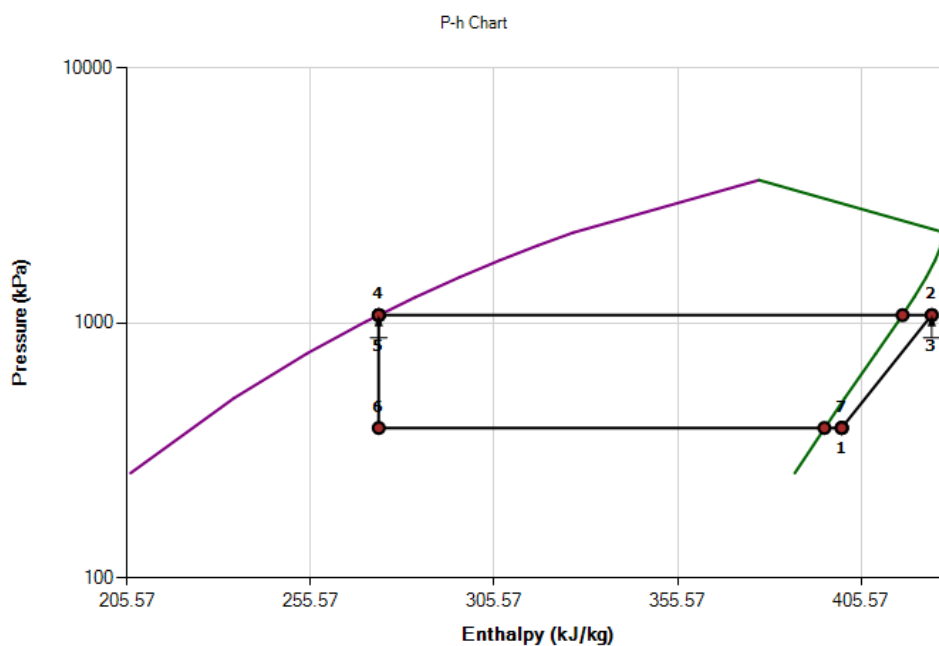
21 pav. Biokuro katilės schema, kurioje integruotas kompresorinis šilumos siurblys su elektros varikliu

KŠS techniniams parametrų gauti buvo panaudota programa – „Genetron Properties V 1.4.1.“ KŠS darbo agentas buvo pasirinktas išanalizavus 6 lentelėje pateiktus parematrais. Renkamasi buvo iš trijų šildymo agentų: R717, R134a, R1234ze.

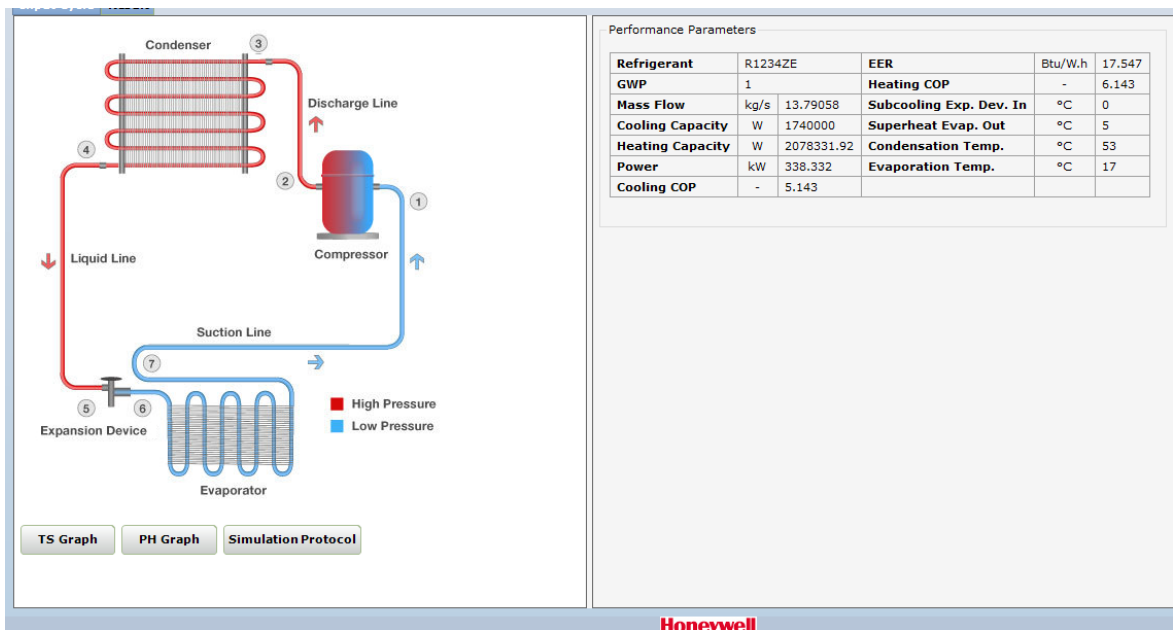
6 lentelė. Šildymo agentų palyginimas

Parametras	R717	R134a	R1234ze
$COP_{\text{šildymo}}$	6,446	6,126	6,143
$Q_{\text{kondensatoriaus}}$	2059,5	2079,4	2078,3
$W_{\text{kompresoriaus}}$	319,5	339,4	338,3
GWP(Globalinio atšilimo potencialas)	0	1430	7

Iš lentelėje pateiktų techninių duomenų matome, kad šildymo agentas R717 turi žemiausią globalinio atšilimo potencialą, bet yra labai sprogi medžiaga ir dėl to yra netinkama. R134a agentas turi aukštus parametrus, bet turi aukštą globalinio atšilimo potencialą, dėl ko yra netinkamas. Pasirinktas naujos kartos, žemą visuotinio atšilimo koeficientą turintis irhidrofluoroolefinams (HFO) priklausantis R1234ze. Pasirinkimas atliktas dėl to, kad pasirinkto šildymo agento daroma žala atmosferai yra mažesnė ir jo atitikimo naujausiems Europiniams reglamentams [18] bei dėl realaus šilumos siurblių gamintojų šio agento taikymo [22]. Kompresorinio šilumos siurblio su šaltnešiu R1234ze ciklo charakteristikos gautos su pradiniais duomenimis: izoentropinis kompresoriaus koeficientas – 0,8; tūrinis kompresoriaus suslėgimo koeficientas – 0,95; šiluminė galia suteikiama KŠS garintuvui – 0,338 MW; išgarinimo temperatūra garintuve – 17 °C, kuri priimta 3°C mažiau už aušalo ištekėjimo iš KŠS temperatūrą; perkaitinimas garintuve – 5 °C temperatūros pokytis; kondensacijos temperatūra – 50 °C; peraušinimas kondensatoriuje – 3 °C temperatūros pokytis. Atlikome KŠS parametru, su pateiktais duomenimis, skaičiavimą, gavome R1234ze šilumos siurblio ciklo diagrama, slėgio ir entalpijos ašyse, ją pavaizdavome 22 paveikslėlyje, o 23 paveikslėlyje pateikėme šilumos transformacijos koeficiento skaičiavimai. KŠS atveju turime tokią pačią atliekinės šilumos iš dūmų galią – 1,74MW. Tačiau transformacijos koeficientas (COP) bus kitas, ne jis skaičiuojamas ne nuo suvartojamos šiluminės galios, o nuo mechaninės elektros variklio galios.

