



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Vidmantas Morkūnas

**ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO PRITAIKYMAS
EFEKTYVESNIAM DŪMŲ KONDENSACINIO
EKONOMAIZERIO DARBUI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas
Doc. dr. Kęstutis Buinevičius

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO PRITAIKYMAS
EFEKTYVESNIAM DŪMŲ KONDENSACINIO
EKONOMAIZERIO DARBUI**

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (621E30001)

Vadovas
Doc. dr. Kęstutis Buinevičius

Recenzentas
Prof. Vytautas Dagilis

Projektą atliko
Vidmantas Morkūnas

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Vidmantas Morkūnas

Termoinžinerija, 621E30001

„Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas efektyvesniam dūmų kondensacinio ekonomizerio
darbui“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės 20 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Vidmanto Morkūno, baigiamasis projektas tema „Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas efektyvesniam dūmų kondensacinio ekonomizerio darbui“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Studijų programa: TERMOINŽINERIJA 621E30001

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO PROJEKTO
UŽDUOTIS**

Studentui(-ei) Vidmantui Morkūnui

1. Baigiamojo projekto tema:

„Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas efektyvesniam dūmų kondensacinio ekonomaizerio darbui“

„Improvement of Flue Gas Condensing Economizer Energy Recovery by Using Absorption Heat Pump“

Patvirtinta 2018 m. balandžio 12 d. dekanų potvarkiu Nr. V25-11-6

2. Projekto tikslas ir uždaviniai:

Išnagrinėti absorbcinio šilumos siurblio pritaikymą darbui su dūmų kondensaciniu ekonomaizeriu energijos gamyboje ir atlikti tokios sistemos techninę ir ekonominę analizę.

3. Pradiniai Projekto duomenys:

Suformuluotos užduotys ir preliminarus skaičiavimo planas

4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos:

Darbui reikalingą medžiagą studentas renka savarankiškai, atlieka šilumos ir masės balanso skaičiavimus, įvertina techninę ir ekonominę absorbcinio šilumos siurblio įrengimo naudą. Gauti rezultatai apdorojami ir analizuojami. Nustatomas absorbcinio šilumos siurblio pritaikyto darbui su dūmų kondensaciniu ekonomaizeriu atsipirkimo laikotarpis.

5. Projekto aprašomosios dalies struktūra:

1. Įvadas; 2. Absorbcinio šilumos siurblio panaudojimo galimybės energijos gamybai; 3. Projekto ekonominė analizė; 4. Išvados.

6. Grafinės Projekto dalies sudėtis:

Grafinė dalis projekto tekste.

7. Projekto konsultantai:

Magistrantas

Vidmantas Morkūnas

.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas

Doc. dr. Kęstutis Buinevičius

.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas Algimantas Balčius

.....
(vardas, pavardė, parašas, data)

TURINYS

ĮVADAS.....	10
1 Absorbcinio šilumos siurblio analizė	12
1.1 Absorbcinis šilumos siurblys.....	12
1.2 Absorbcinio šilumos siurblio (AŠS) veikimo principas ir jame vykstantys procesai	12
1.2.1 Tirpalo kristalizacija.....	15
1.3 Absorbcinio šilumos siurblio parametrai.....	16
2 Absorbcinio šilumos siurblio panaudojimo galimybės energijos gamybai.....	18
2.1 Energijos gamybos efektyvumas	18
2.2 Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymo analizė kondensaciniam dūmų ekonomazeriui deginant biokurą.....	20
2.2.1 AŠS prijungimas į bendrą biokuro vandens šildymo katilinės sistemą	24
2.2.2 Biokuro dūmų kondensacinio ekonomazerio darbo su absorbciniu šilumos siurbliu analizė	33
2.3 Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymo analizė kondensaciniam dūmų ekonomazeriui deginant dujinį kurą.....	41
2.3.1 Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas gamtinių dujų vandens šildymo katilinėje	43
3 Projekto ekonominė analizė	46
3.1 Biokuro katilinės absorbcinio šilumos siurblio pritaikyto darbui su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu ekonominė analizė	46
3.1.1 Projekto išlaidų įvertinimas.....	46
3.1.2 Išlaidų ir pajamų balansas	47
3.2 Gamtinių dujų katilinės absorbcinio šilumos siurblio pritaikyto darbui su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu ekonominė analizė	50
3.2.1 Projekto išlaidų įvertinimas.....	51
3.2.2 Išlaidų ir pajamų balansas	51
4 Išvados.....	54
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	55
PRIEDAI.....	57

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Absorbcinio šilumos siurblio supaprastinta principinė schema	13
1.2 Pav. Kristalizacijos kreivė (raudona) absorbcijos ir desorbcijos procesuose.....	16
1.3 pav. Absorbcinio šilumos siurblio COP lemiantys veiksniai.	17
2.1 pav. Teorinės efektyvumo ribos deginant gamtines dujas.	19
2.2 pav. Teorinės efektyvumo ribos deginant biokurą.	19
2.3 pav. Medienos skiedros kaloringumo priklausomybė nuo kuro drėgnumo.	20
2.4 pav. Medienos skiedros degimo produktų rasos taško priklausomybė nuo kuro drėgnumo...21	
2.5 pav. Procesai vykstantys biokuro dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje.....	22
2.6 pav. Biokuro DKE galios (% nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros.	23
2.7 pav. Principinė dūmų kondensacinio ekonomizaizerio prijungimo schema biokuro vandens šildymo katilinėje.	24
2.8 pav. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio principinė technologinė schema vandens šildymo katilinėje.....	26
2.9 pav. Kondensacinio ekonomizaizerio supaprastinta principinė prijungimo prie absorbcinio šilumos siurblio išgarintuvo schema.	29
2.10 pav. AŠS principinė technologinė schema ir šilumos balanso skaičiavimų rezultatai.....	31
2.11 pav. Optimizuotos AŠS ir biokuro DKE sistemos principinė technologinė schema.	33
2.12 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 35 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.	34
2.13 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 45 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.	36
2.14 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 55 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.	37
2.15 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 30 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.....	38
2.16 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 45 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.....	39

2.17 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 60 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.....	40
2.18 pav. Gamtinių dujų ir biokuro sunaudojimo šilumos gamybai statistika Lietuvoje. [15].....	41
2.19 pav. Dujinis kondensacinis dūmų ekonomizeris.	42
2.20 pav. Dujinio DKE galios (% nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros.	43
2.21 pav. AŠS pritaikymo darbui su dujiniu kondensaciniu dūmų ekonomizeriu principinė technologinė schema.	44
2.22 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės deginant gamtines dujas.	45
3.1 pav. Išlaidų ir pajamų srautų balansas ir AŠS sistemos atsipirkimas.....	49
3.2 pav. AŠS panaudojimo biokuro vandens šildymo katilinėje ekonominės analizės suvestinė.	49
3.3 pav. Metinės investicinės grąžos ir atsipirkimo laiko priklausomybė nuo šilumos supirkimo kainos.	50
3.4 pav. Išlaidų ir pajamų srautų balansas ir AŠS sistemos atsipirkimas.....	52
3.5 pav. AŠS panaudojimo gamtinių dujų vandens šildymo katilinėje ekonominės analizės suvestinė.....	52
3.6 pav. Metinės investicinės grąžos ir atsipirkimo laiko priklausomybė nuo šilumos supirkimo kainos.	53

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Ličio bromido fiziniai ir cheminiai parametrai.....	14
2.1 lentelė. Katilo NVK priklausomybė nuo dūmų temperatūros.....	19
2.2 lentelė. Įrenginių investicijos	25
2.3 lentelė. Deginamo kuro naudojamą masės elementinę sudėtis.....	25
2.4 lentelė. Dūmų kondensacinio ekonomizerio skaičiavimų rezultatai	26
2.5 lentelė. Absorbcinio šilumos siurblio skaičiavimo rezultatai, kai visas grįžtantis termofikacinis vanduo tiekiamas į išgarintuvą.....	27
2.6 lentelė. Absorbcinio šilumos siurblio skaičiavimo rezultatai, kai dalis grįžtančio termofikacinio vandens tiekama į išgarintuvą.....	30
2.7 lentelė. Skaičiavimo rezultatai AŠS recirkuliacija.....	32
2.8 lentelė. Biokuro DKE ir AŠS analizė esant skirtingiems darbo režimams	34
3.1 lentelė. Darbo režimai	46
3.2 lentelė. Projekto pradinės investicijos	46
3.3 lentelė. Projekto eksploataciniai kaštai	47
3.4 lentelė. Kiti investiciniai rodikliai atsipirkimo skaičiavimui	47
3.5 lentelė. Darbo režimai	50
3.6 lentelė. Projekto pradinės investicijos	51
3.7 lentelė. Projekto eksploataciniai kaštai	51
3.8 lentelė. Kiti investiciniai rodikliai atsipirkimo skaičiavimui	51

Morkūnas, Vidmantas. Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas efektyvesniam dūmų kondensacinio ekonomizerio darbui. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Kęstutis Buinevičius; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Energijos inžinerija (E13), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: ekonomizeris, absorbcinis šilumos siurblys, kondensacija, rasos taškas.

Kaunas, 2018. 67 p.

Santrauka

Energijos gamybos ir vartojimo efektyvumo didinimas, įdiegiant ekonomiškai naudingas sistemas, yra sudėtingas uždavinys, nes dauguma šiluminės energijos gamybos katilinių jau turi įdiegtus dūmų kondensacinius ekonomizerius ir aukšto efektyvumo katilus. Vienas iš įrenginių, galinčių padidinti energijos gamybos ir naudojimo efektyvumą, yra absorbcinis šilumos siurblys naudojamas su dūmų kondensaciniu ekonomizeriu.

Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas efektyvesniam dūmų kondensacinio ekonomizerio darbui – baigiamasis magistro projektas, kuriame nagrinėjamas energijos gamybos efektyvumo padidėjimas, energetinė ir ekonominė nauda, naudojant absorbcinį šilumos siurblių kartu su dūmų kondensaciniu ekonomizeriu.

Atsižvelgiant į baigiamajame darbe keliamus tikslus ir uždavinius, šiame projekte atliekami šilumos ir masės srautų balanso skaičiavimai. Atsižvelgus į gautus rezultatus, sistema kiek įmanoma labiau optimizuojama, kad tenkintų energetinius ir ekonominius tikslus.

Morkūnas, Vidmantas. Improvement of Flue Gas Condensing Economizer Energy Recovery by using Absorption Heat Pump. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Kęstutis Buinevičius; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology. Study field and area (study field group): Power Engineering (E13), Engineering Sciences (E).
Keywords: economizer, absorption heat pump, condensation, dew point.
Kaunas, 2018. 67 pages.

Summary

Improvement of cost-effective energy efficiency is a complex task, because most heating energy plants have flue gas condensing economizers and high efficiency boilers installed. The solution for increase of energy production and consumption efficiency can be absorption heat pump and flue gas condensing economizer system.

Improvement of flue gas condensing economizer energy recovery by using absorption heat pump – Master's Thesis which investigates the increase of energy efficiency for energy production, energy economy and cost-effective solutions of flue gas condensing economizer and absorption heat pump system.

Considering to the goals and objectives of Master's Thesis, calculation of heat and mass balance have been done. Based on calculated results, the flue gas condensing economizer and absorption heat pump system is optimized to meet cost-effective objectives.

IVADAS

Pagal 2012 m. spalio 25 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą [1] 2012/27/ES „Dėl energijos vartojimo efektyvumo“ (toliau – Direktyva), Europos Sąjungai (toliau – ES) nustatytas tikslas iki 2020 m. užtikrinti, kad lyginant su anksčiau darytomis prognozėmis, pirminės energijos būtų suvartojama 20 % mažiau, o po 2020 m. toliau didinti energijos vartojimo efektyvumą.

Direktyvos tikslai perkelti į Lietuvos Respublikos (toliau - LR) teisės aktus: Nacionalinę energetinės nepriklausomybės strategiją [2] ir Lietuvos Respublikos energijos vartojimo efektyvumo didinimo įstatymą [3]. Šie tiksliai prisideda prie Lietuvos energetinės nepriklausomybės ir klimato kaitos mažinimo.

Šiuo metu esančių sistemų modernizavimas daugeliu atveju yra ekonomiškai nenaudingas, nes didžioji dalis Lietuvoje veikiančių energijos gamybos objektų jau turi aukšto efektyvumo katilus su dūmų kondensaciniais ekonomazeriais (toliau – DKE), dėl kurių tokių sistemų naudingumo koeficientas (toliau – NVK) perkopia 100 % pagal kuro žemutinę šiluminę vertę (toliau – ŽŠV). Šioje direktyvoje taip pat nurodyta, kad vienas iš pagrindinių energijos vartojimo efektyvumo didinimo principų yra ekonominis pagrįstumas – pirmenybė teikiama ekonomiškai efektyviausioms energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonėms, todėl reikia ieškoti netradicinių sprendimų šiems tikslams pasiekti.

Absorbcinis šilumos siurblys (toliau AŠS) – viena iš galimų technologinių alternatyvų energijos gamybos efektyvumui didinti, kuris naudojamas su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu padėtų dar giliau ataušinti į aplinką išmetamus degimo produktus ir iš jų pasisavinti likutinę slaptąją garavimo šilumą, net ir neturint pakankamai žemo potencialo šilumos vandens, kurį galima panaudoti DKE darbui.

Siekiant įvertinti tokios sistemos galimybes, tuo pačiu prisidedant prie Europos Sąjungos ir nacionalinių energetikos tikslų didinti energijos vartojimo efektyvumą, baigiamajame darbe yra atliekama AŠS techninių ir finansinių taikymo galimybių tyrimas, panaudojant jau esamus dūmų kondensacinius ekonomazerius ar įdiegiant naujus.

Baigiamojo darbo tikslas – išnagrinėti absorbcinio šilumos siurblio pritaikymą darbui su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu energijos gamyboje ir atlikti tokios sistemos techninę ir ekonominę analizę.

Darbo uždaviniai:

- atlikti AŠS analizę – išsiaiškinti jame vykstančius procesus, jo veikimo principą ir išvystomus parametrus;
- apžvelgti AŠS panaudojimo galimybes energijos gamybai;

- atlikti jau esamų AŠS pritaikytų darbui su kondensaciniais dūmų ekonomizeriais apžvalgą;
- atlikti AŠS pritaikymo darbui su kondensaciniu ekonomizeriu tikslingumo tyrimą (techninę ir ekonominę analizę).

1 ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO ANALIZĖ

1.1 Absorbcinis šilumos siurblys

Antrasis termodinamikos dėsnis teigia, jog šiluma iš žemesnio potencialo šilumos šaltinio negali būti perkelta į aukštesnio potencialo šilumos šaltinį, nepanaudojant darbo. Praktikoje nėra labai daug sričių, kur energija, esanti žemos temperatūros šilumos šaltinyje, galėtų būti panaudojama, todėl šiuo atveju reikia techninio sprendimo, kuris neprieštaraudamas antrajam termodinamikos dėsniui galėtų perkelti energiją iš žemos temperatūros šaltinio į aukštos temperatūros šaltinį. Tam naudojami šilumos siurbliai.

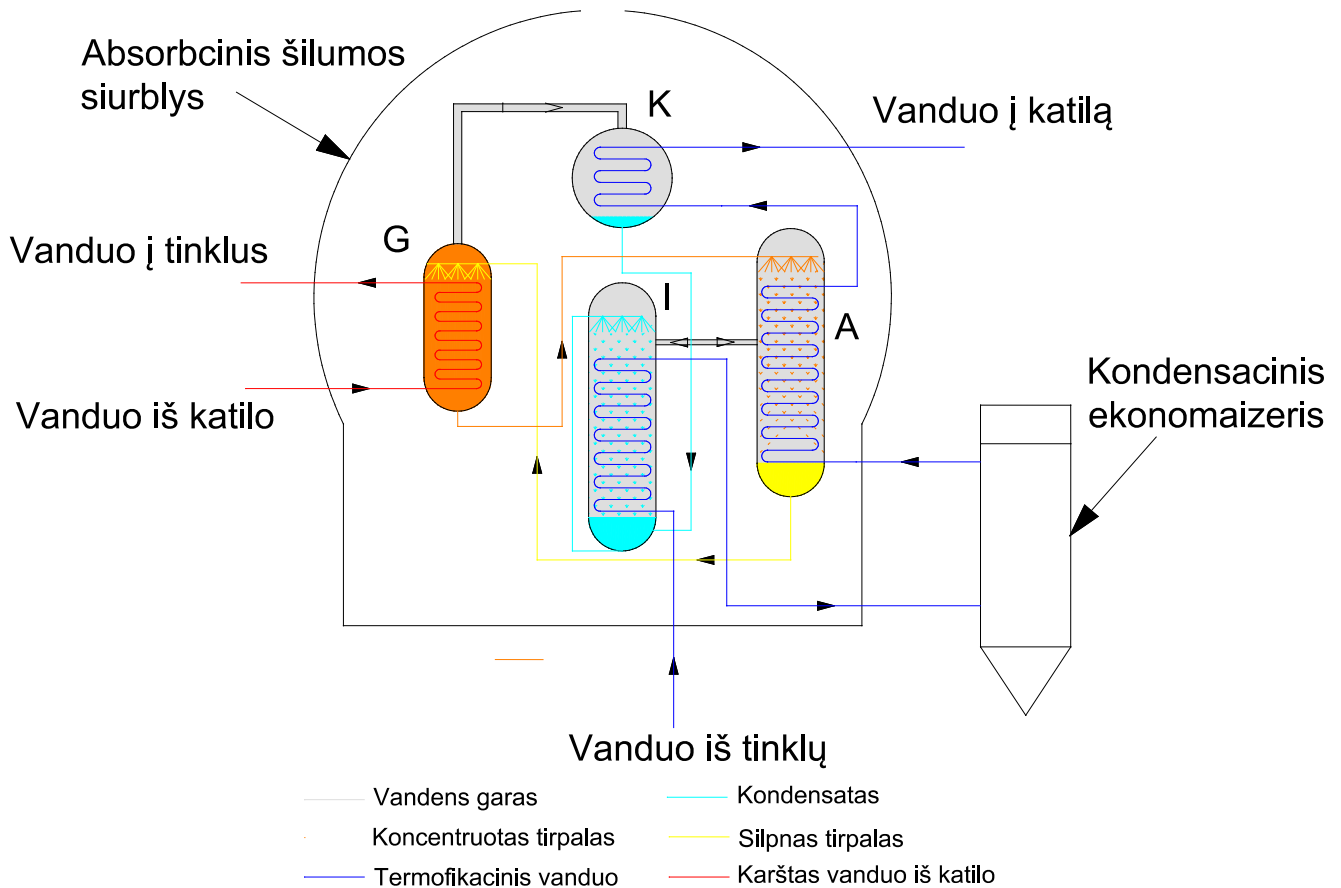
Dažna šilumos siurblio panaudojimo sritis – susigražinti žemo potencialo išmetamą šilumą, kuri dėl žemos temperatūros negali būti panaudojama jokiam kitame procese, tam pasitelkus šilumos siurblių galima gauti aukštesnio potencialo šilumą, kuri gali būti naudojama šildymui ar kitam šilumos reikalaujančiam procesui. Šis ciklas gali būti naudojamas ir atvirkščiai – šaldymui, kai iš šaltesnio fluideo šiluma perduodama šiltesniam, taip jį dar labiau ataušinant.

Yra keli šilumos siurblių tipai. Pats populiariausias – kompresorinis šilumos siurblys, kurio veikimo principas paremtas skirtingomis virimo temperatūromis, kurios priklauso nuo skirtingo slėgio. Tačiau šių šilumos siurblių kompresoriai varomi elektros energija, kas daro juos nepatrauklius diegiant juos kartu su DKE.