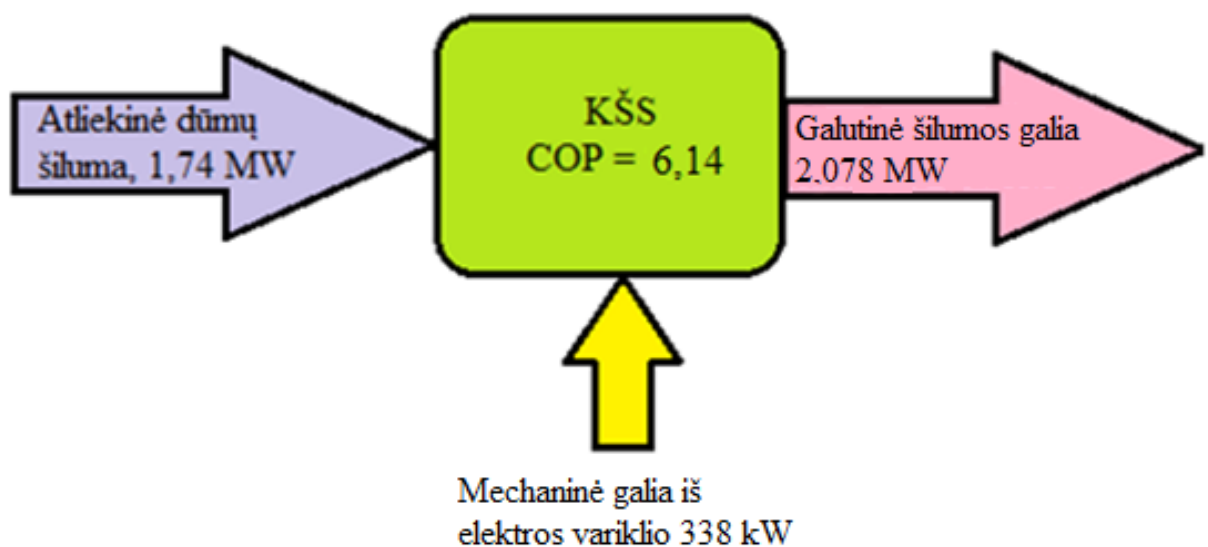


22 pav. KŠS ciklo $p-h$ diagrama ir efektyvumas



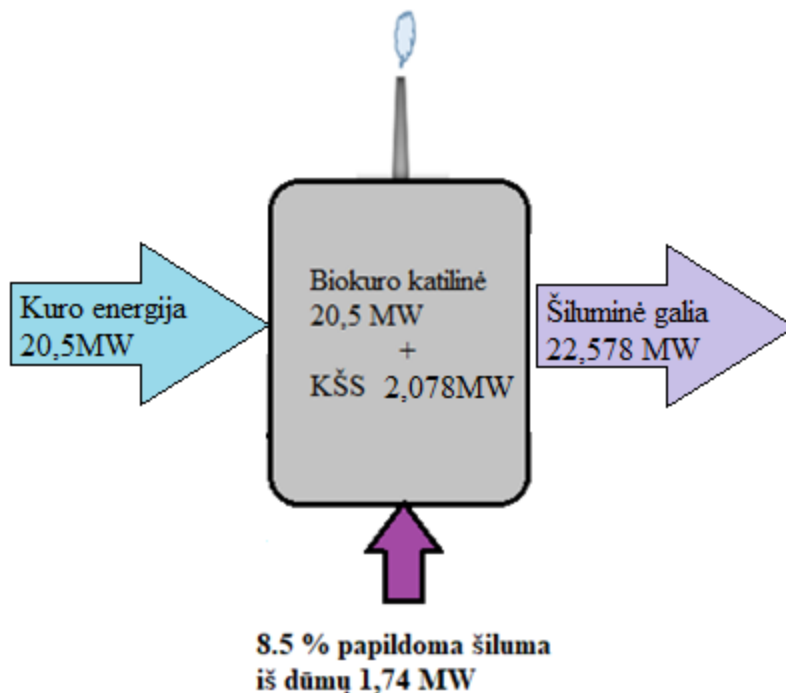
23 pav. Skaičiavimo rezultatai su agentu R1234ze

Aukštą KŠS transformacijos koeficientą lemia palyginti nedidelis temperatūrų skirtumas tarp kondensacijos ir virimo temperatūrų. Jei lygintume su AŠS efektyvumu (1,79), kuris elektros atžvilgiu būtų 3,3 (ES elektra gaminama suvartojant vidutiniškai 2 kartus daugiau šiluminės energijos), gauname, kad KŠS 2,7 karto efektyviau transformuoja žemo potencialo šilumą į aukštesniojo (50°C). Aukštas KŠS efektyvumas reiškia, kad suvartojama mechaninė galia kompresoriui sukti yra nedidelė – 338kW, KŠS energijos balansas pavaizduotas 24 paveikslėlyje. Kartu tai reiškia, kad gaminamos šilumos galia yra mažesnė palyginus su AŠS. Be to, mechaninė galia gaunama naudojant elektros energiją, kurią galima gauti iš pilnai atsinaujinančių elektros energijos išteklių, tokių kaip saulės ar vėjo jėgainės. Šiuo atveju elektros energiją pirkime iš elektros tiekėjo.



24 pav. Kompresorinio šilumos siurblio energijos balansas

Mechaninės energijos galia yra 338kW, šiluminio siurblio sukuriama šiluma (2,078MW), papildomai gaunama 0,338MW šilumos. Todėl viso biokuro katilinėje gaunama 22,578MW šiluminės galios (25 pav.).



25 pav. Biokuro katilinės su KŠS galios balanso schema

Atlikus absorbcinio ir kompresorinio šilumos siurblių technologijų analizę, pamatėme, kad AŠS veikimo principas pagrįstas papildomos šilumos atgavimu, naudojant papildomą energiją gaunamą jau iš turimų šilumos šaltinių, tokių kaip vandens šildymo katilai. KŠS veikimo principas pagrįstas papildomos šilumos atgavimu, naudojant išorinį energijos šaltinį, kuris gali būti elektros ar vidaus degimo variklis. Kaip šilumos siurblio agentą pasirinkome R1234ze, dėl dažnai pasitaikančio šio šilumnešio naudojamo Vokietijos gamintojų tiekiamoje produkcijoje. Esant konkrečiai 20,5MW galios katilinei, galime tikėtis po pagrindinio dūmų kondensacinio ekonomizerio atgauti papildomai 1,5% šilumos.

5. Ekonominė analizė

Projektuojant absorbcinį ar kompresorinį siurblių būtina atlikti ne tik energetinį įvertinimą aplinkosauginiu atžvilgiu, bet reikėtų atlikti ir ekonominį vertinimą įmonės atžvilgiu ir nustatyti ar milijoninės investicijos atneš ilgametę nauda ar tik liks didelis indėlis aplinkosaugos gerinimui.

Atliekant ekonominę projekto analizę reikia įvertinti šiuo metu vyraujančia pačio siurblio kainą, pastatymo ir eksploatacijos kaštus ir ypač šiuo metu svarbų aspektą elektros išlaidas, patartina paskaičiuoti elektros pabrangimą. Esant tokiai nestabiliai elektros rinkai labai sunku suplanuoti elektros kainos ateityje, todėl planuojant elektros pabrangimo procentą, pravartu jį pasirinkti į didesnę pusę.

Prieš atliekant skaičiavimus reikėtų nuspręsti koks bus šilumos siurblių naudojimo laikas metų laikotarpyje. Nutarsime, kad šilumos siurblys dirbs nepilną šildymo sezoną, tai reiškia tol kol bus pakankamas galingumas. Šiuo metu šildymo sezono dažniausiai trunka apie 6,5 mėnesių, o didesne galia katilinė pradirba apie 5,5 mėnesio, tai vidutiniškai sudarytų 4000 valandų per metus. Pagal šiuos nustatytus duomenis galėsime atlikti tolimesnius skaičiavimus.

- Šilumos siurblių projektinis darbo laiko per metus: 4000 valandų.
- Vidutinis elektrinės galios poreikis AŠS skaičiuojamas apie 1,5% [39] nuo viso siurblio galingumo, $1,74\text{MW} \cdot 0,015 = 26,1 \text{ kW}$, o sunaudojamas elektros kiekis apskaičiuojamas padauginus iš darbo valandų: $26,1 \text{ kW} \cdot 4000\text{h} = 104400 \text{ kWh}$ arba 104.4 MWh.
- Tiek AŠS tiek KŠS pastoviosios sąnaudos skaičiuojamos apie 3% nuo pradinės investicijos dydžio.
- AŠS siurblio įrengimo kaina 0,82MEur/MW[41]
- KŠS siurblio įrengimo kaina 0,54MEur/MW[41]
- Šilumos kainą paimame iš UAB „Šilutės šilumos tinklai“ internetinio puslapio - 0,06 Eur/kWh arba 60 Eur/MWh.
- Elektros kaina - 0,25 EUR/kWh, ši kaina paimta iš katilinės gaunamų sąskaitų už elektrą, palyginimui paimsime brangiausiai kainuojančia elektros tiekėjo kainą savaitgaliais ir švenčių dienomis, kuri bus 0,6 EUR/kWh ir su šia kaina paskaičiuosime šilumos siurblių išlaidas ir atsipirkimą.

5.1. AŠS gautos pajamos

Absorbcinis šilumos siurblys naudingos šilumos energijos pagamina tiek kiek iš atliekinės energijos šaltinio pasisavina antrinis kondensacinis dūmų ekonomizeris, šiuo atveju tai bus 1,74 MW. Visa pagaminta šilumos energija gausime sudauginę galią iš darbo valandų skaičiaus: $1,74\text{MW} \cdot 4000 \text{ val.} = 6960 \text{ MWh}$. Šilumos energijos kainą paimsime iš Šilutės šilumos tinklų internetinio tinklapio kuriame skelbiama kaina suderinta su valstybės energetikos reguliavimo tarnyba. Kaina bus 0,06 EUR/kWh arba 60EUR/MWh.

$$\text{AŠS}_{\text{pajamos}} = \text{AŠS}_{\text{atgauta šiluma}} \cdot \text{Šilumos kaina} = 6960\text{MWh} \cdot 60\text{EUR/MWh} = 417'600\text{EUR}$$

Per numatomą absorbcinio šilumos siurblio metinį darbo laiką, jo gautas pelnas bus 417'600 EUR.

5.2. KŠS gautos pajamos

Kompresorinis šilumos siurblys naudingos šilumos gamyba atsispindi kondensatoriaus našume. Paskaičiavome, kad kondensatoriaus našumas yra 2078,3 kW. Suminę pagaminta šilumos energija

gausime sudauginę galią iš darbo valandų skaičiaus: $2,0783\text{MW} \cdot 4000 \text{ val.} = 8313,2 \text{ MWh}$. Šilumos energijos kainą paimsime iš Šilutės šilumos tinklų internetinio tinklapio kuriame skelbiama kaina suderinta su valstybės energetikos reguliavimo tarnyba. Kaina bus 0,06 EUR/kWh arba 60EUR/MWh.

$$K\check{S}S_{\text{ pajamos}} = K\check{S}S_{\text{ atgauta šiluma}} \cdot \check{S}\text{ilumos kaina} = 8313,2\text{MWh} \cdot 60\text{EUR/MWh} = 498'792 \text{ EUR}$$

Per numatomą kompresorinio šilumos siurblio darbo laiką metuose, jo gautas metinis pelnas bus 498'792 EUR

5.3. AŠS išlaidos

Absorbcinio šilumos siurblio išlaidas sudaro įrangos ir jos įrengimo su priklausiniais kaina, eksploatacinės išlaidos susideda iš kintamų ir pastovių išlaidų, papildomai prisideda elektros išlaidos šilumokaitis pareikalaus elektros suvartojimo dūmsiurbiams, ventiliatoriams, vandens siurbliams, kitai įrangai. Kintamosios sąnaudos AŠS eksploatacijai priimamos 1 EUR už MWh [39].

$$A\check{S}S_{\text{ išlaidos}} = A\check{S}S_{\text{ pastoviosios sąnaudos}} + A\check{S}S_{\text{ kintamos sąnaudos}} + A\check{S}S_{\text{ el. išlaidos}}$$

$$A\check{S}S_{\text{ pastoviosios sąnaudos}} = 1426800 \cdot 0.03 = 42'804 \text{ EUR};$$

$$A\check{S}S_{\text{ kintamos sąnaudos}} = 6960\text{MWh} \cdot 1\text{EUR} = 6'960 \text{ EUR};$$

$$A\check{S}S_{\text{ el. išlaidos}} = 104400\text{kWh} \cdot 0.25\text{EUR} = 26'100 \text{ EUR}$$

$$A\check{S}S_{\text{ išlaidos}} = 42804 + 6'960 + 26'100 = 75'864\text{EUR}$$

Atlikus skaičiavimus gavome, AŠS vidutinės metinės išlaidos bus 75'864 EUR.