Kitas būdas perkelti šiluminę energiją iš žemesnės temperatūros į aukštesnę – naudoti absorbcinį šilumos siurblių.

1.2 Absorbcinio šilumos siurblio (AŠS) veikimo principas ir jame vykstantys procesai

Absorbcinis šilumos siurblys – sudėtingas šilumos ir masės mainų komponentų įrenginys, kurio darbo metu vyksta cheminiai, mechaniniai ir šiluminiai procesai. Jo veikimas paremtas garinimo, kondensacijos, rektifikacijos ir absorbcijos principu (žr. 1.1 pav.). Nors AŠS nėra nauja technologija, tačiau tokių įrenginių gamintojų pasaulyje nėra daug dėl sudėtingos technologijos ir brangių komponentų.



1.1 pav. Absorbicinio šilumos siurblio supaprastinta principinė schema

Pagrindiniai AŠS komponentai:

- I – išgarintuvas. Sukondensuotas vanduo iš kondensatoriaus išgarintuve 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 išgarintuve būtų dar giliau ataušinamas. Garavimo temperatūra turėtų būti apie 20-40 °C;
- A – 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 kondensuos, o šio proceso metu susidariusi šiluma perduodama į centralizuoto šilumos tiekimo (toliau – CŠT) termofikacinį vandenį, kuris tiekiamas iš DKE į katilą;
- G – generatorius (distiliatorius). Jame atliekamas darbas, kai aukštų parametrų karštas vanduo ($T = 90 - 160 \text{ }^{\circ}\text{C}$), žemų parametrų garas (iki 300 °C), arba atliekinė išmetamų degimo produktų šiluma (iki 300 °C) šilumokaityje garina tirpalo lagesnįjį komponentą – vandenį;

- K – 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 išgarintuvą.

AŠS darbui naudojamas binarinis tirpalas, kuris susideda iš dviejų komponentų, dažniausiai ličio bromido arba amoniako ir vandens. Šiuo atveju bus naudojamas ličio bromido ir vandens tirpalas. Ličio bromido tirpalo termodinaminiai parametrai yra labai svarbūs sklandžiam AŠS darbui. Pati LiBr druska yra balti milteliai, kurių skonis kartus, jie yra tirpūs vandenyje, alkoholyje ir glikolyje. Šis tirpalas dažnai naudojamas oro kondicionavimui ir pramoniniam džiovinimui dėl jo higroskopinių savybių. Toliau pateikiami LiBr fiziniai ir cheminiai parametrai (1.1 lentelė) [4].

1.1 lentelė. Ličio bromido fiziniai ir cheminiai parametrai

Fizinė išvaizda	Balti milteliai
Lydymosi temperatūra	547°C
Virimo temperatūra	1265°C
Tirpimas vandenyje	Tirpus
pH	Neutralus

LiBr ir vandens tirpalo parametrai būtini atliekant pačio AŠS projektavimą – entalpija, soties slėgis, specifinė šiluma ir tankis, randami iš polinominių lygčių, kurias galima rasti literatūroje [5].

Ličio bromido ir vandens tirpalo naudojimas, lyginant su amoniako ir vandens, turi privalumų ir trūkumų. Naudojant ličio bromidą išgaunamas didesnis efektyvumas, kai AŠS yra vienos pakopos. Amoniako tirpalo slaptoji garavimo šiluma yra beveik dvigubai mažesnė nei LiBr, vadinasi, vykstant faziniams virsmams, amoniako tirpalo debito reikės beveik dvigubai didesnio, norint pasiekti tą patį šildymo arba šaldymo efektą [6].

Pagrindinis trūkumas naudojant LiBr druskos tirpalą – kristalizacijos rizika, kuri didina riziką neplanuotiems įrenginio stabdymams. Dėl šios priežasties amoniako tirpalas dažniausiai naudojamas tada, kai šaldymo temperatūra turi būti žemesnė nei 0 °C. Norint išvengti kristalizacijos ir korozijos rizikos ir padidinti šilumos perdavimą bei pagerinti AŠS eksploatacines savybes, į tirpalą įmaišoma šiek tiek papildomų priemaišų. Plačiau apie kristalizaciją 1.2.1 poskyryje.

Taigi, apibendrinant, pagrindinis šilumos perkėlimo iš šaltesnio fluído į šiltesnį procesas vyksta dėl LiBr tirpalo koncentracijos. Kai LiBr koncentracija mažėja dėl vandens absorbcijos absorberyje, tirpalo soties temperatūra didėja, dėl to esant atitinkamam slėgiui prasidės vandens kondensacija. Priešingu atveju, kai generatoriuje vanduo išgarinamas, tirpalo soties temperatūra mažėja. Šis temperatūrų pokytis dar kitaip vadinamas soties temperatūrų pokyčiu dėl tirpalo koncentracijų skirtumo. Soties temperatūrų pokytis matuojamas kaip temperatūrų skirtumas tarp didelės koncentracijos tirpalo, išeinančio iš generatoriaus ir mažos koncentracijos tirpalo, išeinančio iš absorberio.

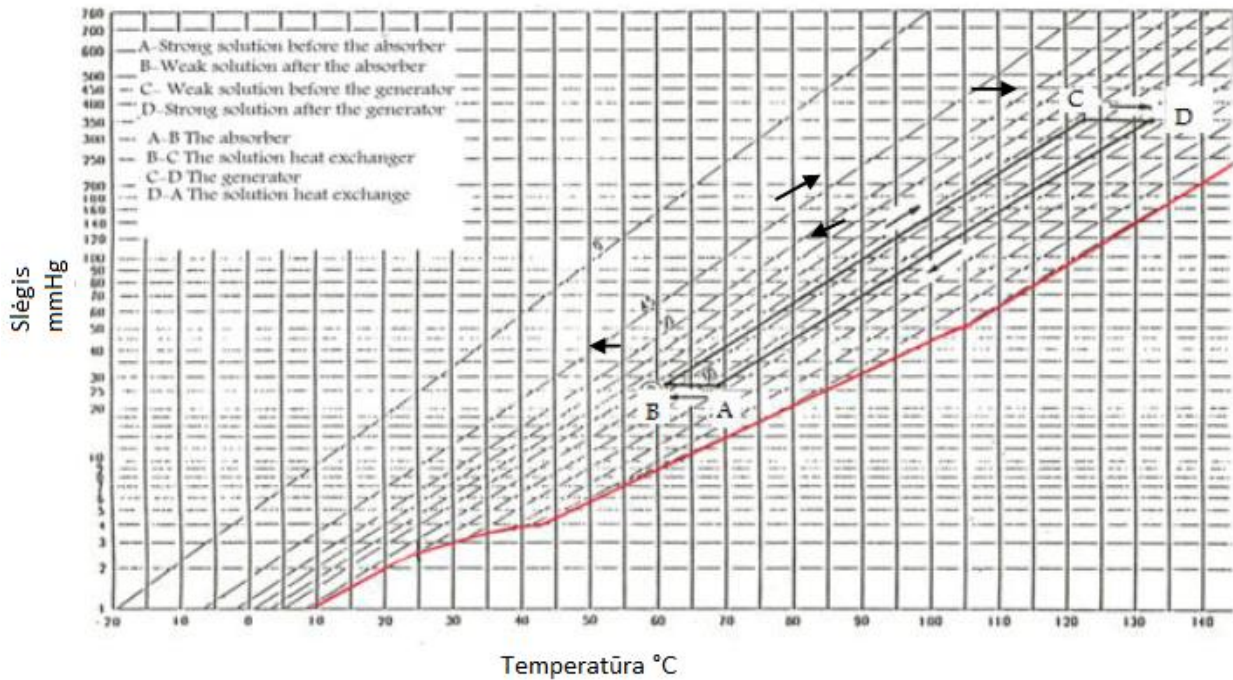
Šis soties temperatūrų pokytis dėl tirpalo koncentracijų skirtumo ir yra AŠS variklis, kuris perkelia žemesnės temperatūros fluído šiluminę energiją į aukštesnės temperatūros fluідą.

1.2.1 Tirpalo kristalizacija

Tirpalo kristalizacija įvyksta kai LiBr druskų koncentracija pasiekia tirpumo ribą, t.y., kai LiBr druskų koncentracija būna per didelė, kad ištirptų vandenyje ir jos nusėda įrenginyje, o tai sukelia įrenginio sklاندaus veikimo sutrikimus.

Druskų tirpumas labiausiai priklauso nuo druskų masės dalies ir tirpalo temperatūros. Taip pat nedidelę įtaką daro ir aplinkos, kurioje yra tirpalas, slėgis. Kai druskos pradeda kristalizuotis įrenginyje, tai prasideda nesustabdomas kristalizavimosi procesas. Kristalizacija ir toliau tęsis net ir tada, kai druskų koncentracija bus mažesnė nei tirpumo riba. Dėl įrenginyje nusėdusių druskų mažėja šilumos ir masės mainų efektyvumas, todėl mažėja ir šilumos siurblio COP. Laikui bėgant druskos visiškai užkemša kanalus ir įrenginys turi būti priverstinai stabdomas [6].

Siekiant sumažinti LiBr kristalizacijos riziką, turi būti palaikomos iš dalies aukštos temperatūros ir iš dalies mažos LiBr druskų koncentracijos. Didžiausia kristalizacijos rizika AŠS būna tada, kai didelės koncentracijos tirpalas yra ataušinamas šilumokaityje. Šiame taške tirpalo koncentracija būna didžiausia, o temperatūra – mažiausia. Kaip pavyzdį galime matyti jau pagaminto AŠS, kuris įrengtas „Renova AB“ atliekų perdirbimo įmonėje Švedijoje [7] (taškas A 1.2 Pav.).



1.2 Pav. Kristalizacijos kreivė (raudona) absorbcijos ir desorbcijos procesuose.

1.3 Absorbcinio šilumos siurblio parametrai

Pagrindinis parametras, apibūdinantis šilumos siurblio darbą, yra transformacijos koeficientas (toliau COP). Šis dydis apibūdina įdėto darbo efektyvumą, lyginant su gautu naudingumu rezultatu. Šis dydis yra didesnis už vienetą, tačiau jo laikyti kaip efektyvumo negalima, nes tai reikštų, kad įrenginys generuotų daugiau energijos nei į jį būtų įdedama, tai prieštarauja pirmajam termodinamikos dėsnui.

AŠS COP apskaičiuojamas pagal lygtį:

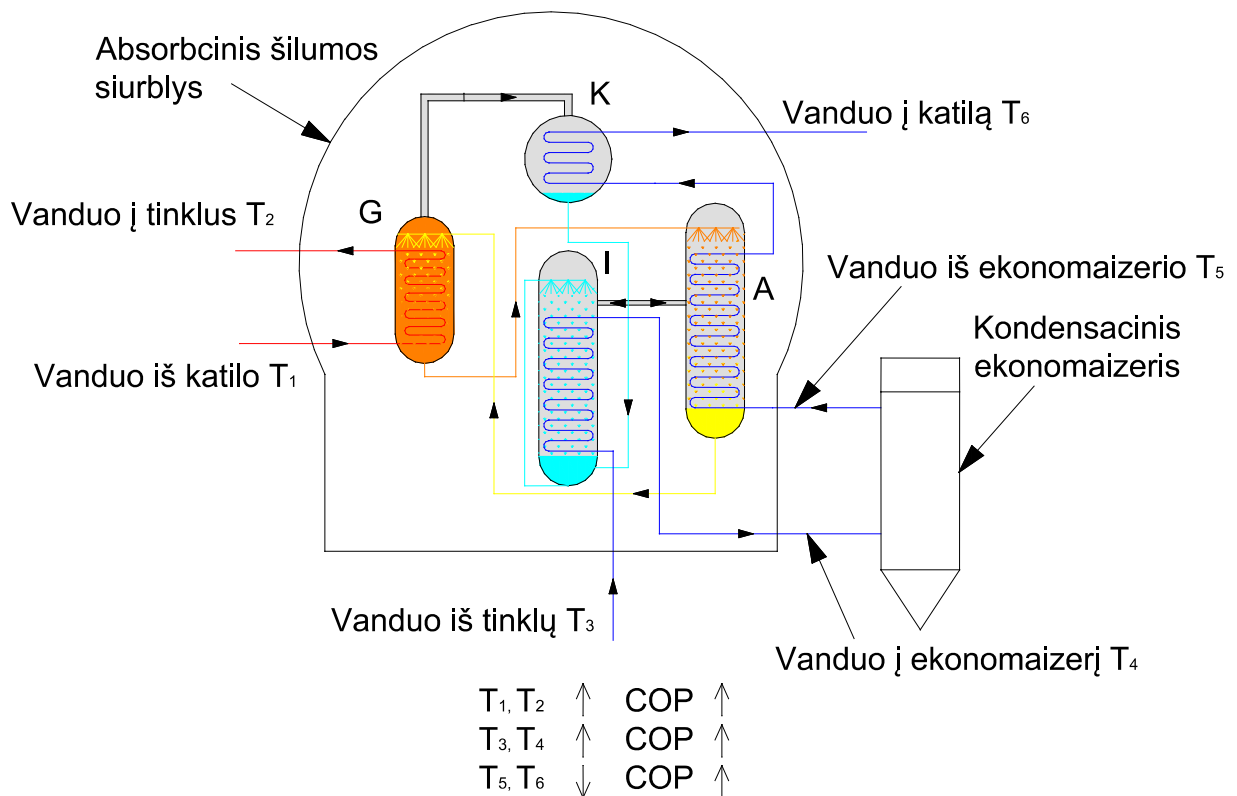
$$COP_{\text{šil}} = \frac{Q_g + Q_l}{Q_g} = \frac{\text{Įdėta šiluma} + \text{šaldymo galia}}{\text{Įdėta šiluma}} \approx 1,4 \div 1,9 \quad (1.1)$$

AŠS COP, kaip ir kompresorinio šilumos siurblio, priklauso nuo virimo ir kondensacijos temperatūrų skirtumų. Tačiau AŠS atveju, COP kinta mažesnėse ribose, nes ši sistema yra sudėtingesnė už kompresorinio šilumos siurblio. AŠS sistemą sudaro ne vienas, o du darbo agentai. Šie darbo agentai, vykstant šilumos ir masės mainams, AŠS sistemoje yra išgarinami, sukondensuojami, atskiriami ir vėl ištirpinami vienas kitame, o dėl masės mainų termodinaminių nuostolių AŠS COP yra mažiau priklausomas nuo virimo ir kondensacijos proceso.

Pagrindiniai AŠS COP lemiantys veiksniai:

- Į generatorių tiekiami vandens temperatūra T_1 ir T_2 ir srautas. Kuo temperatūra ir srautas didesnis, tuo didesnis COP;
- Įėjimo ir išėjimo žemesnio potencialo vandens temperatūra iš kurio atimama šiluma T_3 ir T_4 . Kuo temperatūros didesnės, tuo COP didesnis;
- Įėjimo ir išėjimo aukštesnio potencialo vandens temperatūra į kurią perkeliama šiluma T_5 ir T_6 . Kuo temperatūros mažesnės, tuo COP didesnis.

Taigi, galime daryti išvadą – kuo mažesnis temperatūrų skirtumas tarp žemesnio potencialo šilumos šaltinio ir aukštesnio potencialo šilumos šaltinio, tuo COP bus didesnis [8].



1.3 pav. Absorbcinio šilumos siurblio COP lemiantys veiksniai.

Pagal gamintojų rekomendacijas, šilumos siurblys turi veikti nusistovėjusiu režimu esant kuo stabilesniems parametrams, nes dideli temperatūrų pasikeitimai gali padidinti kristalizacijos riziką įrenginyje. Gamintojas rekomenduoja neviršyti 5 °C termofikacinio vandens temperatūrų kitimo diapazono.

2 ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO PANAUDOJIMO GALIMYBĖS ENERGIJOS GAMYBAI

Absorbciniai šilumos siurbliai pasaulyje dažniausiai naudojami pramoninių pastatų vėsinimui, centralizuotam pastatų vėsinimui ir t.t. Taip pat AŠS naudojami pramonėje – atliekinės šilumos panaudojimui (cheminėse ar naftos perdirbimo gamyklose) ir kitose pramonės srityse, kur vyksta daug procesų skirtingose temperatūrose ir yra atliekinė žemo potencialo šiluma, kurios neįmanoma panaudoti kitame procese, naudojant šilumokaičius, dėl per žemos temperatūros. Šiuo atveju į pagalbą pasitelkiami AŠS.

Šiame darbe nagrinėjama AŠS atvirkštinio proceso panaudojimas – fluido atšaldymas, prijungiant AŠS prie dūmų kondensacinio ekonomizerio. Naudojant šią technologiją galime dar giliau ataušinti degimo produktus ir padidinti energijos gamybos efektyvumą.

2.1 Energijos gamybos efektyvumas

Energijos gamybos efektyvumas nusakomas naudingumo koeficientu. Naudingumo koeficientas parodo santykį tarp naudingo darbo ir sunaudotos šilumos. Naudingumo koeficientas gali būti apskaičiuojamas tiesioginiu metodu, pagal (2.1) formulę ir netiesioginiu metodu, pagal (2.2) formulę. Tiesioginis metodas naudojamas tik tada, kai galima išmatuoti naudingai pagamintą šilumą tiekiamą į centralizuoto šildymo tiekimo (toliau – CŠT) ar kitą sistemą. Netiesioginis metodas yra skirtas apskaičiuoti katilo NVK, kai nėra žinomas atliktas naudingas darbas, todėl galime rasti efektyvumą atimdami šilumos nuostolius.

$$NVK = \frac{Q}{Q_b} \quad (2.1)$$

Čia:

Q – Naudingas katilo darbas perduotas į šildymo sistemą;

Q_b – Išsiskiriantis energijos kiekis sudegus kurui.

$$NVK = 100\% - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) \quad (2.2)$$

Čia:

Q_2 – išmetamų dūmų išnešama šiluma;

Q_3 – cheminiai nesudegimo nuostoliai;

Q_4 – mechaniniai nesudegimo nuostoliai;

Q_5 – šilumos nuostoliai į aplinką;

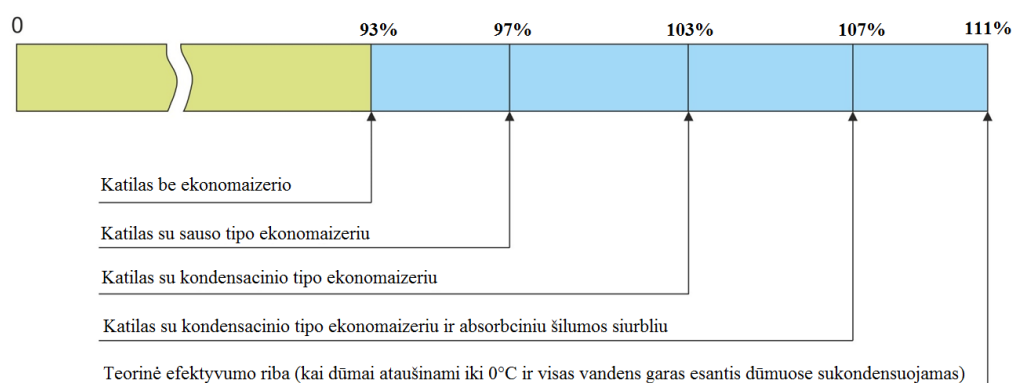
Q_6 – šilumos nuostoliai su šlaku ir pelenais.