5.4. KŠS išlaidos

Kompresorinio šilumos siurblio eksploatacinės išlaidos susideda iš pastoviųjų eksploatacinių sąnaudų ir kintamų eksploatacinių sąnaudų. Siurblio įrengimui priimsime, kad kaina lygi 740'000EUR vienam šilumokaičio galios MW.

$$K\check{S}S_{\text{ išlaidos}} = K\check{S}S_{\text{ pastoviosios sąnaudos}} + K\check{S}S_{\text{ kintamos sąnaudos}} + K\check{S}S_{\text{ el. išlaidos}}$$

$$K\check{S}S_{\text{ pastoviosios sąnaudos}} = 1'287'600\text{EUR} \cdot 0.03 = 38'628 \text{ EUR};$$

$$K\check{S}S_{\text{ kintamos sąnaudos}} = 8313,2 \text{ MWh} \cdot 2.2\text{EUR} = 18'289 \text{ EUR};$$

$$K\check{S}S_{\text{ el. išlaidos}} = 338,3\text{kW} \cdot 4000\text{h} \cdot 0,6\text{EUR/kWh} = 338'300 \text{ EUR}$$

$$K\check{S}S_{\text{ išlaidos}} = 28'188 + 18'289 + 338'300 = 395'217 \text{ EUR}$$

Atlikus skaičiavimus gavome, KŠS vidutinės metinės išlaidos bus 395'217 EUR.

5.5. Bendra pajamų ir išlaidų analizė

Atlikdami bendrąją pajamų ir išlaidų analizę paskaičiuosime AŠS ir KŠS investicijos atsipirkimo laiką metais, tai padarysime visą investicinę sumą padalinsime iš metinio pelno ir gausime atsipirkimo laiką metais.

Pradėsime nuo absorbcinio šilumos siurblio, investicijos dydžiui nustatyti reikės žinoti antrinio ekonomizerio šiluminę galią, ir AŠS įrengimo kainą, kuri yra 0,82 MEUR/MW, o pelnui

paskaičiuoti reikės iš gautų pajamų atimti patirtas išlaidas. Duomenis pasimisime iš ankščiau atliktų skaičiavimų.

$$A\check{S}S_{investicija}=820'000\text{EUR}\cdot 1,74\text{MW}=1'426'800\text{EUR}.$$

$$A\check{S}S_{pelnas}=A\check{S}S_{pajamos}-A\check{S}S_{išlaidos}=417'600\text{EUR}-120'756\text{EUR}=296'844\text{EUR}.$$

Atsipirkimo laiką paskaičiuosime padalindami siurblio investicinę sumą iš gaunamo metinio pelno ir gausime atsipirkimo laiką metais.

$$A\check{S}S_{atsipirkimo\ laikas}=A\check{S}S_{investicija}/A\check{S}S_{metinis\ pelnas}=1'426'800\text{EUR}/296'844\text{EUR}=4,8\text{ metų}.$$

Atlikę skaičiavimus gauname, kad vidutiniškai absorbcinio šilumos siurblio investicijos atsipirkimo laikas bus 4,8 metų.

Toliau skaičiuosime kompresorinio šilumos siurblio gaunamą metinį pelną, investicijos dydį ir atsipirkimo laiką. Investicijos dydžiui nustatyti reikės žinoti antrinio ekonomizerio šiluminę galią, ir KŠS įrengimo kainą, kuri yra 0,74 MEUR/MW, o pelnui paskaičiuoti reikės iš gautų pajamų atimti patirtas išlaidas. Duomenis pasimisime iš ankščiau atliktų skaičiavimų.

$$K\check{S}S_{investicija}=740'000\text{EUR}\cdot 1,74\text{MW}=1'426'800\text{EUR}$$

$$K\check{S}S_{pelnas}=K\check{S}S_{pajamos}-K\check{S}S_{išlaidos}=498'792\text{EUR}-395'217\text{EUR}=103'575\text{EUR}.$$

Atlikę skaičiavimus gauname, kad vidutiniškai kompresorinio šilumos siurblio investicijos atsipirkimo laikas bus 12,4 metų.

Toliau pateikiame 7 lentelę, kurioje pateiktas AŠS ir KŠS ekonominis palyginimas ir kainų dedamosios. Pagal jas galėsime palyginti, kuris siurblys, kurioje srityje pranašiausias kainos atžvilgiu.

7 lentelė. AŠS ir KŠS ekonominis palyginimas.

Eil. Nr.	Dedamosios pavadinimas	Absorbcinis šilumos siurblys	Kompresorinis šilumos siurblys
1	Darbo valandos per metus	4000	4000
2	Investicija, EUR	1'426'800	1'287'600
3	Pastovios išlaidos, EUR	42'804	38'628
4	Kintamos išlaidos, EUR	6960	18'289
5	Išlaidos elektros energijai, EUR	26'100	338'300
6	Bendra išlaidų suma, EUR	75'864	395'217
7	Gaunamos pajamos, EUR	417'600	498'792
8	Pelnas, EUR	341'736	103'575
9	Atsipirkimo laikotarpis, metais	4,2	12,4

Norint bent dalinai įvertinti elektros pabrangimo įtaką šilumos siurblių išlaidos ir atsipirkimo laikui, elektros kainą paimsime 0,6 EUR/kWh, ši kaina dabar taikoma katilinėje už savaitgaliais ir švenčių dienomis sunaudotą elektros energiją. Pabrangus elektrai, kuro pabrangimo ir šilumos pardavimo

kainų pabrangimo nevertiname. 9 lentelėje pateiksime absorbcinio ir kompresorinio šilumos siurblių išlaidas ir atsipirkimą, skaičiuojant su pakilusia elektros kaina, pakitę skaičiai paryškinti raudonai.

8 lentelė. AŠS ir KŠS ekonominis palyginimas, pakilus elektros kainai.

Eil. Nr.	Dedamosios pavadinimas	Absorbcinis šilumos siurblys	Kompresorinis šilumos siurblys
1	Darbo valandos per metus	4000	4000
2	Investicija, EUR	1'426'800	1'287'600
3	Pastovios išlaidos, EUR	42'804	38'628
4	Kintamos išlaidos, EUR	6960	18'289
5	Išlaidos elektros energijai, EUR	62'640	811'920
6	Bendra išlaidų suma, EUR	75'864	868'837
7	Gaunamos pajamos, EUR	417'600	498'792
8	Pelnas, EUR	305'196	-370'045
9	Atsipirkimo laikotarpis, metais	4,8	Neatsiperka

Iš lentelėje pateiktų duomenų matome, kad padidėjus elektros kainai, žymiai išaugo KŠS išlaidos elektrai, kas lėmė neigiamą pelną ir iš to galime daryti išvadą, kad ši investicija neatsipirks.