Daugiausiai šilumos yra prarandama su išmetamų degimo produktų išnešama šiluma. Katilo naudingumo koeficientas didėja, kai išmetamų dūmų temperatūra mažėja. Kol nėra pasiektas degimo produktų rasos taškas, katilo NVK yra tiesiogiai priklausomas nuo dūmų temperatūros (2.1 lentelė). Tačiau ši priklausomybė skiriasi deginant skirtingą kurą. Ši priklausomybė yra ypač aktuali įrengiant sauso tipo dūmų ekonomaizerį, nes jame nevyksta kondensacijos procesas.

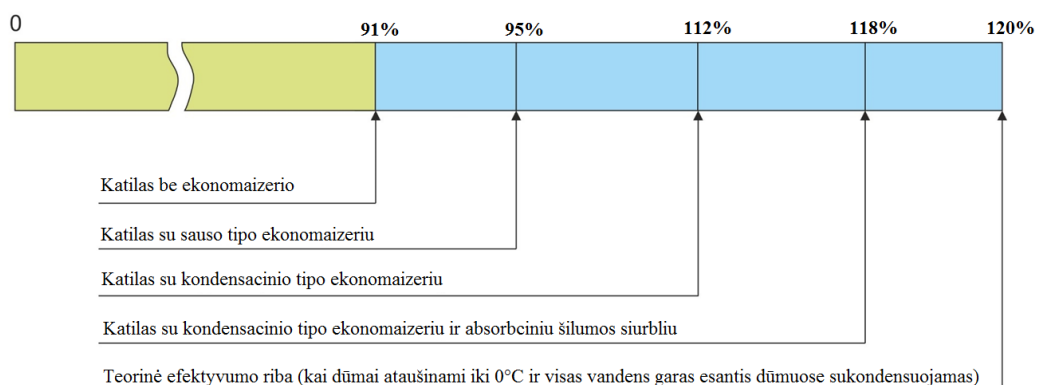
2.1 lentelė. Katilo NVK priklausomybė nuo dūmų temperatūros.

Deginamas kuras	Degimo produktų temperatūros pokytis 1 % NVK padidėjimui
Medienos skiedra (W = 45 %)	16 °C
Gamtinės dujos	23 °C

Kai pasiekama degimo produktų kondensacijos riba, NVK pradeda smarkiai didėti. Teoriškai degimo produktus galime ataušinti ir iki 0 °C, tuo pačiu ir pasisavinti visą slaptąją garavimo šilumą iš degimo produktuose esančių vandens garų. Tokiu atveju NVK gali padidėti net iki 111 %, deginant gamtines dujas (2.1 pav.) ir net 120 %, deginant biokurą, kai medienos skiedros drėgmė yra 45 % (2.2 pav.).



2.1 pav. Teorinės efektyvumo ribos deginant gamtines dujas.



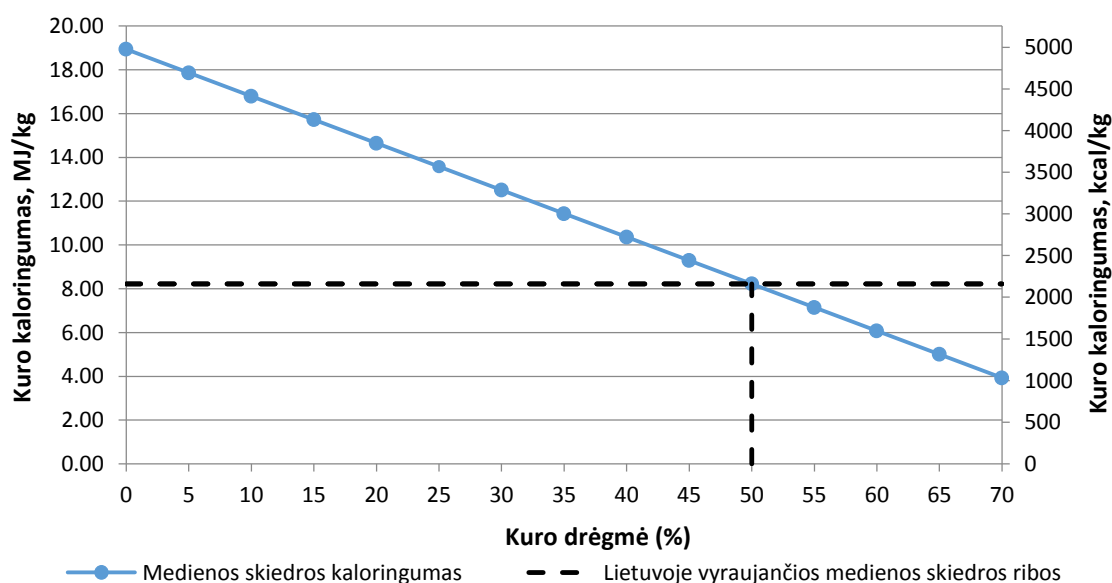
2.2 pav. Teorinės efektyvumo ribos deginant biokurą.

Teorinės efektyvumo ribos, kai degimo produktai ataušinami iki 0 °C ir visas vandens garas esantis dūmuose sukondensuojamas, praktikoje pasiekti beveik neįmanoma, tačiau privalome ieškoti efektyvių būdų kaip ataušinti degimo produktus ir maksimaliai priartėti prie teorinės efektyvumo ribos. Todėl toliau apžvelgsiu absorbcinio šilumos siurblio panaudojimą su DKE, kuris teoriškai leistų pasiekti 118 % NVK deginant biokurą, kurio drėgmė 45 %, o taip pat ir 107 % NVK deginant gamtines dujas.

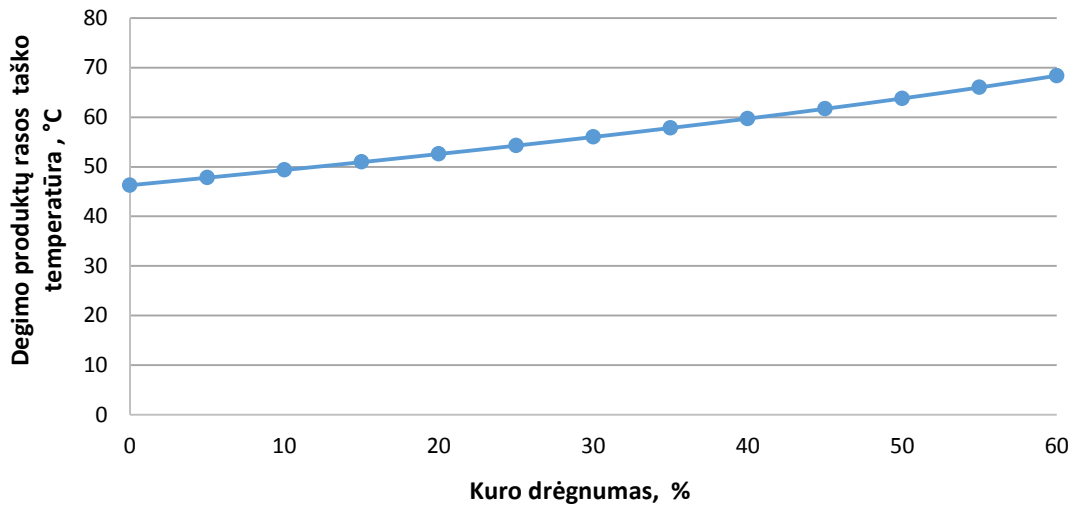
2.2 Absorbcinio šilumos siurblio pritaikymo analizė kondensaciniam dūmų ekonomizeriui deginant biokurą

Biokuras – kuras, kuris yra atsinaujinantis energijos šaltinis, kuris susideda iš biomasės ir atliekų (medienos skiedra, biologiškai skaidžios atliekos ir kt.).

Medienos skiedra – Lietuvoje plačiausiai paplitęs deginamas biokuras. Specialiai nedžiovinotos medienos skiedros naudojamosios masės žemutinė šiluminė vertė, esant skirtingam kuro drėgnumui, svyruoja nuo 5,5 MJ/kg iki 12 MJ/kg (žr. 2.3 pav.). Vidutinės medienos, kurios drėgnumas 50 %, degimo produktų rasos taškas yra apie 64 °C (2.4 pav.), kai O₂ kiekis sausuose dūmuose 6%.



2.3 pav. Medienos skiedros kaloringumo priklausomybė nuo kuro drėgnumo.

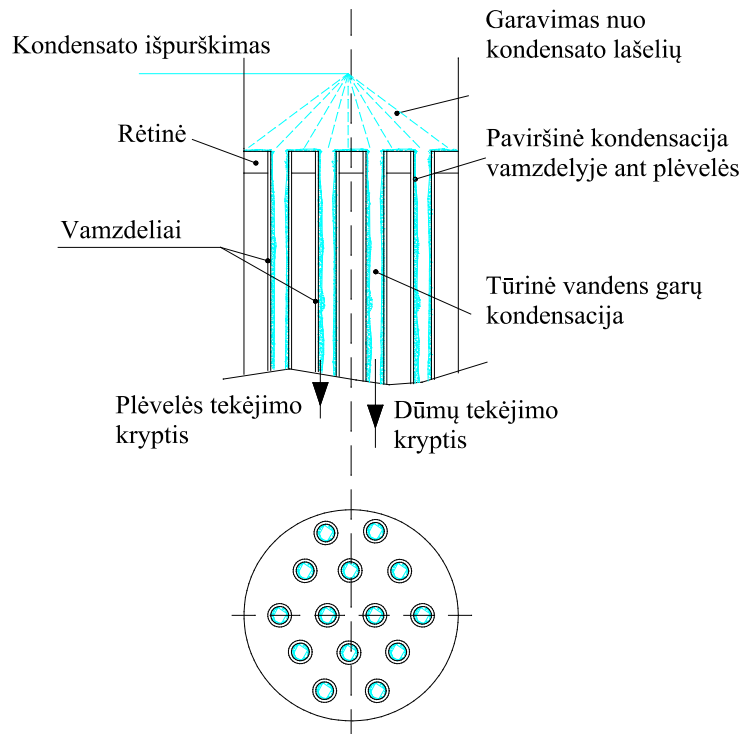


2.4 pav. Medienos skiedros degimo produktų rasos taško priklausomybė nuo kuro drėgnumo.

Efektyvus medienos skiedros deginimo procesas yra sudėtingas dėl santykinai sunkiai valdomo degimo proceso (lyginant su gamtinėmis dujomis). Proceso valdymas yra sudėtingas dėl labai įvairios deginamos medienos cheminės sudėties, drėgnumo, frakcijos ir griežtų aplinkosauginių reikalavimų. Šios priežastys lemia, kad katilinėje atsiranda daug papildomos sudėtingos įrangos, tokios, kaip kuro sandėlis su greiferiniais kranais ir kuro transporteriais, verdančio sluoksnio arba judančio ardymo pakura, pakuros ir bunkerio hidraulika, multiciklonai, elektrostatiniai filtrai, pelenų šalinimo sistemos, DKE ir kt. Tačiau šiuolaikinių technologijų ir inžinierių pagalba leidžia automatizuoti biokuro degimo procesą, todėl šioje sudėtingoje įrenginių struktūroje galime įkomponuoti ir nemažiau sudėtingą įrenginį – absorbcinį šilumos siurbį.

Biokurą deginančios jėgainės DKE yra sudėtingų šilumos ir masės mainų procesų įrenginys, kuriame į dūmų srautą išpurškiamų lašelių pagalba, vykstant šilumos ir masės mainams, kondensuojasi dūmuose esantys vandens garai.

Pagrindiniai procesai vykstantys biokuro kondensaciniame dūmų ekonomizeryje – paviršinė kondensacija ant vamzdelyje susidariusios šalto vandens plėvelės ir tūrinė kondensacija dėl šaltos aplinkos supančios degimo produktų srautą vamzdeliuose (2.5 pav.).



2.5 pav. Procesai vykstantys biokuro dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje

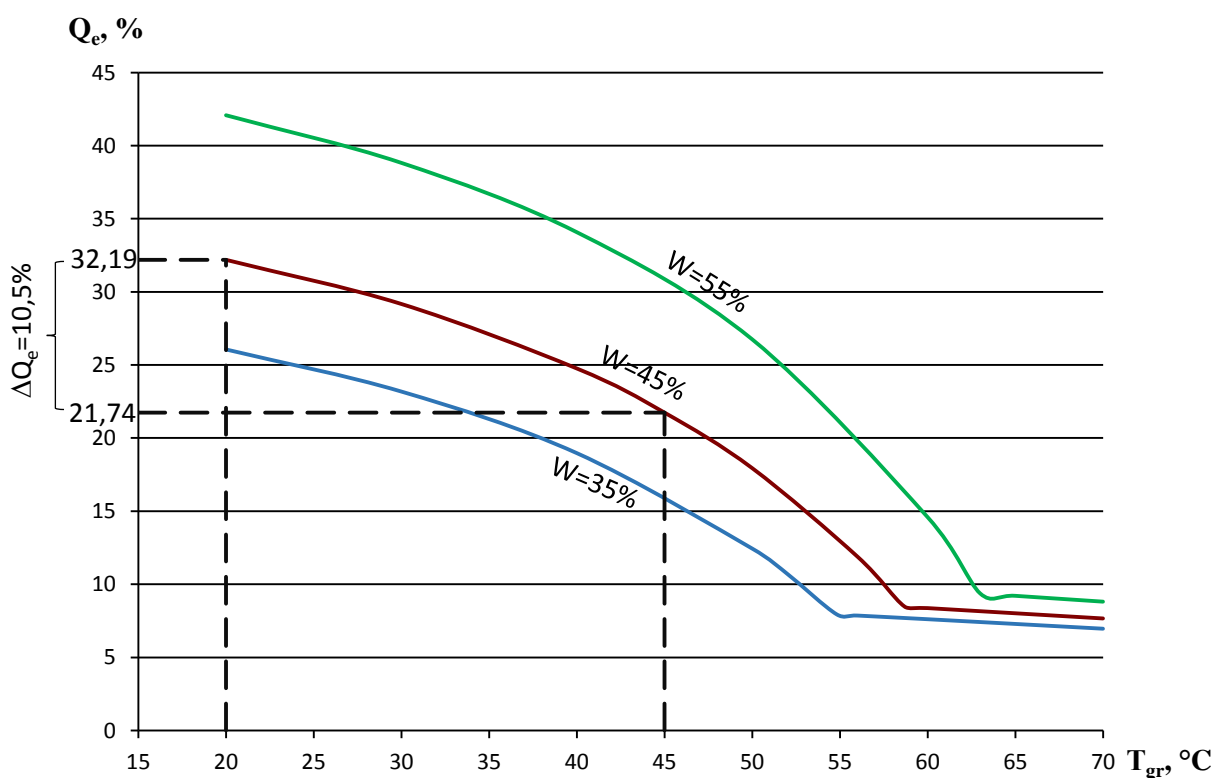
Vandens lašelių išpurškimas dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje turi kelias pagrindines funkcijas:

- 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.
- 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.

Dūmų kondensaciniame ekonomizaizeryje susidaręs kondensatas turi būti pašalinamas į nuotekų sistemą. Tačiau remiantis katilinių įrengimo taisyklėmis [9] ir statybos techniniu reglamentu STR 2.07.01:2003 [10], kondensato šalinimas nėra galimas dėl jo užterštumo, nes neatitinka nuotekų šalinimo normų. Degimo produktuose esančios kietos dalelės, kurios nusėda DKE kartu su kondensatu lemia susidariusio kondensato vandens kokybę. Kondensatas yra

tiekiamas į kondensato valymo sistemą, kur iš pradžių yra neutralizuojamas kondensato pH = 6,5 – 6,8, į jį dozuojant šarmo ir rūgšties tirpalus. Po neutralizacijos kondensatas turi būti išvalomas nuo nusėdusių kietųjų dalelių, todėl į jį yra dozuojama koagulianto reagento, kad smulkios kietosios dalelės koaguluotų į didesnes. Koaguluotos dalelės flokuliuojamos dozuojant flokulianto reagentą. Chemiškai ir mechaniškai paruoštas kondensatas tiekiamas į nusodinimo filtrus, kur kietosios dalelės pašalinamos iš kondensato ir kondensatas yra paruoštas išmetimui į nuotekų sistemą.

DKE galia priklauso nuo deginamo kuro drėgnumo ir aušinančio fluideo (termofikacinio vandens) temperatūros. Pritaikius AŠS darbui su DKE, aušinančio fluideo temperatūra krenta, dėl to išauga DKE galia. Pagal kuro drėgnumą galime rasti ir DKE galios priklausomybę nuo vandens temperatūros įeinančios į DKE (2.6 pav.). DKE galia išreikšta % nuo katilo galios. Trumpiau tariant, jei katilo galia 100 MW, kuro drėgnumas 45 %, paduodamo į DKE vandens temperatūra 45 °C, tai DKE galia bus 21,74 % nuo katilo galios arba 21,74 MW.



2.6 pav. Biokuro DKE galios (% nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros.

Iš čia matome, kad prasidėjus kondensacijai DKE galia smarkiai išauga, o įvykdžius gilų degimo produktų ataušinimą, naudojant AŠS su DKE, įmanoma išgauti net apie 10 % daugiau galios, lyginant su įprastine grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra. Teoriškai, degimo produktus ataušinus iki 0 °C, galėtume pasiekti ir 36 % DKE galią, procentais nuo katilo galios, tačiau tokiu atveju neproporcingai išaugtų absorbcinio šilumos siurblio dydis ir tokios sistemos

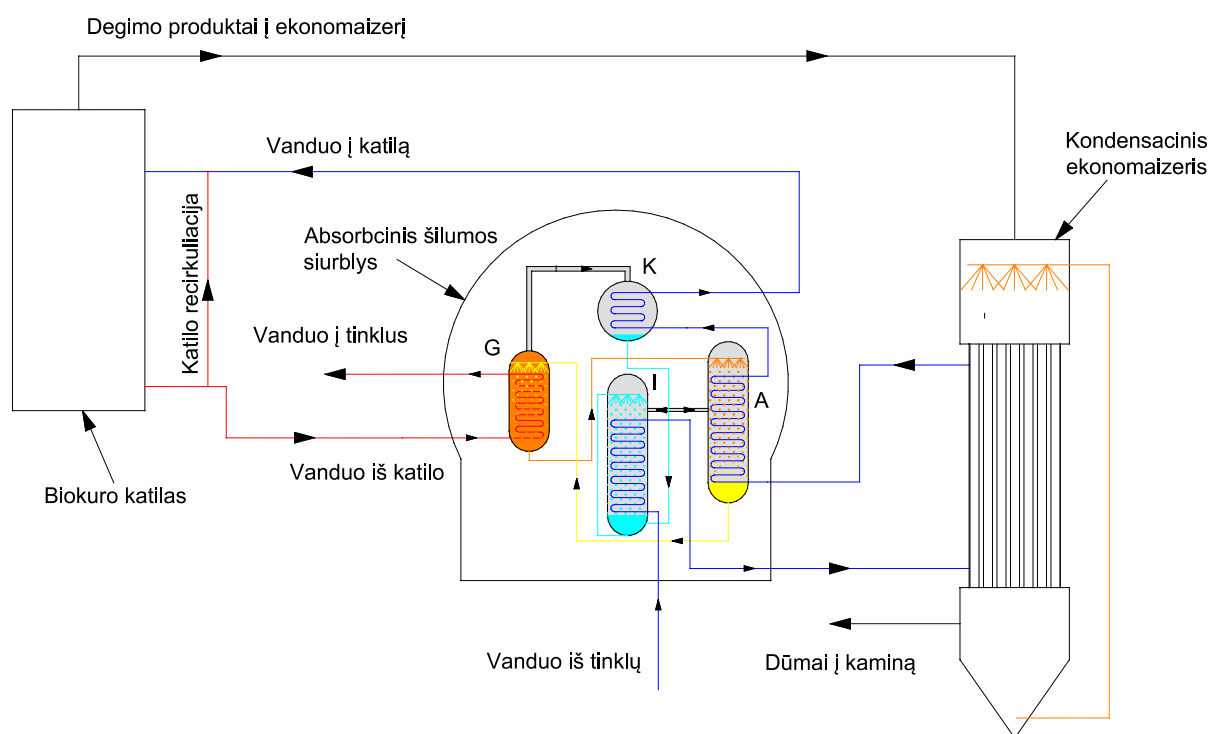
kaina. Įvykdžius gilų degimo produktų ataušinimą padidėja ir sukondensuoto vandens garo kiekis. Esant didesniam kondensato kiekiui reikia įvertinti ir galimai didesnio našumo kondensato valymo sistemą. Skaičiavimai atlikti „FlueGas“ programine įranga [11].