Atlikę ekonominį palyginimą matome, kad abiejų tipų šilumos siurbliams darbo valandų skaičius buvo pritaikytas toks pat – 4000 darbo valandų. Reikiamos investicijos dydis skyrėsi beveik 140'000 eurų, anksčiau skirtumas, išreikštas procentas būtų buvęs daug didesnis nes šiuo metu dėl įrangos trūkumo ir sutrikusio tiekimo, skirtumas tarp siurblių lieka tik 10%. Pastoviosioms išlaidoms pritaikytas toks pats procentas, nuo įrengimo sumos, todėl ir skirtumas tarp jų išlieka panašus, AŠS pastoviosios išlaidos didesnės apie 10%. Kintamos išlaidos kompresoriniam šilumos siurbliui yra didesnės daugiau negu du kartus, jos skaičiuotos pagal Danijos energetikos agentūros pateiktus duomenis. Išlaidos elektros energijai buvo lemiamas faktorius dėl pelno ir atsipirkimo laiko, elektros išlaidos AŠS yra 62'640 eurų ir beveik 13 kartų mažesnės už KŠS elektros sąnaudas. Kompresorinis šilumos siurblio elektros poreikis yra daug didesnis nes jo veikimui reikalingas papildomas energijos šaltinis, kas šiuo atveju yra elektros variklis, kuris ir sudaro didžiausias elektros energijos sąnaudas, kurios yra 338'300 eurų. Bendra išlaidų suma kompresorinio šilumos siurblio atveju yra apie 5 kartus didesnė. Gaunamos pajamos yra 81'192 eurų didesnės KŠS atveju, dėl 19,4% didesnio atgaunamo šilumos kiekio.

Padalinę investicijos dydį iš gaunamo pelno gavome, kad absorbcinis šilumos siurblys turėtų atsipirkti per 4,8 metus, o kompresorinis šilumos siurblys per 12,4 metų. Padidinus elektros kainas iki 0,6 EUR/kWh, AŠS atsipirkimo laikotarpis sumažėja labai nežymiai, o KŠS atveju jis tampa nepelningas ir tokia investicija niekada neatsipirks.

Išvados

1. Siekiant patobulinti šilumos siurblių technologiją, atliekamos studijos susijusios su šilumos perdavimo efektyvumo didinimu, skirtingų parametrų išnaudojimu, skirtingo klimato sąlygomis.
2. Biokuro katilų korozijos mažinimui, pradėta projektuoti biokuro mišinius, kurie leis sumažinti degimo metu išskiriamų medžiagų kiekį, kurios sukelia metalo koroziją.
3. Šilutės katilinėje iš katilo išeinančiuose degimo produktuose esančios žemo potencialo šilumos pirminiam atgavimui naudojamas 4,9 MW galios kondensacinis dūmų ekonomizaizeris.
4. Tiriamoje Šilutės katilinėje biokuro vandens šildymo katilų nominali suminė galia yra 20,5 MW, į ekonomizaizerį ateinančių dūmų temperatūra yra 140°C, o išeinančių 45°C, grįžtančio iš šilumos tinklų temrofikacinio vandens temperatūra yra 45°C,
5. Atlikus meteorologinių duomenų tyrimą nustatyta, kad šalčiausias šildymo sezonas su -1,4 °C vidutinę sezono temperatūra buvo 1985 metais, lyginant paskutinių aštuonerių šildymo sezono duomenis, šalčiausias mėnuo buvo vasaris.
6. Atlikus skaičiavimus nustatėme, kad su turimo biokuro sudėtimi, teoriškai maksimali ekonomizaizeryje galima atgauti šilumos galia yra 5548.4 kW.
7. Absorbcinis šilumos siurblys papildomą atliekinę šilumą atgauna antrinio dūmų kondensacinio ekonomizaizerio pagalba, o visam procesui reikalinga energija paimama iš vandens šildymo katilo ir po to grąžinama kartu su atliekine šiluma. Papildomai atgauta šiluminė galia yra 1,74 MW. COP – 1,79.
8. Kompresorinis šilumos siurblys atliekinei šilumai iš antrinio ekonomizaizerio išgauti naudoja išorinį energijos šaltinį-elektros variklį. Į atgaunamos šilumos galia, dar papildomai įsiskaičiuoja ir mechaninė galia gauta iš elektros variklio ir bendra šiluminė galia yra 2,078 MW. COP 6,14.
9. Iš įmonės pateiktų duomenų nustatėme, kad šilumos siurblio darbo laikas priimamas 4000 valandų, elektros energijos kainą 0,25 EUR/kWh, šilumos pardavimo kaina 0,60 EUR/kWh, AŠS įrengimo kaina yra 0,82 MEUR/MW, o KŠS įrengimo kainą 0,74 MEUR/MW.
10. Paskaičiavome, kad AŠS įrengimo kaina yra 139'200 EUR didesnė negu KŠS kaina, bet gautas metinis pelnas 238'161 EUR didesnis. AŠS investicijos atsipirkimo laikas yra 4,2 metų, o KŠS atsipirkimo laikas yra 12,4 metų.
11. Atsižvelgiant į kylančias elektros energijos kainas atlikome pakartotinį ekonominį palyginimą su daugiau nei dvigubai pabrangusia elektros energija – 0,6 EUR/kWh, ir gavome, kad dėl padidėjusių išlaidų elektros energijai, KŠS tampa ekonomiškai nenaudingas.
12. Siekiant greitesnio atsipirkimo laiko ir didesnės finansinės naudos ateityje, priimtina katilinėje įdiegti absorbcinį šilumos siurblių.
13. Darome prielaidą, jei katilinė turėtų atsinaujinančios vėjo arba saulės energijos jėgaines ir elektros energijos kaina būtų sąlyginai maža, tada KŠS būtų ekonomiškai naudingesnis.

Literatūros sąrašas

1. Vytautas Dagilis, Žilvinas Uldinskas, Liutauras Vaitkus, Hussam Jouhara, Robertas Poškas. The simulation and analysis of wood fuel low-grade heat. 2020. [žiūrėta 2022-03-31]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220326086#fd34>
2. Yoshinori Itaya, Masatoshi Yamada Kenji Marumo Nobusuke Kobayashi. Heat and mass transfer through spiral tubes in absorber of absorption heat pump system for waste heat recovery. 2017. [žiūrėta 2022-04-04]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212540X17300238>
3. Hua Liu, Baiyang Zhao, Zhiping Zhang, Hongbo Li, Bin Hu, R.Z. Wang. Experimental validation of an advanced heat pump system with high-efficiency centrifugal compressor. 2020. [žiūrėta 2022-04-05]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220320752#bib15>
4. R.Z.Wang, Z.Z.Xia, L.W.Wang, Z.S.Lu, S.L.Li, T.X.Li, J.Y.Wu, S.He. Heat transfer design in adsorption refrigeration systems for efficient use of low-grade thermal energy. 2011. [žiūrėta 2022-04-05]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544211004567>
5. Rossano Scoccia, Tommaso Toppi, Marcello Aprile, Mario Motta. Absorption and compression heat pump systems for space heating and DHW in European buildings: Energy, environmental and economic analysis. 2018. [žiūrėta 2022-04-06]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710217303923?via%3Dihub>
6. Reza Alizadeh, Peter D. Lund, Leili Soltanisehat. Outlook on biofuels in future studies: A systematic literature review. 2020. [žiūrėta 2022-04-06]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032120306146>
7. Ankita Singh, Gaur Desta Z. Fitiwi, John Curtis. Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. 2021. [žiūrėta 2022-04-06]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S221462962030339X>
8. Nikolaos Vourdas, Hussam Jouhara, Savvas A. Tassou, Vassilis N. Stathopoulos. Design criteria for coatings in next generation condensing economizers. 2019. [žiūrėta 2022-04-06]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219311750>
9. Dongwoo Kim, DongChan Lee, Minwoo Lee, Hyun Joon, Chung Yongchan Kim. *Energy performance evaluation of two-phase injection heat pump employing low-GWP refrigerant R32 under various outdoor conditions*. 2020. [žiūrėta 2022-04-07]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220322052>
10. Cristina Sáez Blázquez, David Borge-Diez, Ignacio Martín Nieto, Arturo Farfán Martín, Diego González-Aguilera. Multi-parametric evaluation of electrical, biogas and natural gas geothermal source heat pumps“. 2020. [žiūrėta 2022-04-07]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120316463>
11. Ryszard Bartnik, Zbigniew Buryn, Anna Hnydiuk-Stefan, Tomasz Kowalczyk. Thermodynamic and economic comparative analyses of a hierarchic gas-gas combined heat and power (CHP) plant coupled with a compressor heat pump“. 2022. [žiūrėta 2022-04-07]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222000196>
12. Juan Luis Rodríguez, Xana Álvarez, Enrique Valero, Luis Ortiz, Natalia de la Torre-Rodríguez, Carolina Acuña-Alonso. Design of solid biofuels blends to minimize the risk of sintering in biomass boilers“. 2020. [žiūrėta 2022-04-07]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967120301379>

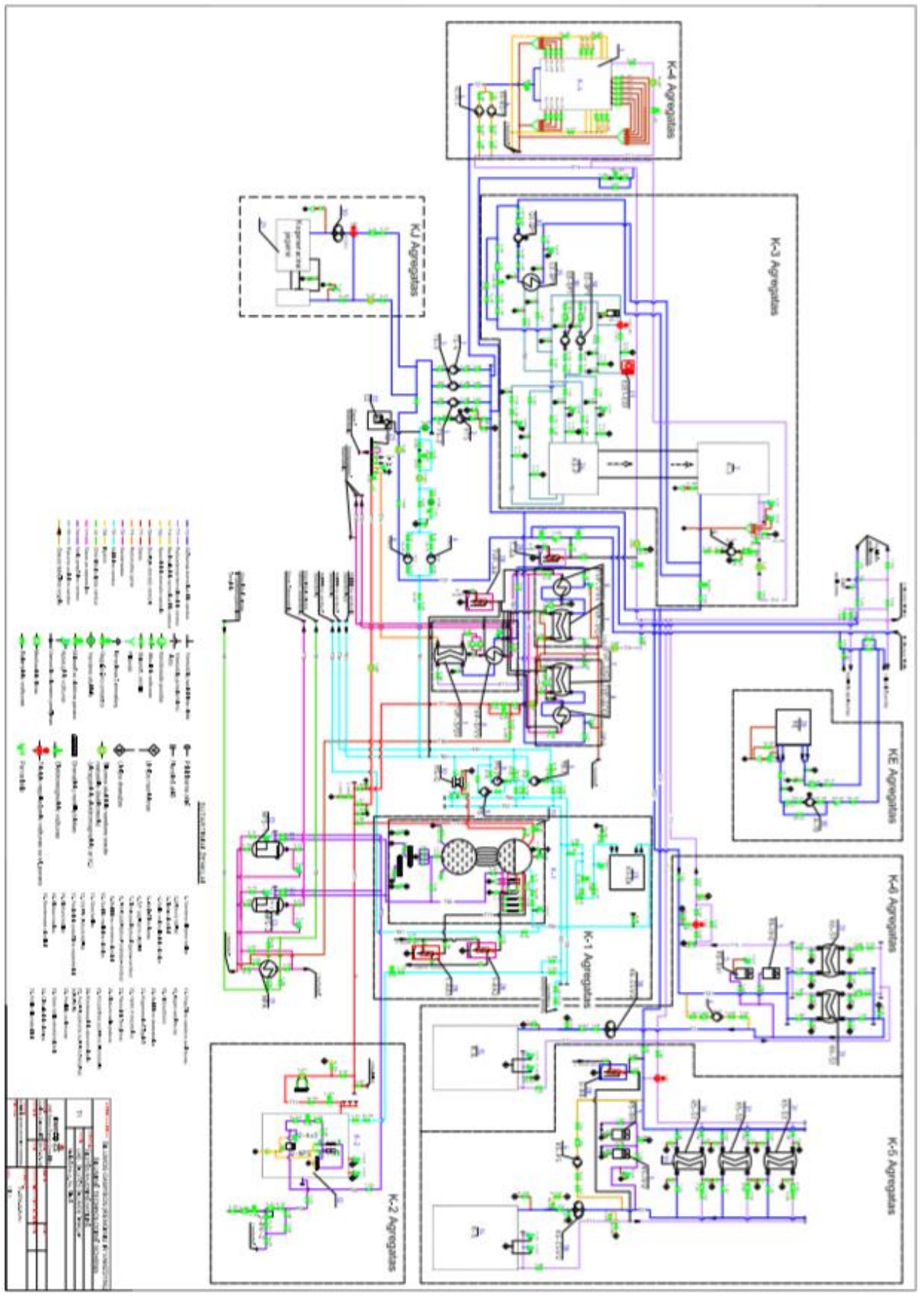
13. Krishna Hara Chakravarty, Meisam Sadi, Harapriya Chakravarty, Ali Sulaiman Alsagri, Thomas James Howard, Ahmad Arabkoohsar. A review on integration of renewable energy processes in vapor absorption chiller for sustainable cooling. 2022. [žiūrēta 2022-04-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821008365>.
14. Omid Mahian, Mohammad Reza Mirzaie, Alibakhsh Kasaeian, Seyed Hossein Mousavi. Exergy analysis in combined heat and power systems: A review. 2020. [žiūrēta 2022-04-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890420310001>.
15. Wei Wu, Harrison M. Skye. Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. 2021. [žiūrēta 2022-04-17]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121001532>.
16. WanYunHong. A techno-economic review on carbon capture, utilisation and storage systems for achieving a net-zero CO₂ emissions future. 2022. [žiūrēta 2022-04-19]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277265682200015X>.
17. Qingmei Wen, Gang Liu, Zhenghua Rao, Shengming Liao. Applications, evaluations and supportive strategies of distributed energy systems: A review. 2020. [žiūrēta 2022-04-19] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778820313207>.
18. A. Giampieri, J. Ling-Chin, Z. Ma, A. Smallbone, A.P. Roskilly. A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective. 2020. [žiūrēta 2022-04-25]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919317611>.
19. Jahedul Islam Chowdhury, Yukun Hu, Ismail Haltas, Nazmiye Balta-Ozkan, George Jr. Matthew, Liz Varga. Reducing industrial energy demand in the UK: A review of energy efficiency technologies and energy saving potential in selected sectors. 2018. [žiūrēta 2022-04-27]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118304775>.
20. M. Soltani, Farshad M. Kashkooli, A.R. Dehghani-Sani, A.R. Kazemi, N. Bordbar, M.J. Farshchi, M. Elmi, K. Gharali, Maurice B. Dusseault. A comprehensive study of geothermal heating and cooling systems. 2019. [žiūrēta 2022-04-27]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670718306838>.
21. Chang Su, Hatf Madani, Björn Palm. Heating solutions for residential buildings in China: Current status and future outlook. 2018. [žiūrēta 2022-04-28]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418311051>.
22. Zvonimir Guzovic, Neven Duic, Antonio Piacentino, Natasa Markovska, Brian Vad Mathiesen, Henrik Lund. Recent advances in methods, policies and technologies at sustainable energy systems development. 2022. [žiūrēta 2022-04-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222001797>.
23. Arash Babamiri, Majid Gharib, Masood Ebrahimi. Multi-criteria evaluation of a novel micro-trigeneration cycle based on α -type Stirling engine, organic Rankine cycle, and adsorption chiller. [žiūrēta 2022-04-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890421013388>.
24. Raquel de Freitas Dias Milão, Hudson B. Carminati, Ofélia de Queiroz F. Araújo, José Luiz de Medeiros. Thermodynamic, financial and resource assessments of a large-scale sugarcane-biorefinery: Prelude of full bioenergy carbon capture and storage scenario. 2019. [žiūrēta 2022-04-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304514>.