2.2.1 AŠS prijungimas į bendrą biokuro vandens šildymo katilinės sistemą

Absorbcinio šilumos siurblio prijungimas į bendrą biokuro katilinės sistemą gali būti įvairus, tačiau norint pasiekti efektyviausią rezultatą reikia surasti ir efektyviausią prijungimo sprendimą, kuris leistų pasiekti didžiausią energetinę ir ekonominę naudą.

Iš esmės, grįžtantis iš CŠT termofikacinis vanduo, į AŠS turėtų būti jungiamas pagal 1.2 skyriuje aprašytą veikimo principą – grįžtamas termofikacinis vanduo tiekiamas į AŠS išgarintuvą, tada jame ataušinamas iki reikiamos temperatūros, pavyzdžiui 20 °C, ir tiekiamas į DKE. Termofikacinis vanduo pasisavinęs šilumą, kuri susidaro dūmuose esančių vandens garų kondensacijos metu, toliau tiekiamas į AŠS absorberį ir kondensatorių, kuriuose perkeliama šiluma gauta iš generatoriaus ir išgarintuvo.

Į generatorių tiekiamas karštas termofikacinis vanduo iš katilo. Termofikacinis vanduo generatoriuje yra šiek tiek ataušinamas ir toliau tiekiamas į CŠT sistemą (2.7 pav.)



2.7 pav. Principinė dūmų kondensacinio ekonomizerio prijungimo schema biokuro vandens šildymo katilinėje.

Pagal gautus pasiūlymus iš šilumos siurblių tiekėjų [12] [13], šilumos siurblio, kurio COP = 1.7, investicijos siekia apie 470 tūkst. Eurų 1 MW šaldymo našumo. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio 1 MW katilo šiluminei galiai investicijos siekia apie 21 tūkst. Eurų (pvz. 10 MW katilo šiluminei galiai investicijos sieks 210 tūkst. eurų). Įsivertinus galimas investicijas galime optimizuoti sistemą.

2.2 lentelė. Įrenginių investicijos

Įrenginys	Pradinės investicijos
Absorbacinis šilumos siurblys	570000 eurų/MW (šaldymo)
Biokuro dūmų kondensacinis ekonomizaizeris	21000 eurų/MW (katilo galios)

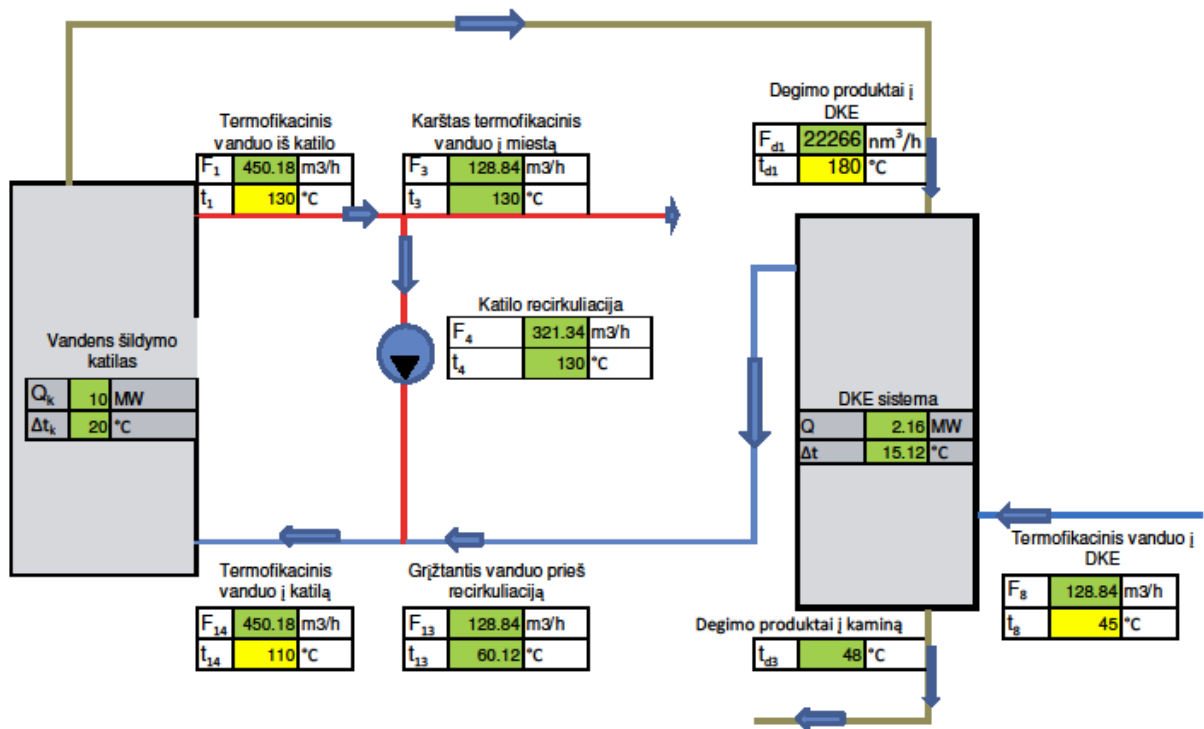
Tolimesniems skaičiavimams priimame, kad turime 10 MW vandens šildymo katilą, kuriame deginame 45 % drėgnumo kurą. Deginamo kuro elementinė sudėtis pateikta 2.3 lentelėje. Iš katilo išeinančių degimo produktų temperatūra 180 °C. Iš katilo tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra 130 °C, iš CŠT sistemos grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra 45 °C. Priimame, kad AŠS išgarintuve termofikacinį vandenį aušinsime iki 20 °C.

2.3 lentelė. Deginamo kuro naudojamosios masės elementinė sudėtis.

C (anglis)	H (vandenilis)	O (deguonis)	N (azotas)	S (siera)	A (pelenai)	W (drėgmė)
27,31 %	3,44 %	23,49 %	0,083 %	0	0,68 %	45 %

Dūmų kondensacinis ekonomizaizeris vandens šildymo katilinėje įprastai yra jungiamas prie CŠT grįžtančio termofikacinio vandens. Vanduo iš DKE tiekiamas į katilą, kur yra sušildomas iki reikiamos temperatūros ir paduodamas į CŠT.

Esant aukščiau išvardintoms sąlygoms ir atlikus šiluminio ir masės srautų balanso skaičiavimą (žr. 2.4 lentelė ir 2.8 pav., skaičiavimai atlikti Microsoft Excel programine įranga [14]), DKE be absorbacinio šilumos siurblio gali susigrąžinti iki 2,16 MW šiluminės galios.



2.8 pav. Dūmų kondensacinio ekonomizerio principinė technologinė schema vandens šildymo katilinėje

2.4 lentelė. Dūmų kondensacinio ekonomizerio skaičiavimų rezultatai

Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O ₂ kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	105	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	t_7	45	°C
8	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE	t_{15}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-
DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	2160.2	kW
11	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{k+DKE}	104.64	%
Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
17	Katilo našumas	Q_k	10	MW
18	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%

Prie šios sistemos įkomponavus AŠS ir atlikus tolimesnius šilumos ir masės balanso skaičiavimus (žr. 2.5 lentelę), galime matyti, kad tokia sistema nebus ekonomiškai efektyvi, nes prireiks santykinai labai didelio našumo AŠS lyginant su katilo galia ir DKE galia. 10 MW galios katilui ir 3,3 MW dūmų kondensacinio ekonomizaizerio galiai, prireiks įrengti net 6,75 MW šaldymo galios AŠS, kas pareikalaus net 3,85 mln. eurų investicijos tik į šilumos siurblių, neįvertinus to, kad reikės įrengti ir našesnius termofikacinio vandens siurblius bei kitą papildomą įrangą. Taip pat, šiuo atveju, tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra į miestą, po AŠS generatoriaus, nukris net iki 94,29 °C, todėl daugeliu atveju toks temperatūros kritimas yra nepriimtinas. Tokia investicija, net ir neatliekant detalesnių ekonominių skaičiavimų, bus ekonomiškai nenaudinga, nes įdiegus AŠS susigrąžinsime tik 1,14 MW (žr. 2.8 pav. ir 1 priedą) papildomos šiluminės energijos, o tokios sistemos atsipirkimo laikotarpis sieks net 350 metų. Taip yra todėl, kad be didelių AŠS investicijų galime įsirengti ženkliai pigesnę DKE. Į ją tiekiant 45 °C termofikacinį vandenį esant toms pačioms sąlygoms susigrąžintume apie 2,16 MW šilumos iš degimo produktų, o tokios sistemos 10 MW katilui kaina siekia apie 210 tūkst. eurų neįskaičiuojant kondensato valymo sistemos, kuri sudaro daugiau nei pusę dūmų kondensacinio ekonomizaizerio kainos. Reikia nepamiršti, kad diegiant AŠS taip pat reikės ir našesnio DKE.

2.5 lentelė. Absorbicinio šilumos siurblio skaičiavimo rezultatai, kai visas grįžtantis termofikacinis vanduo tiekiamas į išgarintuvą.

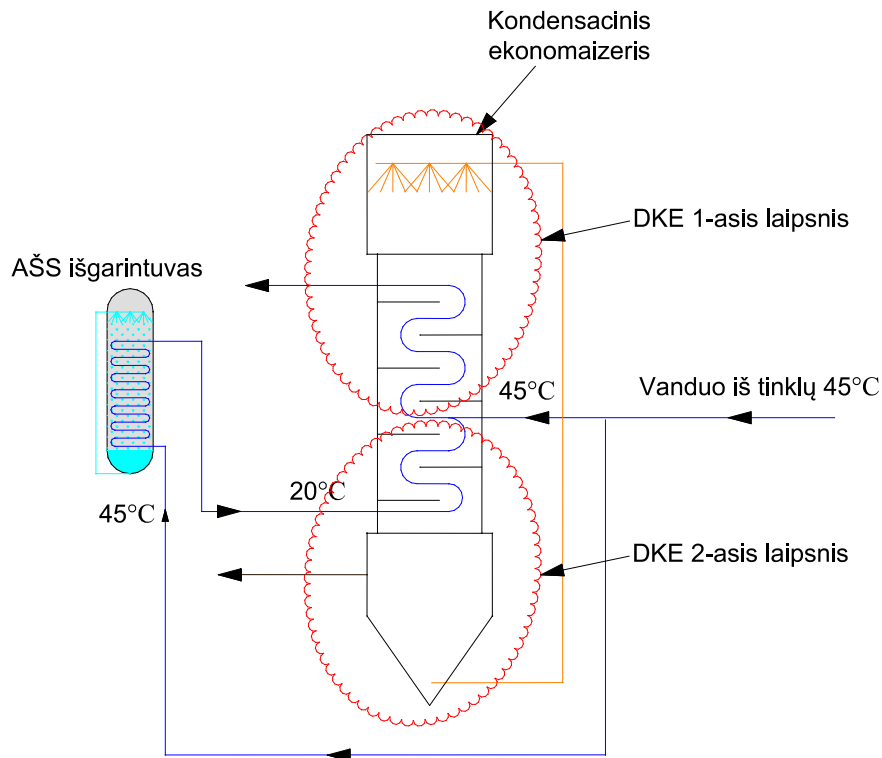
Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O ₂ kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	105	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	t_7	45	°C
8	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE	t_{15}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-
DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
11	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{k+DKE}	114.50	%

Absorbacinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
12	COP	COP	1.70	-
13	Generatoriaus galia	Q_{gen}	9.64	MW
14	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	16.39	MW
15	Išgarintuvo galia	$Q_{iš}$	3.30	MW
16	Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (teikiama į miestą)	t_3	94.29	°C
Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
17	Katilo našumas	Q_k	10	MW
18	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%

AŠS našumas, šiuo atveju, priklauso nuo labai didelio grįžtančio termofikacinio vandens kiekio, kurį reikia ataušinti išgarintuve. Norint pasiekti ekonomiškai efektyvų AŠS darbą, reikia šią sistemą optimizuoti – sumažinti termofikacinio vandens kiekį per AŠS, taip sumažindami reikiamą šaldymo galią ir investicijas.

Projektuojant tokią sistemą ir atsižvelgiant, kad viso vandens srauto per AŠS leidimas yra finansiškai nenaudingas, galime grįžtantį termofikacinio vandens srautą padalinti į dvi dalis – viena dalis, kurios temperatūra 45 °C, teikiama į DKE, o kita dalis teikiama per AŠS išgarintuvą, ataušinama iki 20 °C ir tik tada teikiama į DKE. Šiuo atveju reikia modernizuoti įprastą DKE įrenginį – jį taip pat padalinant į dvi dalis (žr. 2.9 pav.). DKE viduryje prijungti termofikacinio vandens įėjimą, kurio temperatūra 45 °C, o apačioje prijungti vandens iš AŠS išgarintuvo įėjimą, kurio temperatūra 20 °C. Termofikacinis vanduo tiekiamas tiesiai į DKE ir tiekiamas iš išgarintuvo, DKE viduryje susimaišomas, kad nereikėtų gaminti dviejų brangių slėginių įrenginių ir vandens išpurškimo sistemų. Tiksliai prijungimo vietas taip pat reikėtų tikslinti atlikus DKE įrenginio šiluminius ir masės balanso skaičiavimus arba srautų šiluminius modeliavimus.

DKE ir AŠS sistemos efektyviam veikimui termofikacinio vandens srautų pasiskirstymas turi būti toks, kad į AŠS išgarintuvą tiekiamas vandens srautas būtų lygus srautui, kurį ataušinus nuo 45 °C iki 20 °C, išgaunama šaldymo galia būtų lygi dūmų kondensacinio ekonomaizerio 2-ojo laipsnio galiai, o vandens susimaišymo vietoje šios temperatūros būtų vienodos – 45 °C. Toks sprendimas leistų ne tik įkomponuoti AŠS į naujai statomo DKE sistemą, bet leistų modernizuoti jau veikiančius biokuro DKE, juose išpjaunant kelias skylės, privirinant naujus atvamzdžius ir prijungiant AŠS.



2.9 pav. Kondensacinio ekonomizaizerio supaprastinta principinė prijungimo prie absorbcinio šilumos siurblio išgarintuvo schema.

Norint pasiekti aukščiau apibrėžtas sąlygas, priimame, kad po DKE 1-ojo laipsnio, degimo produktų temperatūra ataušinama iki 3 °C aukštesnės temperatūros, nei įeinančio termofikacinio vandens iš tinklų. Šiuo atveju degimo produktų temperatūra po 1-ojo DKE laipsnio turėtų būti 48 °C (2.3), o degimo produktų temperatūra DKE 2-ojo laipsnio išėjime 23 °C (2.4). Išeinančių degimo produktų temperatūros priimtos pagal praktikoje gautus UAB „Axis Technologies“ tiekiamus DKE rezultatus.

$$T_{d2} = T_8 + 3 = 45 + 3 = 48 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

$$T_{d3} = T_{10} + 3 = 20 + 3 = 23 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.4)$$

Esant tokioms degimo produktų temperatūroms, atlikus šilumos ir masės balanso skaičiavimus (žr. 2.6 lentelę ir 2 priedą), matome, kad padalinus termofikacinio vandens srautą į kelias dalis, iš DKE ir AŠS sistemos galime išgauti tą patį šilumos kiekį tik su žymiai mažesnėmis investicijomis į AŠS. Taip yra todėl, kad sumažinus termofikacinio vandens debitą per AŠS išgarintuvą tiek, kad užtektų ataušinti degimo produktus nuo 48 °C iki 23 °C, bendrame šilumos balanse galime gauti tuos pačius 3,3 MW, nes DKE 1-asis laipsnis dirbtų kaip paprastas DKE, tačiau šilumos siurblio ir 2-ojo DKE laipsnio pagalba susigražiname 1,14 MW šilumos. Tai lemia, kad sumažinus debitą reikės tik 1,14 MW šaldymo galios šilumos siurblio. Čia galime

daryti išvadą, kad absorbcinio šilumos siurblio išgarintuvo šaldymo galia turi būti lygi DKE antrojo laipsnio galiai:

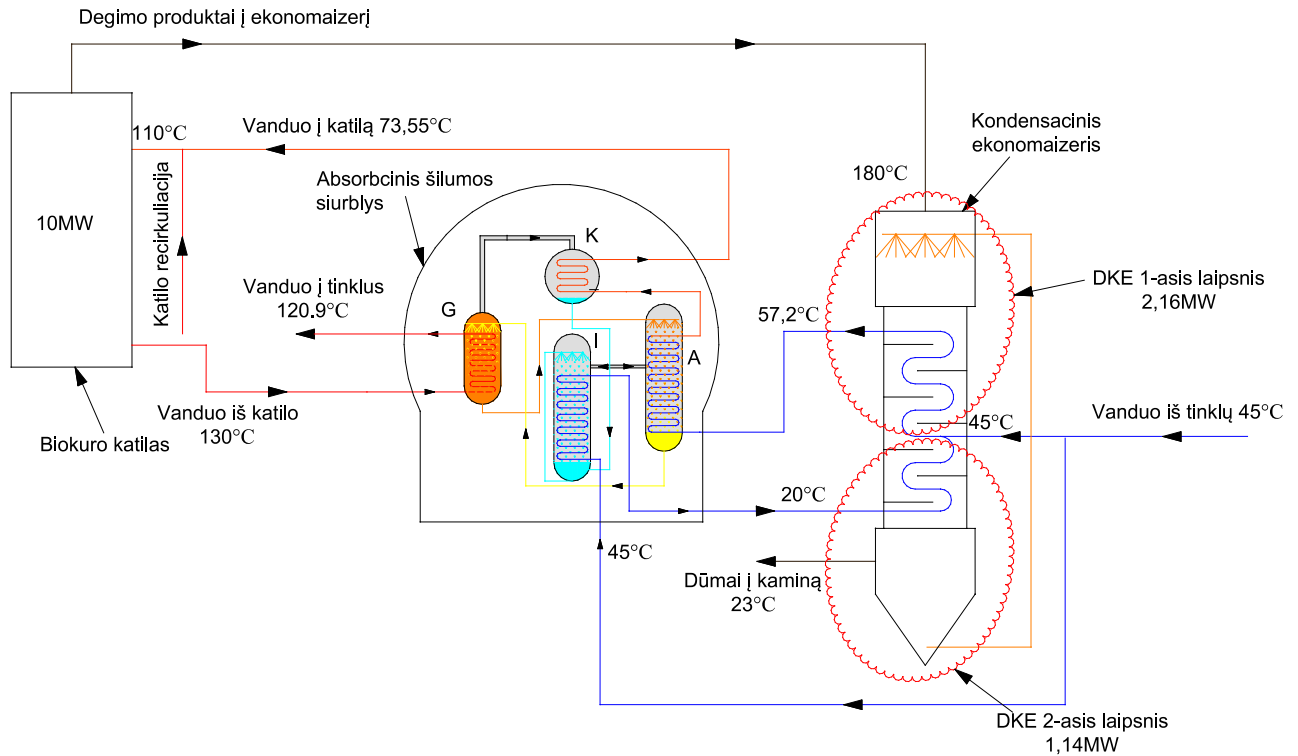
$$Q_{išg} = Q_{DKE2} \quad (2.5)$$

2.6 lentelė. Absorbcinio šilumos siurblio skaičiavimo rezultatai, kai dalis grįžtančio termofikacinio vandens tiekama į išgarintuvą.

Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	105	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	t_7	45	°C
8	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE	t_{15}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-
DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE-1 galia	Q_{DKE1}	2163.0	kW
11	DKE-2 galia	Q_{DKE2}	1140.64	kW
12	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
13	Katilo ir DKE-1 NVK	NVK_{k+DKE1}	104.64	%
14	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{k+DKE}	114.50	%
Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
15	COP	COP	1.65	-
16	Generatoriaus galia	Q_{gen}	1.75	MW
17	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	2.90	MW
18	Išgarintuvo galia	$Q_{iš}$	1.14	MW
19	Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (tiekama į miestą)	t_3	120.09	°C
Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
20	Katilo našumas	Q_k	10	MW
21	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%

Absorbcinio šilumos siurblio varomoji jėga – karštas termofikacinis vanduo iš katilo. Šiuo atveju, termofikacinio vandens temperatūra tiekama iš katilo yra 130 °C, tačiau AŠS generatoriuje jis yra ataušinamas iki 120,09 °C (žr.

2.10 pav.). Kai kuriais atvejais, aukšto potencialo šiluminės energijos vandens temperatūros sumažėjimas yra neleistinas dėl temperatūrinio grafiko, būtino karšto vandens gamybos procese ar kitų priežasčių.



2.10 pav. AŠS principinė technologinė schema ir šilumos balanso skaičiavimų rezultatai.

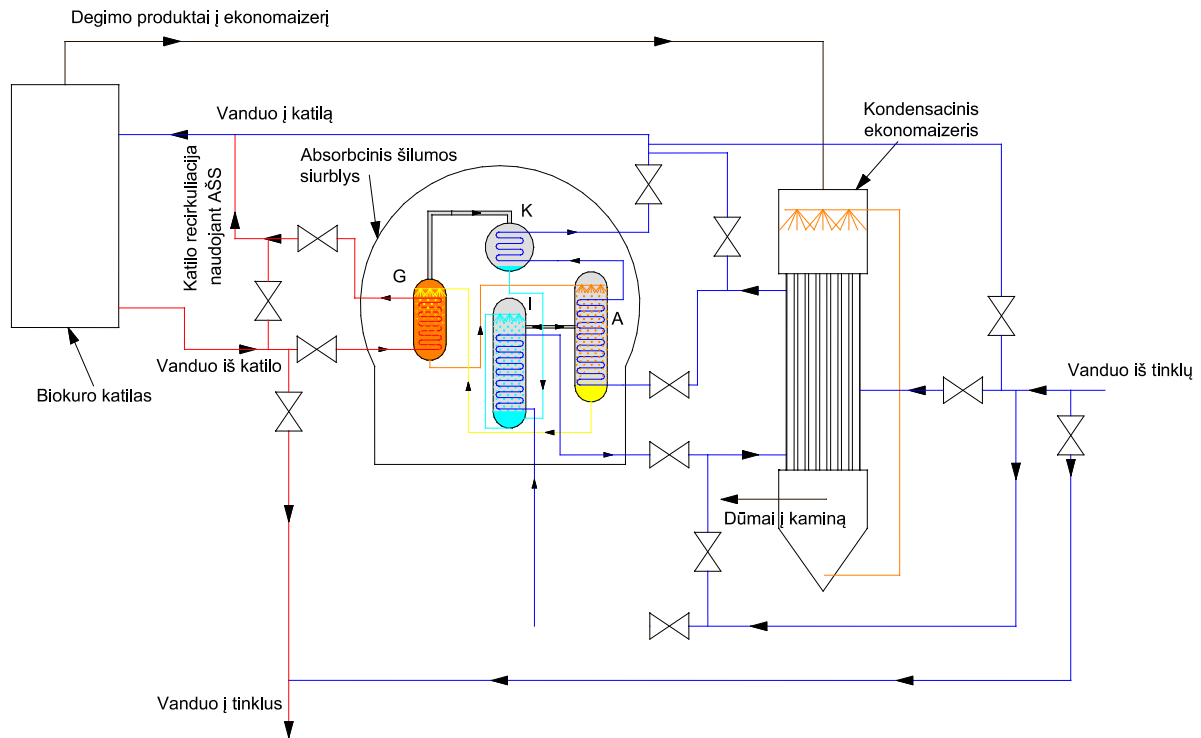
Norint išvengti tiekiamo karšto vandens temperatūros sumažėjimo, galime tokią sistemą dar labiau optimizuoti – katilo recirkuliaciją galime pakeisti AŠS generatoriaus karšto vandens recirkuliacijos kontūru (žr. 2.11 pav.). Termofikacinio vandens recirkuliacijos apsaugojimui nuo neplanuotų AŠS stabdymų galime įrengti termofikacinio vandens apėjimus į kiekvieną AŠS komponentą. Šiuo atveju, net ir atlikus neplanuotą AŠS stabdymą, DKE ir katilas gali toliau dirbti, uždarius į DKE vidurį tiekiamo vandens trakto sklendę ir visą termofikacinio vandens srautą tiekiant į DKE apačią, tuo pačiu apeinant AŠS.

Atlikus šilumos ir masės balanso skaičiavimus (žr. 2.7 lentelę ir 3 priedą), kai AŠS generatoriaus kontūras naudojamas kaip katilo recirkuliacija, matome nežymų termofikacinio vandens, tiekiamo į miestą, srauto sumažėjimą. Taip yra todėl, kad recirkuliacijai naudojamas žemesnio potencialo vanduo, bet į miestą tiekiamo vandens temperatūra aukštesnė nei prieš tai nagrinėtuose atvejuose ir galutiniam šilumos balanse energijos kiekiai nesikeičia. Praktikoje, tiekiamas karštas termofikacinis vanduo yra pamaišomas su grįžtančiu, šaltu termofikaciniu

vandeniu, prieš tiekiant jį į CŠT, todėl šiuo atveju neprarandame aukšto potencialo šilumos šaltinio, o energijos kiekiai išlieka tie patys.

2.7 lentelė. Skaičiavimo rezultatai AŠS recirkuliacija

Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	105	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	t_7	45	°C
8	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE	t_{15}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-
DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE-1 galia	Q_{DKE1}	2163.0	kW
11	DKE-2 galia	Q_{DKE2}	1140.64	kW
12	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
13	Katilo ir DKE-1 NVK	NVK_{k+DKE1}	104.64	%
14	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{k+DKE}	114.50	%
Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
11	COP	COP	1.7	-
12	Generatoriaus galia	Q_{gen}	1.63	MW
13	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	2.77	MW
14	Išgarintuvo galia	$Q_{iš}$	1.14	MW
19	Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (tiekama į miestą)	t_3	130	°C
Katilo skaičiavimų rezultatai				
30	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
31	Katilo našumas	Q_k	10	MW
32	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%



2.11 pav. Optimizuotos AŞS ir biokuro DKE sistemos principinė technologinė schema.

2.2.2 Biokuro dūmų kondensacinio ekonomizerio darbo su absorbciniu šilumos siurbliu analizė

Pagal 2.2.1 skyriuje atliktą AŞS prijungimo į bendrą vandens šildymo katilinės schemą optimizavimą, matome, kad biokuro DKE ir AŞS veikia efektyviai, neprarandame aukšto potencialo šilumos šaltinio ir maksimaliai sumažiname investicijas į absorbcinį šilumos siurblių. Pagal prieš tai priimtas prielaidas galime atlikti papildomus skaičiavimus su skirtingo drėgnumo medienos skiedra ir skirtingomis termofikacinio vandens, grįžtančio iš ČŠT, temperatūromis (žr. 2.8 lentelę). Papildomi skaičiavimai atliekami tam, kad išsiaiškinti kokiais darbo režimais absorbcinio šilumos siurblio pritaikymas darbui su kondensaciniu dūmų ekonomizeriu yra efektyviausias.

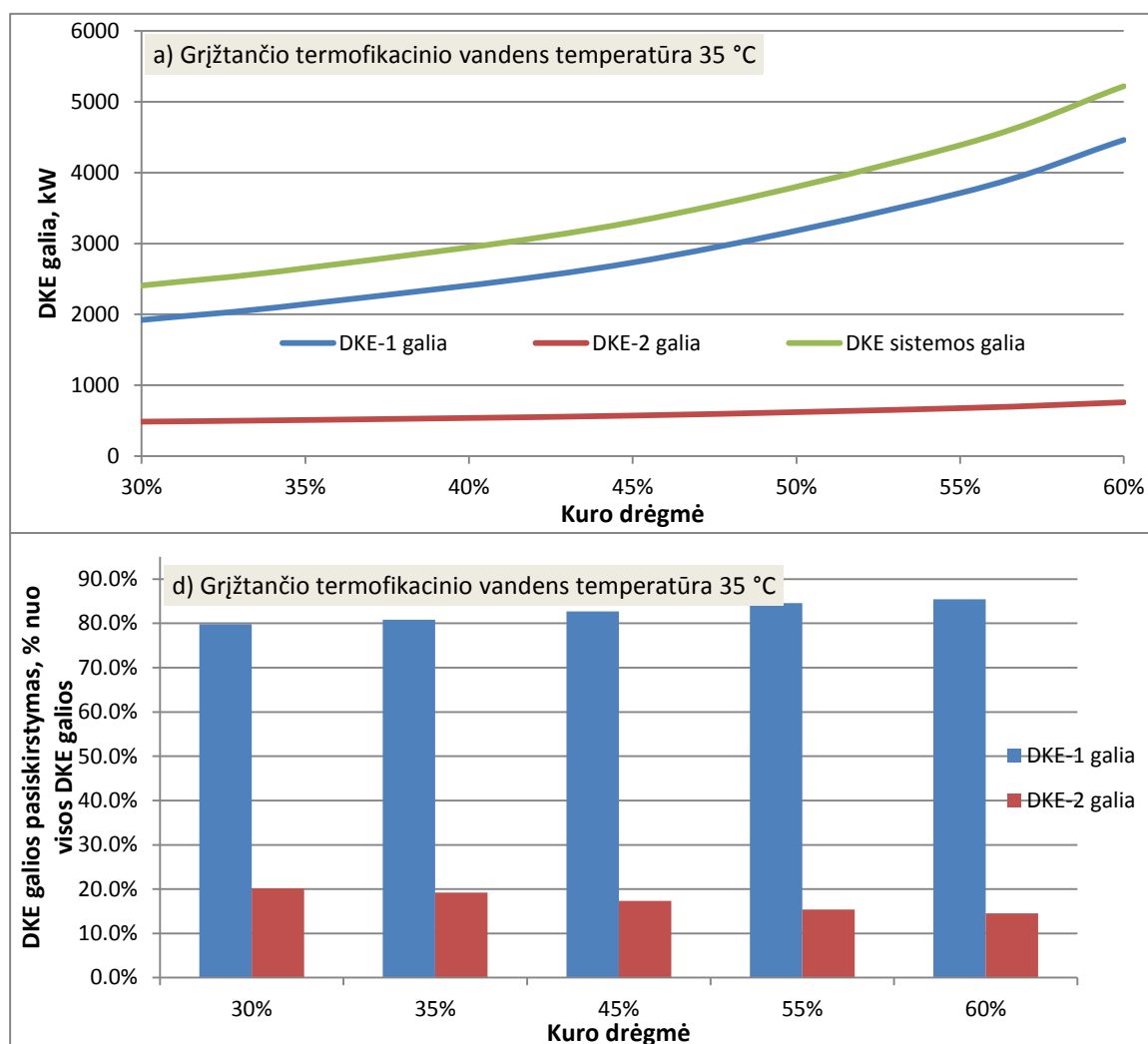
Skirtingi temperatūriniai režimai bei biokuro drėgnumai pasirinkti atsižvelgiant į Lietuvijoje ir užsienyje šiuo metu vyraujančią deginamo biokuro rinką, pagal UAB „Axis Technologies“ vykdomus projektus. Tolimesniems skaičiavimams taip pat priimame, kad biokuro vandens šildymo katilo galia yra 10 MW, O_2 tūrinė dalis sausuose dūmuose 6 %, degimo produktų temperatūra už katilo 180 °C. Priimame, kad į DKE 2-ąjį laipsnį tiesime AŞS išgarintuve ataušintą 20 °C termofikacinį vandenį.

2.8 lentelė. Biokuro DKE ir AŠS analizė esant skirtingiems darbo režimams

Darbo režimas	1	2	3	4	5	6
$T_{gr}, ^\circ\text{C}$	40	40	40	55	55	55
W, %	35	45	55	35	45	55

Termofikacinio vandens temperatūra ir biokuro drėgnumas yra proporcingas biokuro dūmų kondensacinio ekonomizaierio galiai (plačiau 2.2 skyriuje), todėl keičiantis šiems parametrams, keičiasi ir absorbcinio šilumos siurblio įtaka dūmų kondensacinio ekonomizaierio efektyvumui ir galiai.

Skaičiavimai atliekami Microsoft Excel programine įranga (žr. 3 ir 4 priedą).



2.12 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 35 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

Atlikus skaičiavimus matome kaip pasiskirsto dūmų kondensacinio ekonomizaierio sistemos galios įdiegus AŠS ir esant skirtingo drėgnumo biokurui (2.12 pav.). Šiuo atveju,

grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra konstanta 35 °C. Keičiantis biokuro drėgnumui, keičiasi ir DKE galia (2.12 pav. a). Šioje diagramoje pavaizduota biokuro DKE galios priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros. DKE galia išreikšta kW. DKE 1-asis laipsnis parodo, kokia DKE galia būtų, jei nenaudotume absorbcinio šilumos siurblio giliam degimo produktų ataušinimui, o DKE 2-asis laipsnis parodo papildomą išgaunamą galią naudojant AŠS. (2.12 pav. b) diagramoje pavaizduota biokuro DKE 1-ojo ir DKE 2-ojo laipsnio galios pasiskirstymas nuo visos DKE sistemos galios. Šis pasiskirstymas išreikštas procentais. Pavyzdžiui, jeigu turime 3 MW galios DKE sistemą, kuri sudaryta iš DKE 1-ojo laipsnio, į kurį tiekiamas termofikacinis vanduo iš tinklų ir iš DKE 2-ojo laipsnio, į kurį tiekiamas atšaldytas termofikacinis vanduo iš AŠS, tad jeigu DKE 1-ojo laipsnio galia yra 2,4 MW, o DKE 2-ojo laipsnio galia yra 0,6 MW, tai DKE 1-asis laipsnis sudaro 80 % visos DKE sistemos galios (2.6 lygtis), o DKE 2-asis laipsnis sudaro 20 % visos DKE sistemos galios (2.7 lygtis).

$$DKE_1(\%) = \frac{DKE_1(MW)}{DKE_{sistema}(MW)} \cdot 100\% = \frac{2,4 (MW)}{3 (MW)} \cdot 100\% = 80\% \quad (2.6)$$

$$DKE_2(\%) = \frac{DKE_2(MW)}{DKE_{sistema}(MW)} \cdot 100\% = \frac{0,6 (MW)}{3 (MW)} \cdot 100\% = 20\% \quad (2.7)$$

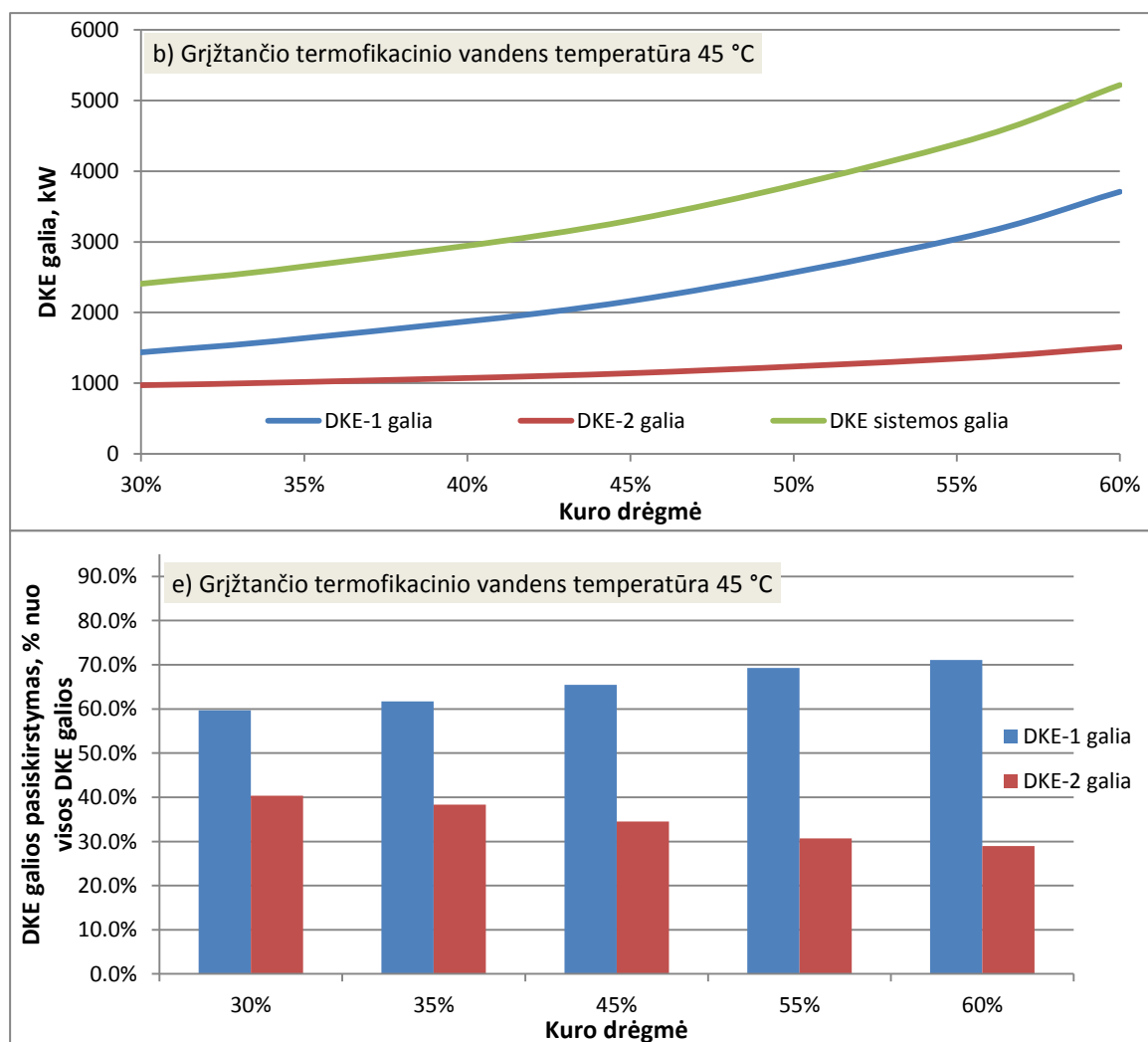
Biokuro drėgnumui didėjant, didėja ir DKE sistemos galia. Kai biokuro drėgnumas yra 30 %, DKE sistemos galia siekia 2,4 MW, kai katilo galia yra 10 MW. Biokuro drėgnumui išaugant iki 45 %, DKE sistemos galia išauga iki 3,3 MW, o drėgnumui pasiekus 60 %, sistemos galia išauga net iki 5,2 MW.