25. Ayumi Yamaki, Yuichiro Kanematsu, Yasunori Kikuchi. Lifecycle greenhouse gas emissions of thermal energy storage implemented in a paper mill for wind energy utilization. 2020. [žiūrėta 2022-04-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220311634>.
26. Petri Tapio, Heidi, Rintamäki, Pasi Rikkinen, Juho Ruotsalainen. Pump, boiler, cell or turbine? Six mixed scenarios of energy futures in farms. 2017. [žiūrėta 2022-04-29]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001632871630180X>.
27. Mohammad Hosein Abbasi, Badr Abdullah, Muhammad Waseem Ahmad, Ali RostamiJeff Cullen. Heat transition in the European building sector: Overview of the heat decarbonisation practices through heat pump technology. 2021. [žiūrėta 2022-04-30]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821006445>.
28. Somchart Chantasiriwan. Optimum installation of economizer, air heater, and flue gas dryer in biomass boiler. 2021. [žiūrėta 2022-05-03]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S009813542100106X>.
29. Ye Liu, Hua Fu, Jianlin Yu. Performance study of an enhanced ejector refrigeration cycle with flash tank economizer for low-grade heat utilization. 2018. [žiūrėta 2022-05-06]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135943111737415X>.
30. Vidmantas Morkūnas. Absorbicinio šilumos siurblio pritaikymas efektyviam dūmų kondensacinio ekonomizerio darbui [interaktyvus]. 2018. [žiūrėta 2022-05-07].
31. UAB „Šilutės šilumos tinklai“ tinklapis. 2022. [žiūrėta 2022-05-11] Prieiga per: <https://silutesst.lt/struktura-kontaktai/apie-bendrove>.
32. Techninio įrenginio pasas. Dokumento Nr. 1395 [interaktyvus]. 2003. [žiūrėta 2022-05-12] Prieiga per: Šilutės šilumos tinklai, techninis archyvas.
33. Techninio įrenginio pasas. Dokumento Nr. 1469 [interaktyvus]. 2007. [žiūrėta 2022-05-13] Prieiga per: Šilutės šilumos tinklai, techninis archyvas.
34. Techninio įrenginio pasas. Dokumento Nr. P1311 [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2022-05-13] Prieiga per: Šilutės šilumos tinklai, techninis archyvas.
35. Techninio įrenginio pasas. Dokumento Nr. 1001 [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2022-05-13] Prieiga per: Šilutės šilumos tinklai, techninis archyvas.
36. Liudas Brazdeikis, Žemės Ūkio Inžinerija. Mokslo darbai, 2012. [žiūrėta 2022-05-14]. Prieiga per: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:16215727/16215727.pdf>
37. LST CEN/ TS 14961:2006 „Kietasis biokuras – Kuro specifikacijos ir klasės“ (angl. Solid biofuels - Fuel specifications and classes) standartas. 2010. . [žiūrėta 2022-05-15]. Prieiga per: https://www.lsd.lt/get_file.php?file=Ym5pZWJHYVVjTmhsbXBxZlpOSndaR3ZjWmR4cnIyU1ZtcWx1MkozR2xxRnlucHFWYXNSd3lXZXRtSiUyQlZ6bkJrbXRHWDJHU2NaNVdVcHAIMkJTYk5GaWxHdWJuNXRyMFczR2theWNZV1Rabl0a3ptclJtSjFrMmNob2NNbHd6WmFobjVySWFKeVdiSTlwcWN5V2JjaWNjR214YUxobmpHREZ4M3RwekhIWlphRnJtc3ltYU1wd3oyZWl6S1dhd1p4bm1aVmhsGRvWUpPYWFXMldjWkpwcFdtWnk1aHFvSENjWkEIM0QIM0Q=&view=1
38. Absorbiciniai šilumos siurbliai. 2018. [žiūrėta 2022-05-15]. Prieiga per: <https://www.indeel.lt/produktai/absorbiciniai-silumos-siurbliai>
39. Danish energy agency, Energinet. Technology Data – Energy Plants for Electricity and District heating generation catalogue [interaktyvus]. 2016 (atnaujinta 2020 gegužę) [žiūrėta 2022-05-17]
40. Vytautas Dagilis. Biokuro jėgainių atliekinės šilumos panaudojimo ekonomika [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2022-05-17]
41. .Komercinis pasiūlymas Nr. 2065 [interaktyvus]. 2021. [žiūrėta 2022-05-18]