Dėl žemos grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros, DKE 1-ojo laipsnio galia yra santykinai didelė ir siekia 1,9 MW, kai kuro drėgmės kiekis kure yra 30 %. Esant sausam kurui, DKE 2-ojo laipsnio galia siekia apie 0,48 MW, o tai sudaro 20 % bendros DKE galios (žr. 2.12 pav. b). Didėjant biokuro drėgnumui, DKE 2-ojo laipsnio įtaka mažėja. Kai biokuro drėgnumas pasiekia 45 %, tai DKE 1-ojo laipsnio galia išauga iki 2,73 MW, o DKE 2-ojo laipsnio galia padidėja nežymiai – iki 0,57 MW, o tai sudaro 17 % bendros DKE sistemos galios. Kuro drėgnumui padidėjus iki 60 %, DKE 1-ojo laipsnio galia išauga net iki 4,46 MW, DKE 2-ojo laipsnio galia vėl padidėja nežymiai – iki 0,76 MW, kas sudaro tik 0,15 % visos DKE sistemos galios.

DKE 2-asis laipsnis sugrąžina santykinai nedidelę dalį šilumos. Taip yra todėl, kad esant žemai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai, degimo produktai ataušinami iki santykinai žemų temperatūrų, todėl žema grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra ne tik padeda susigrąžinti fizinę degimo produktų šilumą, bet ir didžiąją dalį dūmuose esančių vandens

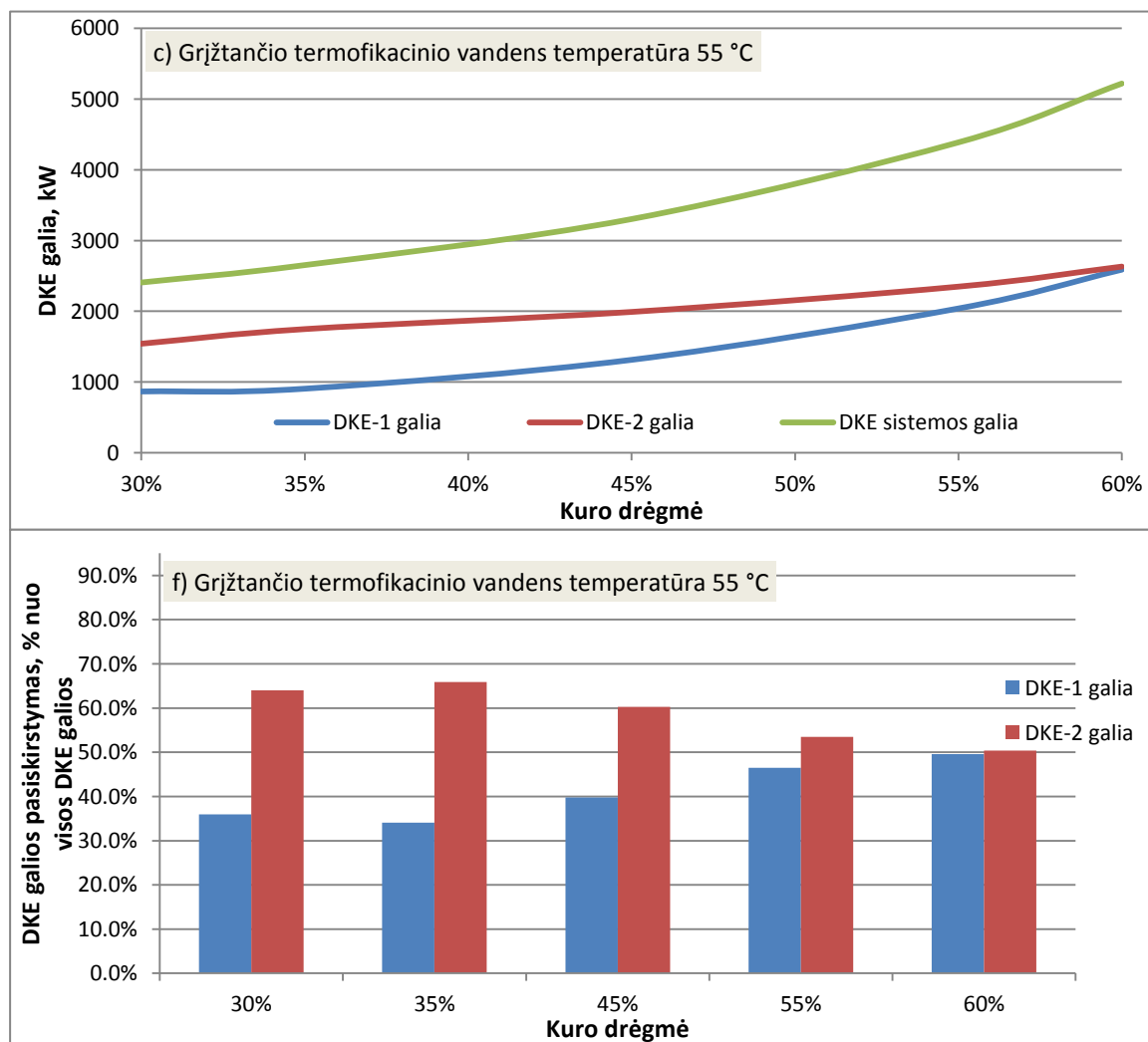
garų kondensacijos šilumą. Degimo produktų rasos taškas, lyginant su grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra, yra aukštos temperatūros, todėl didžiajai daliai vandens garų sukondensuoti pakanka žemo potencialo grįžtančio termofikacinio vandens, kurio temperatūra yra 35 °C.

Pagal 2.12 pav. b dalį galime matyti, kad didėjant biokuro drėgnumui, DKE 2-ojo laipsnio galia santykinai mažėja, lyginant su 1-ojo laipsnio galia. Santykinis mažėjimas vyksta dėl to, kad biokuro drėgnumui augant, didėja ir degimo produktų rasos taško temperatūra, o esant aukštai rasos taško temperatūrai, didžioji dalis dūmuose esančių vandens garų yra sukondensuojama DKE 1-ajame laipsnyje. Šiuo atveju, esant labai žemai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai, DKE pritaikymas darbui su AŠS nėra labai efektyvus sprendimas.



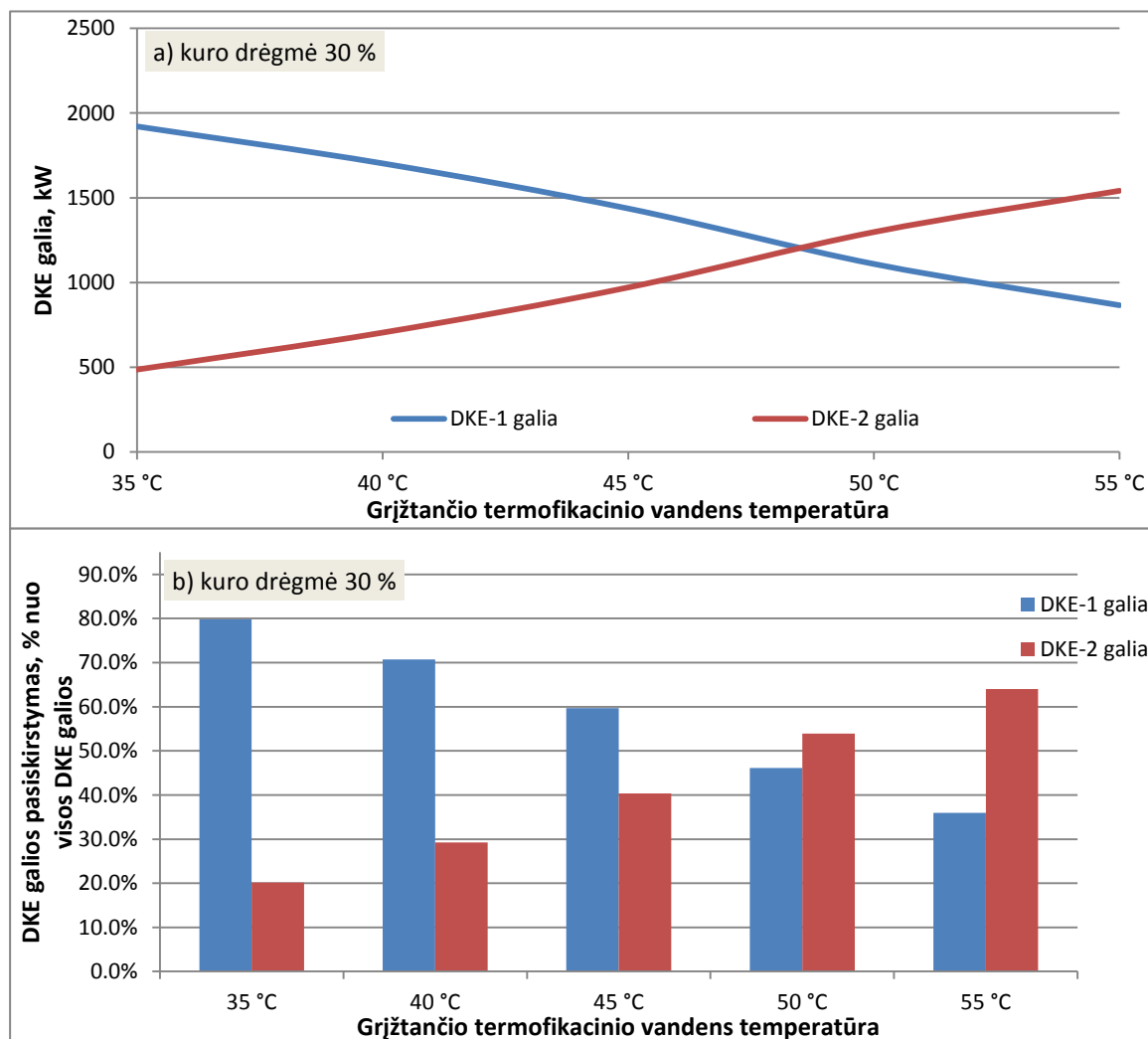
2.13 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 45 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai išaugus iki 45 °C, DKE-1 ir DKE-2 galios priklausomybė nuo kuro drėgnumo keičiasi. Galutinė DKE sistemos galia nesikeičia ir yra 1,9 MW deginant sausą kurą ir atitinkamai 5,2 MW deginant šlapią kurą. DKE sistemos galia nesikeičia, nes degimo produktai yra ataušinami iki tų pačių 23 °C, kadangi į DKE 2-ąjį laipsnį tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra taip pat nesikeičia ir lieka 20 °C. Tačiau keičiasi DKE galių pasiskirstymai (2.13 pav.). Šiuo atveju, DKE 2-ojo laipsnio įtaka yra žymiai didesnė, lyginant su 35 °C temperatūros grįžtamu termofikaciniu vandeniu. 2.13 pav. matome, kad esant sausam kurui, DKE 2-ojo laipsnio galia sudaro žymiai didesnę dalį DKE sistemoje ir atitinkamai ta dalis mažėja, didėjant kuro drėgnumui. Kai kuro drėgmė yra 30 %, tai DKE 1-ojo laipsnio galia siekia 1,4 MW arba 60 % nuo visos DKE sistemos galios, o DKE 2-ojo laipsnio galia siekia 0,97 MW arba 40 % nuo visos DKE sistemos galios. Kuro drėgmei padidėjus iki 45 %, DKE 1-ojo laipsnio galia sudaro 65 %, o DKE 2-ojo laipsnio galia sudaro 35 % nuo visos DKE sistemos galios. Kuro drėgmei išaugus iki 60 %, DKE 1-asis laipsnis sudaro 71 %, o DKE 2-asis laipsnis sudaro 29 % nuo visos DKE sistemos galios.



2.14 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra 55 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

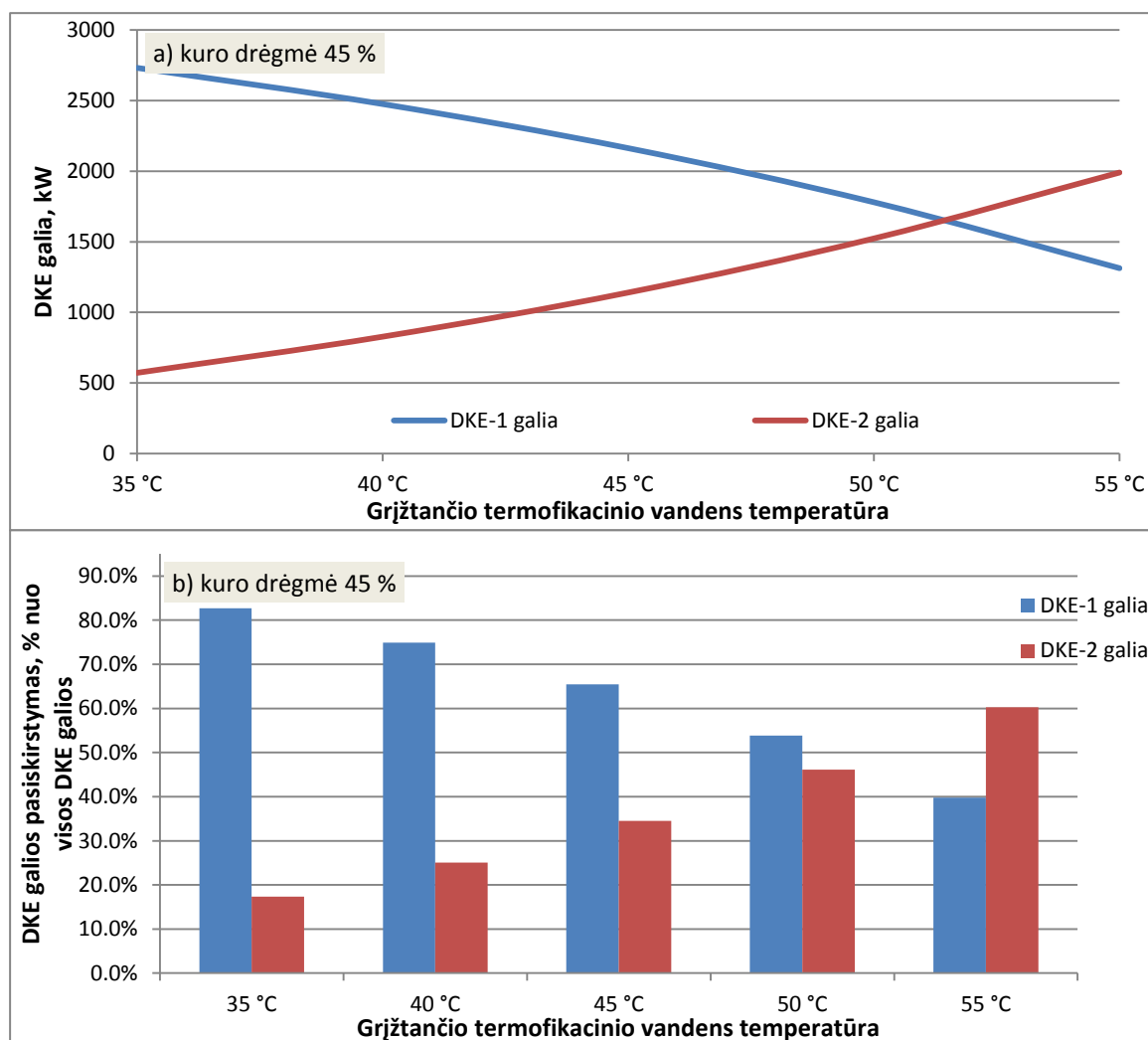
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai išaugus iki 55 °C, DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymo priklausomybė nuo kuro drėgnumo radikaliai pasikeičia (2.14 pav.). DKE 2-ojo laipsnio galia esant sausam kurui sudaro net 64 % nuo visos DKE galios, tuo tarpu DKE 1-ojo laipsnio galia šiuo atveju sudaro vos 0,36 % nuo visos DKE galios. Atitinkamai, kuro drėgnumui išaugus iki 60 %, DKE 1-ojo ir 2-ojo laipsnio įtaka susilygina ir siekia po 50 % nuo visos DKE galios. DKE galios priklausomybė smarkiai pasikeičia todėl, kad termofikacinio vandens temperatūra priartėja prie degimo produktų rasos taško temperatūros, o tai lemia, kad 1-ajame dūmų kondensacinio ekonomizerio laipsnyje susigrąžiname fizinę dūmuose esančią šilumą ir tik nedidelę dalį slaptosios garavimo šilumos.



2.15 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 30 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

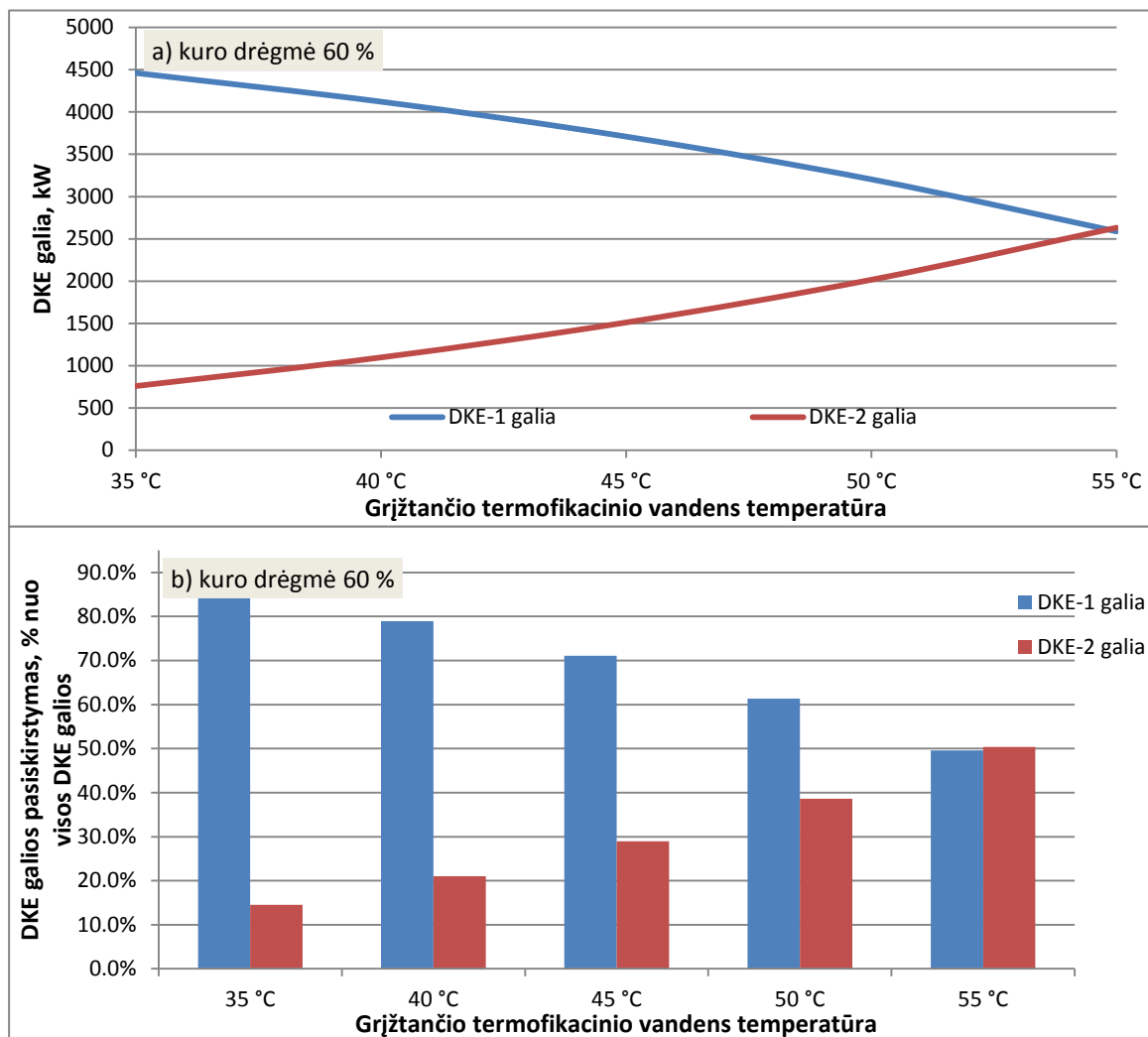
DKE galių priklausomybė nuo termofikacinio vandens temperatūros, kai kuro drėgmė yra konstanta, pateikta (2.15 pav.). Iš čia galime matyti, kad keičiantis grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai DKE 2-ojo laipsnio galia didžiausią įtaką turi tada, kai grįžtančio

termofikacinio vandens temperatūra didėja ir pasiekia 55 °C. DKE 1-ojo ir 2-ojo laipsnio galios priklausomybė susilygina maždaug ties 49 °C grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra.



2.16 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 45 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

Kuro drėgmei pasiekus 45 %, DKE 1-ojo ir 2-ojo laipsnio galia susilygina tada, kai tiekiamo į DKE termofikacinio vandens temperatūra pasiekia 51 °C (2.16 pav.). Šiuo atveju, deginant vidutinio drėgnumo medienos skiedrą DKE 2-asis laipsnis tokios didelės įtakos DKE galiai neturi, tačiau vis tiek esant aukštai termofikacinio vandens temperatūrai sugrąžina daugiau nei 50 % galios nuo visos DKE sistemos galios.

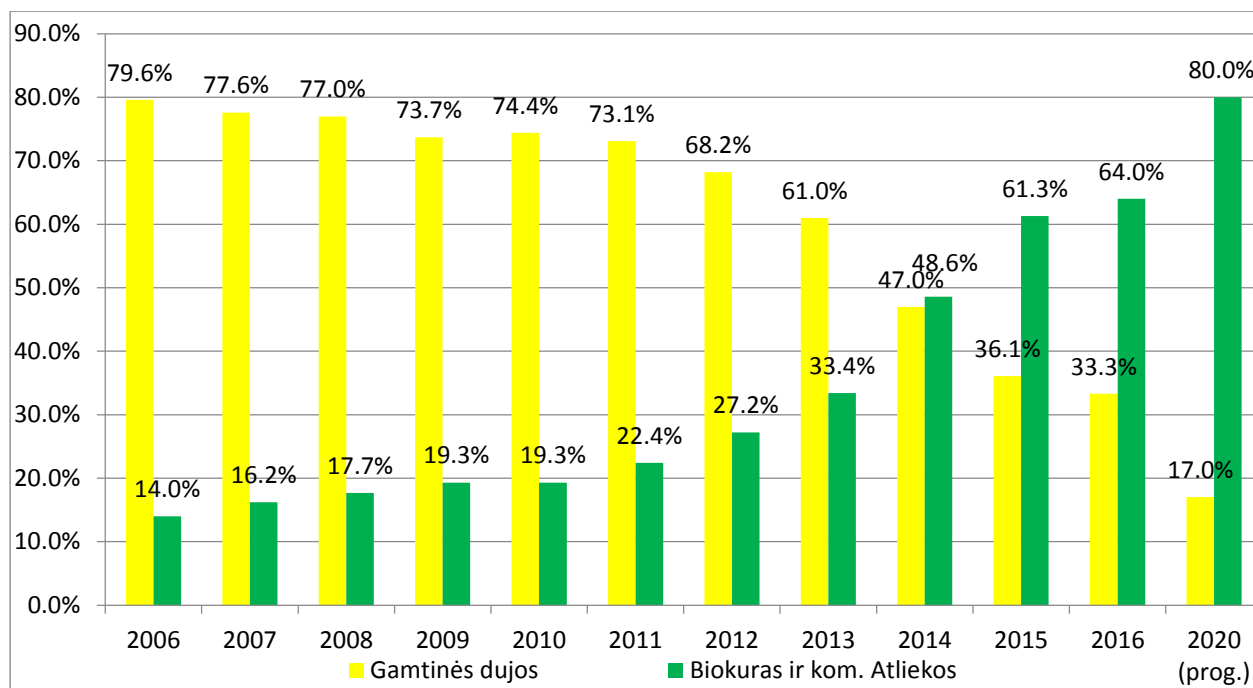


2.17 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės, kai kuro drėgmė yra 60 °C. Diagramoje a) DKE komponentų galia. Diagramoje b) DKE-1 ir DKE-2 galios pasiskirstymas, % nuo visos DKE sistemos galios.

Kuro drėgmei pasiekus 60 %, DKE 2-ojo laipsnio galia tokios didelės įtakos DKE sistemai neturi, ypač tada, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra žema (2.17 pav.). Šiuo atveju, grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai pasiekus 55 °C, DKE 1-ojo ir 2-ojo laipsnio galios įtakos susilygina ir siekia 50 % nuo visos DKE sistemos galios.

Galime daryti išvadą, kad didėjant grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai, didėja ir DKE 2-ojo laipsnio įtaka dūmų kondensacinio ekonomaizerio galiai. DKE 2-ojo laipsnio ypač didelis poveikis pasireiškia tada, kai deginamas sausas kuras $W < 45\%$. Tuo tarpu, augant kuro drėgmei, dūmų kondensacinio ekonomaizerio 2-ojo laipsnio galia santykinai mažėja, o 1-ojo laipsnio galia santykinai išauga. Iš čia, galime daryti išvadą, kad absorbcinio šilumos siurblio panaudojimas yra ypač efektyvus tada, kai turime aukštos temperatūros grįžtantį iš CŠT termofikacinį vandenį ir tada, kai deginamas labai sausas kuras.

2.3 Absorbacinio šilumos siurblio pritaikymo analizė kondensaciniam dūmų ekonomizeriui deginant dujinį kurą

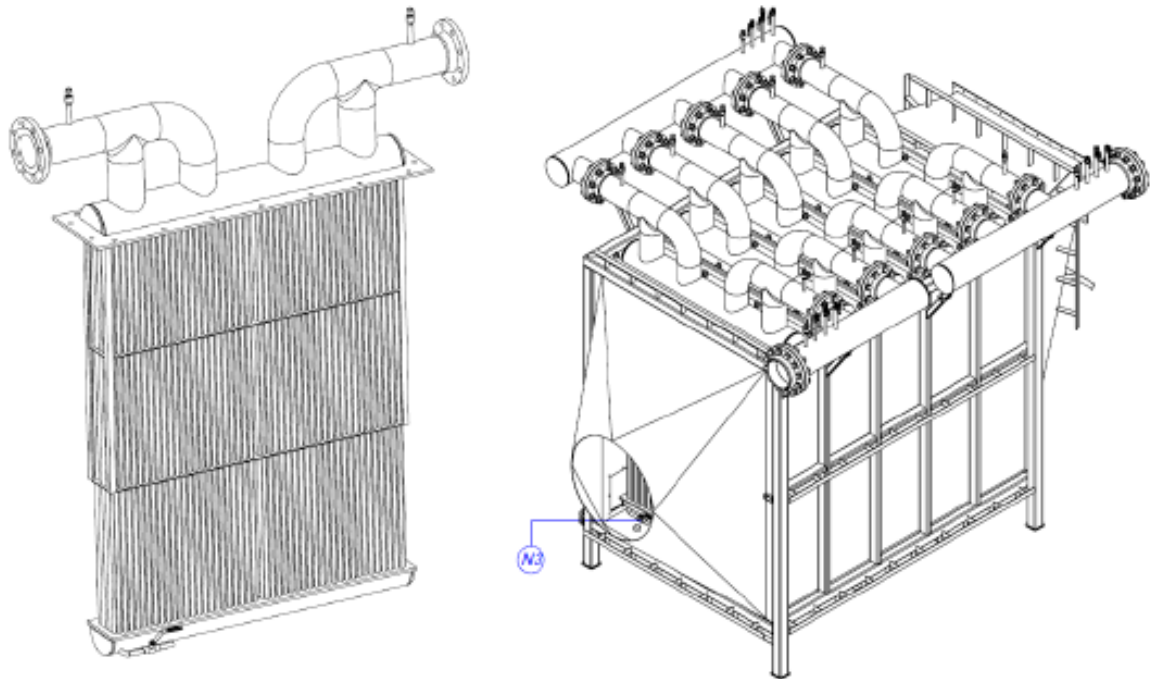


2.18 pav. Gamtinių dujų ir biokuro sunaudojimo šilumos gamybai statistika Lietuvoje. [15]

Lietuvoje biokuro deginimo technologijos sparčiai auga ir pamažu išstumia gamtinių dujų deginimą iš šilumos gamybos sektoriaus (2.18 pav.), tačiau artimiausiu metu gamtinės dujos bus vis dar naudojamos šilumos ir elektros energijos gamybai, todėl baigiamajame darbe taip pat palyginsiu AŠS sistemos ekonominį ir energetinį potencialą deginant gamtines dujas.

Gamtinės dujos – švarus ir kaloringas kuras, kurio degimo produktų vandens rasos taškas siekia apie 56 °C, kai O₂ koncentracija sausuose dūmuose yra 3%. Šis kuras, dėl didelio kaloringumo ir nesudėtingos deginimo technologijos, dažnai naudojamas šilumos ir elektros gamyboje.

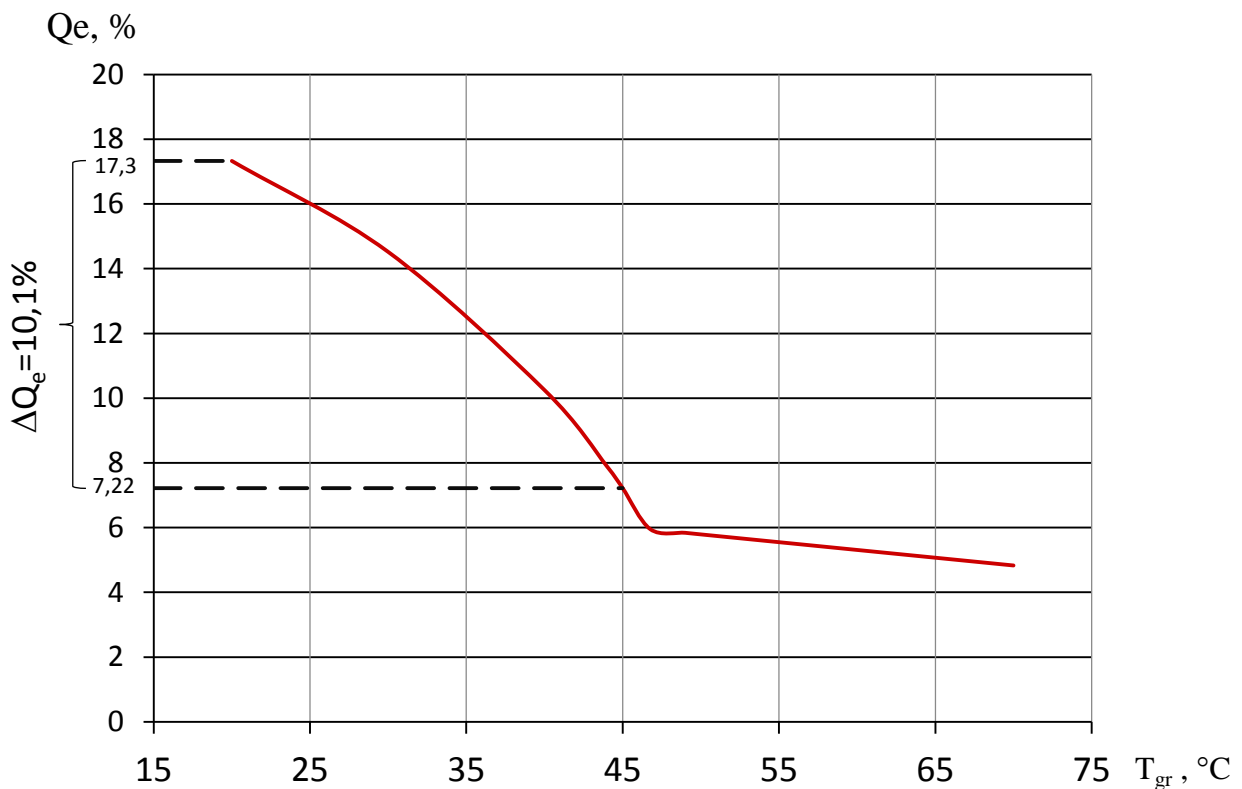
Dujinį kurą deginančios jėgainės DKE įprastai yra vandens vamzdžių tipo šilumokaitis (2.19 pav.), kuriame vamzdelius apiplaunantis dūmų srautas kondensuojasi ant vamzdelių paviršiaus dėl žemos vandens temperatūros esančios vamzdeliuose. Vandens temperatūra turi būti žemesnė nei degimo produktuose esančio vandens garo rasos taško temperatūra, taip ataušinus degimo produktus, ant vamzdelių paviršiaus susidaręs kondensatas, vamzdelių paviršiumi nubėga į DKE apačią, o pro apačioje esančius kondensato nubėgimo atvamzdžius pašalinamas iš DKE.



2.19 pav. Dujinis kondensacinis dūmų ekonomizeris.

Dujinio DKE galios priklausomybė nuo įeinančio vandens į DKE temperatūros, pateikta 2.20 pav. Čia DKE galia išreikšta % nuo katilo galios. Trumpiau tariant, jei katilo galia yra 100 MW, paduodamo į DKE vandens temperatūra 35 °C, tai DKE galia bus apie 12 % nuo katilo galios, arba apie 12 MW. Skaičiavimai atlikti “FlueGas” programine įranga. [11].

Pagal pateiktus teorinius duomenis matome, kad lyginant su įprastinėmis grįžtančio termofikacinio vandens temperatūromis, kuri siekia apie 45 °C Lietuvoje, AŠS įrengimas, neatsižvelgiant į investicijas ir atsipirkimo laikotarpius, turi potencialo naudojant dujinį DKE, nes giliai atušinus degimo produktus, iš jų galime susigrąžinti apie 10 % daugiau šiluminės energijos.



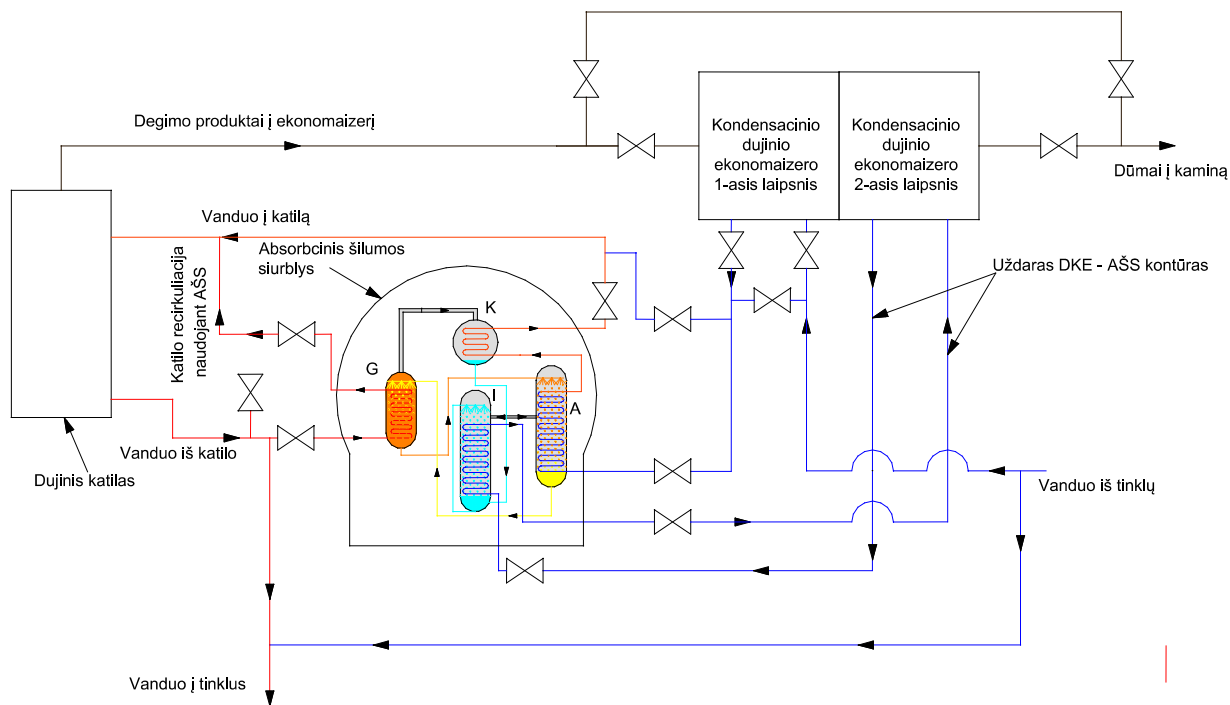
2.20 pav. Dujinio DKE galios (% nuo katilo galios) priklausomybė nuo grįžtančio termofikacinio vandens temperatūros.

2.3.1 Absorbacinio šilumos siurblio pritaikymas gamtinių dujų vandens šildymo katilinėje

Gamtinių dujų vandens šildymo katilinės kondensaciniai dūmų ekonomizeriai įrengiami tik tada, kai katilinėje yra didelis žemos temperatūros vandens srautas. Dėl žemo gamtinių dujų degimo produktuose esančių vandens garų rasos taško, DKE efektyviam veikimui, grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra neturi viršyti 45 °C. Įrengiant DKE šios temperatūros yra ypač svarbios senose CŠT sistemose, kuriose yra dideli šilumos nuostoliai į aplinką. Į tinklus tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra gali būti ir didesnė kaip 120 °C, o grįžtanti viršyti 55 °C seno tipo CŠT sistemose. Esant tokioms sąlygoms naudoti DKE yra ekonomiškai nenaudinga, nes grįžtanti termofikacinio vandens temperatūra yra per aukšta ir šiuo atveju degimo produktuose esančių vandens garų kondensacija bus minimali, kas leis susigrąžinti tik mažą dalį slaptosios garavimo šilumos.

Atlikus AŠS analizę jau žinome, kad tokiam procesui galime panaudoti AŠS ir DKE sistemą. Priimdami tas pačias optimizavimo sąlygas kaip ir 2.2.1 skyrelyje, galime įkomponuoti AŠS kartu su dujiniu DKE papildomam degimo produktų ataušinimui.

Biokuro AŠS ir gamtinių dujų AŠS sistemų skirtumas tas, kad antrame DKE laipsnyje naudosisime uždara kontūrą – DKE-2 – AŠS išgarintuvas. Toks sprendimas priimtas todėl, kad gamtinių dujų DKE neturi kondensato išpurškimo sistemos. Taip pat, gamtinių dujų DKE nėra brangus slėginis indas, todėl įrengdami atskirą DKE laipsnį, galime jį paprasčiau prijungti prie jau esamos sistemos. DKE 2-asis laipsnis – šiuo atveju tai papildomas vandens vamzdžių šilumokaitis (žr. 2.21 pav.)