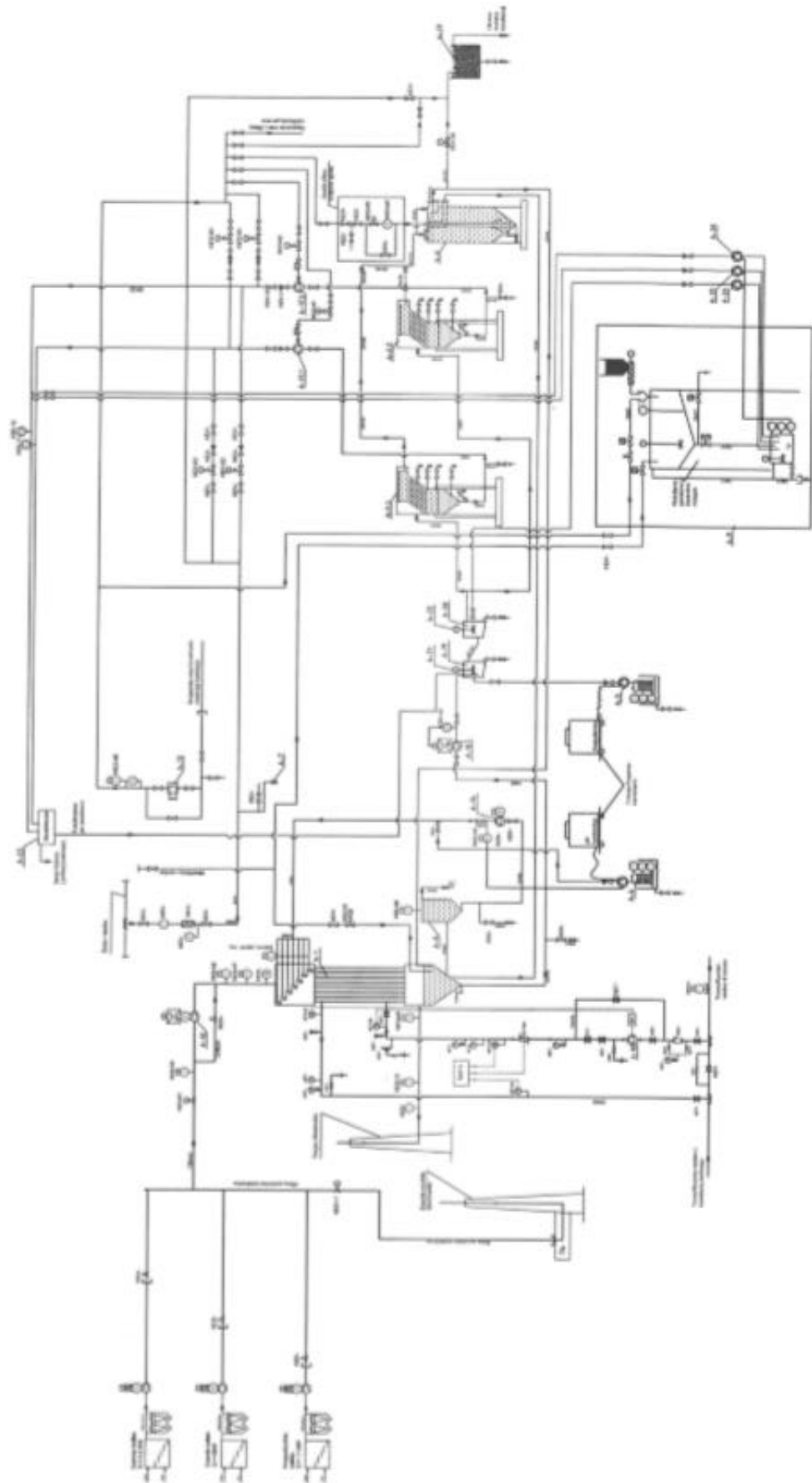
Priedai

1. Šilutės rajoninės katilinės technologinė schema
2. Kondensacinio dūmų ekonomizerio principinė schema
3. Vidutinės mėnesio temperatūros duomenų lentelė nuo 1984m.

1 Priedas. Šilutės rajoninės katilinės technologinė schema.



2 Priedas. Kondensacinio dūmų ekonomizerio principinė schema



3 Priedas. Vidutinės mėnesio temperatūros duomenų lentelė nuo 1984m.

VIDUTINĖS LAUKO ORO TEMPERATŪROS												
Metai	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Sausis	-0,3	-10,8	-2,6	-14,0	-1,0	2,9	2,2	0,7	0,7	0,0	1,3	-2,5
Vasaris	-3,1	-10,9	-9,7	-3,0	-0,6	3,5	4,7	-3,3	1,1	0,0	-6,0	2,3
Kovas	-0,9	-0,2	1,0	-4,4	-0,9	4,3	5,2	2,6	3,1	0,4	1,0	2,3
Balandis	8,4	4,6	4,2	3,8	4,8	7,7	6,8	7,3	5,0	4,4	6,6	4,6
Spalis	9,4	7,4	8,3	7,7	7,0	9,0	8,2	8,1	4,7	7,3	6,3	10,0
Lapkritis	1,9	0,9	5,5	2,9	0,1	1,4	4,4	4,5	3,2	-3,2	3,2	0,4
Gruodis	-0,7	-0,8	-1,1	0,0	-1,0	-0,7	-0,2	0,8	0,5	0,7	0,7	-5,5
Metai	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sausis	-6,2	-3,4	1,1	-1,3	-1,1	-0,3	0,1	-4,2	-6,4	0,8	-6,5	2,6
Vasaris	-6,8	1,2	1,7	-2,6	1,7	-1,7	2,7	-4,6	-1,1	-3,6	-4,7	-4,2
Kovas	-2,2	2,5	0,3	3,5	2,4	0,7	3,2	1,1	1,3	-2,4	-2,4	5,2
Balandis	3,9	2,8	3,9	7,34	6,5	7	8	5,6	7,5	6,7	6,1	6,1
Spalis	8,7	6	7,4	7,9	10,9	10,1	5,1	5,4	8,6	8,3	10,6	7,9
Lapkritis	5	2,5	-3,2	2,6	6,2	3,2	2,3	4,3	2,1	3,3	5,5	2
Gruodis	-5,7	-1,7	-2,8	0,2	2,2	-3,3	-7,3	1,8	1,8	-0,7	5,2	1,7
Metai	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Sausis	0,6	-1,8	-8,5	-2	-1,8	-5,3	-4	0,6	-5,1	-2,2	-0,7	-2,7
Vasaris	3	-2,3	-3,5	-6	-7,4	-0,7	1,3	0,8	2,2	0,9	-5,6	1,7
Kovas	2,9	1,5	0,7	0,9	1,7	-2,9	4,5	4,8	3,2	3,5	-1,6	3,5
Balandis	8,2	8,8	6,7	5,7	7,2	5,3	5,7	6,9	8,31	5,1	7,76	6,97
Spalis	9,2	6	5,5	8,5	8,1	9,4	8,3	7	4,64	8,27	9,01	10,4
Lapkritis	4	4,7	3,7	4,6	5,3	5,7	3,8	5,6	2,7	4,8	3,4	5,6
Gruodis	1	-1,6	-6,5	2,3	-3,6	3	-0,2	3,7	2,1	2,2	0,4	3,1
Metai	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Sausis	3,9	-2,3	1									
Vasaris	3,4	-4,3	2,1									
Kovas	3,9	2,3	3,4									
Balandis	6,4	6,3	6,5									
Spalis	10,6	8,9										
Lapkritis	6,7	4,9										
Gruodis	1,3	-2,1										