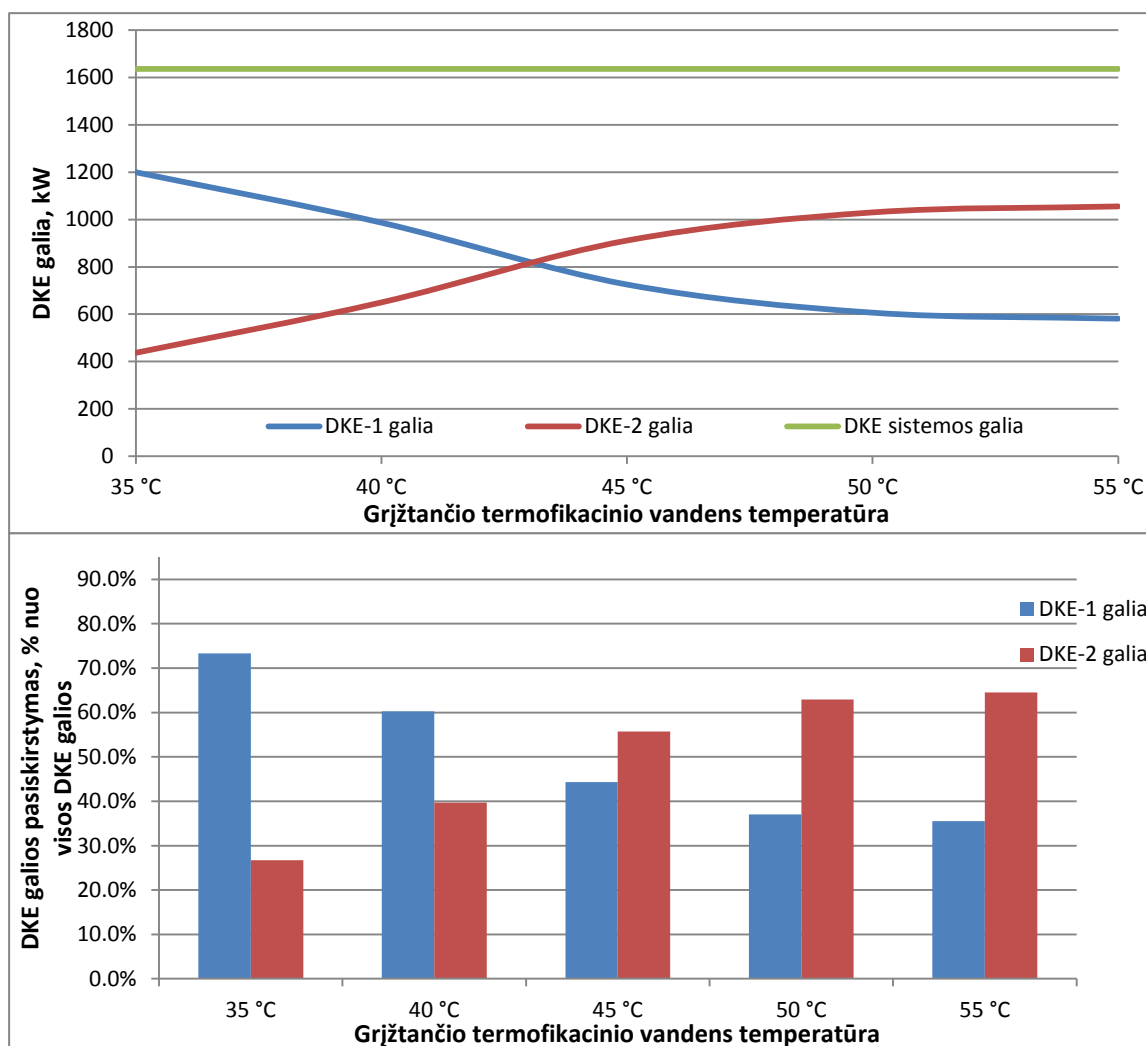
2.21 pav. AŠS pritaikymo darbui su dujiniu kondensaciniu dūmų ekonomizoeriu principinė technologinė schema.

Toliau atliekant skaičiavimus priimame, kad turime 10 MW gamtinių dujų katilą, O_2 kiekis sausuose dūmuose 3 %, degimo produktų temperatūra iš katilo $180\text{ }^\circ\text{C}$, iš AŠS išgarintuvo tiekiamo vandens temperatūra yra $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Atlikus skaičiavimus deginant gamtines dujas, matome, kad tendencija išlieka ta pati, kaip ir deginant biokurą. Didėjant termofikacinio vandens temperatūrai, DKE 2-ojo laipsnio įtaka DKE sistemos galiai smarkiai išauga (žr. 2.22 pav. ir 5 priedą) todėl, kad didėjant grįžtančio termofikacinio vandens temperatūrai, DKE 1-asis laipsnis susigražina tik fizinę dūmuose esančią šilumą. Kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra pasiekia $55\text{ }^\circ\text{C}$, ji beveik susilygina su degimo produktų rasos taško temperatūra.

Šiuo atveju, kaip ir deginant biokurą, galime daryti išvadą, kad AŠS efektyviausiai galime panaudoti tada, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra aukšta. Jei grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra pakankamai žema, tarkime $35\text{ }^\circ\text{C}$, tai DKE 2-ojo laipsnio įtaka taip pat bus nedidelė, apie 30 % nuo visos DKE sistemos galios. Jei

grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra pakankamai aukšta, tarkime 55 °C, tai DKE 2-ojo laipsnio įtaka bus kur kas didesnė ir sieks net 70 % nuo visos DKE sistemos galios.



2.22 pav. DKE galių pasiskirstymo kreivės deginant gamtines dujas.

3 PROJEKTO EKONOMINĖ ANALIZĖ

Absorbcinio šilumos siurblio su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu sistema turi atnešti ne tik energetinę, bet ir ekonominę naudą. Šiame skyriuje įvertinsiu ir palyginsiu AŠS investicijas ir atsipirkimo laikotarpius deginant skirtingą kurą – biokurą ir gamtines dujas.

3.1 Biokuro katilinės absorbcinio šilumos siurblio pritaikyto darbui su dūmų kondensaciniu ekonomazeriu ekonominė analizė

Atsipirkimo laikotarpiai apskaičiuojami kai deginamas sausas $W_1 = 30 \%$, vidutinio drėgnumo $W_2 = 45 \%$, ir šlapias kuras $W_3 = 60 \%$. Taip pat atsipirkimo laikotarpiai skaičiuojami su skirtingomis grįžtančio termofikacinio vandens temperatūromis, $T_1 = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_3 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$. Skaičiavimai atliekami 9 skirtingiems darbo režimams.

3.1 lentelė. Darbo režimai

Darbo režimas		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	$^\circ\text{C}$	35	35	35	45	45	45	55	55	55
Kuro drėgmė	%	30	45	60	30	45	60	30	45	60
DKE-1 galia	KW	1921	2732	4461	1436	2163	3709	866	1313	2588
DKE-2 galia	KW	486	572	759	971	1141	1511	1541	1991	2632
DKE sistemos galia	KW	2407	3304	5220	2407	3304	5220	2407	3304	5220
Išgarintuvo galia	MW	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.5	1.5	2.0	2.6

3.1.1 Projekto išlaidų įvertinimas

Šiame projekte turime įsivertinti kokios įrangos, aptarnaujančio personalo ir kitų išlaidų prireiks projektui įgyvendinti ir vystyti. Projekto išlaidos sudarys AŠS įrenginys ir DKE rekonstrukcija, todėl priimame, kad DKE rekonstrukcijai išleisime fiksuotą 30000 Eur dalį ir 2000 Eur kintamą dalį, kuri priklauso nuo AŠS šaldymo galios, nes kuo didesnė galia, tuo didesnės išlaidos vamzdynui ir kitai armatūrai. Kadangi AŠS papildomo aptarnaujančio personalo nereikalauja tai priimsime, kad šios išlaidos yra lygios 0 Eur. Papildomos išlaidos surašytos 3.2, 3.3,

3.4 lentelėse.

3.2 lentelė. Projekto pradinės investicijos

Investicija	Kaina	Vnt.
Absorbcinis šilumos siurblys (su transportavimu ir įrengimu)	570000	Eur / MW šaldymo
AŠS paleidimo ir derinimo darbai	30000	Eur
DKE rekonstrukcijos kaštų fiksuota dalis	15000	Eur

DKE rekonstrukcijos kaštų kintama dalis	2000	Eur / MW šaldymo
---	------	------------------

3.3 lentelė. Projekto eksploataciniai kaštai

Metiniai kaštai	Kaina	Vnt
Fiksuoti AŠS kaštai metams	4500	Eur / MW šaldymo
Kintami AŠS kaštai (elektros sąnaudos ir kt. aptarnavimai)	2.15	Eur / MWh šaldymo

3.4 lentelė. Kiti investiciniai rodikliai atsipirkimo skaičiavimui

Kiti investicijos rodikliai		
Investicijos laikotarpis	10	Metų
Darbo laikas per metus	8000	Valandų
Diskonto norma	5%	-
Šilumos pardavimo kaina	20	Eur / MWh

Šilumos pardavimo kaina priimta 20 Eur / MWh atsižvelgiant į 2017-2018 metų vidutines šilumos supirkimo kainas Kauno mieste [16].

3.1.2 Išlaidų ir pajamų balansas

Išlaidų ir pajamų balansas atliekamas deklaruojamam įrenginio gyvavimo laikotarpiui – 20 metų. Atsipirkimo laikotarpį pradėsiu skaičiuoti nuo pirmųjų įrengimo metų, nes AŠS įrengimas užtrunka vos kelis mėnesius.

Išlaidų ir pajamų balansų skaičiavimo pavyzdį pateiksiu esant vidutinio 45 % drėgnumo kurui ir vidutinės temperatūros grįžtančiam termofikaciniam vandeniui, kurio temperatūra taip pat siekia 45 °C.

Absorbcinio šilumos siurblio galia šiuo atveju siekia 1,1 MW šaldymo galios, todėl AŠS kaina su transportavimu, prijungimu ir paleidimo bei derinimo darbais siekia 571803 Eur:

$$\begin{aligned} A\check{S}S_{kaina} &= A\check{S}S_{\text{irenginys}} \cdot Q_{i\check{s}g} + A\check{S}S_{\text{paleidimas}} = \\ &= 570000 \text{ Eur} \cdot 1,1 \text{ MW} + 30000 \text{ Eur} = 680164 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (3.1)$$

DKE rekonstrukcijos kaina :

$$\begin{aligned} DKE_{rek} &= DKE_{fiks} + DKE_{kint} \cdot Q_{i\check{s}g} = 15000 \text{ Eur} + 2000 \text{ Eur} \cdot 1,1 \text{ MW} = \\ &= 17281 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Visos investicijos kaina:

$$A\check{S}S_{inv} = A\check{S}S_{kaina} + DKE_{rek} = 680164 \text{ Eur} + 17281 \text{ Eur} = 697445 \text{ Eur} \quad (3.3)$$

Investicijos pirmaisiais metais susidės iš investicijų už AŠS ir DKE rekonstrukciją, taip pat už fiksuotus ir kintamus AŠS eksploataavimo kaštus kiekvieniems metams. Tai iš viso sudarys 722197 Eur.

AŠS metiniai kaštai:

$$\begin{aligned} A\check{S}S_{ka\check{s}t} &= A\check{S}S_{fiks} \cdot Q_{i\check{s}g} + A\check{S}S_{kint} \cdot Q_{i\check{s}g} \cdot 8000 \text{ val} = \\ &= 4500 \text{ EUR} \cdot 1,1 \text{ MW} + 2,15 \text{ Eur} \cdot 1,1 \text{ MW} \cdot 8000 \text{ val} = \\ &= 5133 \text{ Eur} + 19619 \text{ Eur} = 24752 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (3.4)$$

AŠS investicijos pirmaisiais metais iš viso:

$$\begin{aligned} Investicija &= A\check{S}S_{inv} + A\check{S}S_{ka\check{s}t} = 697197 \text{ EUR} + 24752 \text{ Eur} = \\ &= 722197 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Šiuo atveju daugiau išlaidų nėra, nes papildomo personalo eksploatavimui neprireiks. Kuro kainų taip pat vertinti nereikia, nes šios įrenginio sistemos optimizavimas leido jį naudoti be papildomos šilumos. AŠS dirba tik kaip atliekinės degimo produktuose esančios šilumos utilizatorius.

Pajamos skaičiuojamos pagal pagamintą šilumos kiekį per metus. Pritaikant diskonto normą, pajamos yra diskontuojamos ir prilyginamos dabartinei vertei, taip gaunamas tikslesnis atsipirkimo laikotarpis.

Papildomos pajamos per metus naudojant AŠS, kai ši sistema dirba 8000 val. per metus:

$$\begin{aligned} A\check{S}S_{pajamos} &= Q_{i\check{s}g} \cdot 8000 \text{ val} \cdot 20 \frac{\text{Eur}}{\text{MWh}} = \\ &= 1,1 \text{ MW} \cdot 8000 \text{ val} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} = 182502 \text{ Eur} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Diskontavus pajamas gauname pajamų ir išlaidų balansą 20 metų laikotarpiui. Atlikus skaičiavimus, matome, kad šios sistemos atsipirkimo laikotarpis siekia 5,2 metus (žr. 3.1 pav.). Skaičiavimai buvo atlikti remiantis tuo, kad investicijos atliekamos be paskolos su palūkanomis. Prireikus mokėti paskolos palūkanas, atsipirkimo laikotarpis išaugtų.

Atlikus skaičiavimus su visais darbo režimais, pastebima, kad darbo režimas neturi didelės įtakos šilumos siurblio atsipirkimui. Atsipirkimo laikotarpiai ir investicinės grąžos esant skirtingiems režimams pateikti 3.2 pav.

Atsipirkimo skaičiavimas												
Darbo režimas	5											
Šildymo galia	1.1	MW										
Investicija į AŠS	697445	Eur										
Metai	1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Investicija	Eur	-697,445 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
Išlaidos												
Fiksuoti AŠS kaštai metams	Eur	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	
Kintamos išlaidos metams	Eur	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	
Viso	Eur	-722,197 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	
Pajamos												
Šiluma	Eur	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	
Diskontuotos pajamos	Eur	173,812 €	165,535 €	157,652 €	150,145 €	142,995 €	136,186 €	129,701 €	123,525 €	117,643 €	112,040 €	
Pinigų srautas		-548,385 €	-407,602 €	-274,702 €	-149,309 €	-31,066 €	80,368 €	185,317 €	284,090 €	376,981 €	464,269 €	
Metai		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Investicija	Eur	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	
Išlaidos												
Fiksuoti AŠS kaštai metams	Eur	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	-5,133 €	
Kintamos išlaidos metams	Eur	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	-19,619 €	
Viso	Eur	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	-24,752 €	
Pajamos												
Šiluma	Eur	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	182,502 €	
Diskontuotos pajamos	Eur	106,705 €	101,624 €	96,785 €	92,176 €	87,787 €	83,606 €	79,625 €	75,833 €	72,222 €	68,783 €	
Pinigų srautas		546,223 €	623,095 €	695,128 €	762,552 €	825,587 €	884,441 €	939,315 €	990,396 €	1,037,867 €	1,081,898 €	
Atsipirkimo laikotarpis	5.2 metai											

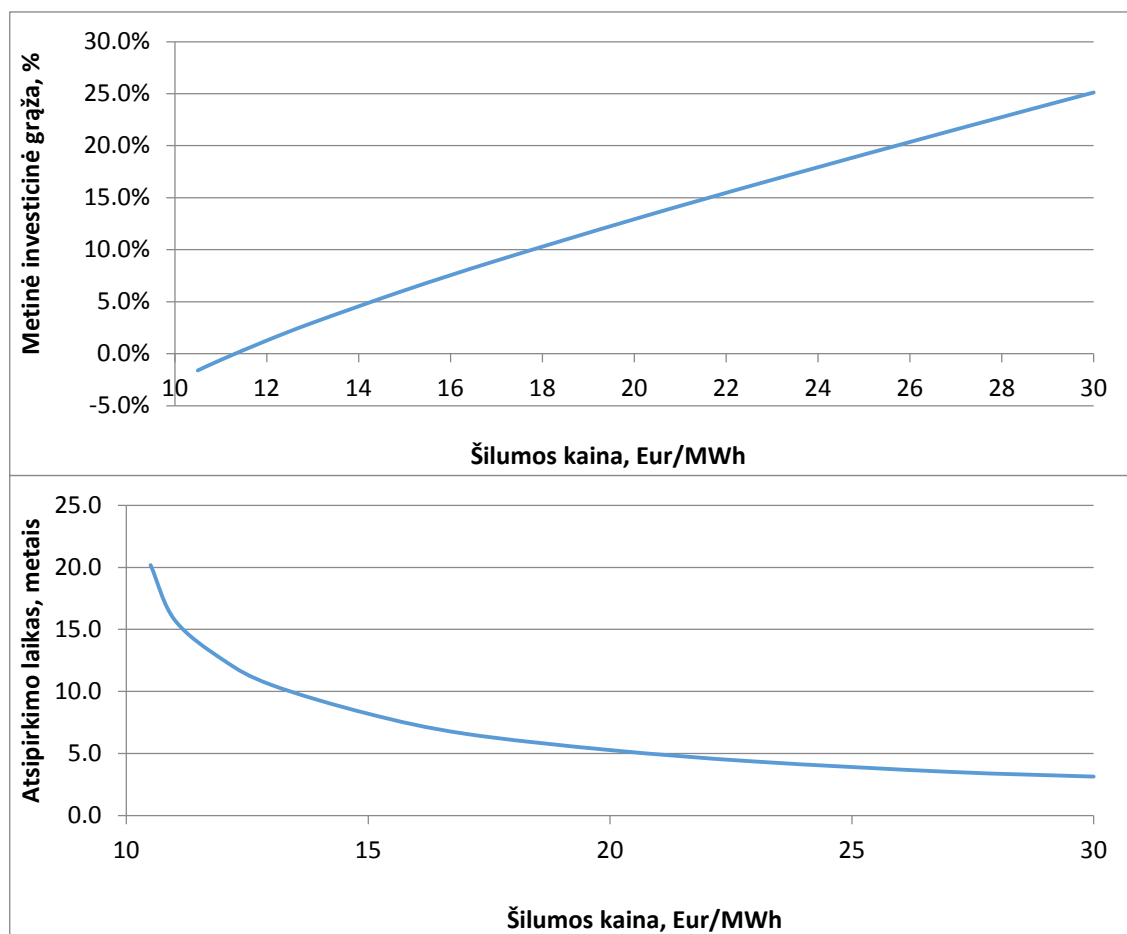
3.1 pav. Išlaidų ir pajamų srautų balansas ir AŠS sistemos atsipirkimas.

Darbo režimas		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grijtamo termofikacinio vandens temperatūra	$T_7, ^\circ\text{C}$	35	35	35	45	45	45	55	55	55
Kuro drėgmė	$W, \%$	30	45	60	30	45	60	30	45	60
DKE-1 galia	Q_{DKE1}, KW	1921	2732	4461	1436	2163	3709	866	1313	2588
DKE-2 galia	Q_{DKE2}, KW	486	572	759	971	1141	1511	1541	1991	2632
DKE sistemos galia	Q_{DKE}, KW	2407	3304	5220	2407	3304	5220	2407	3304	5220
Išgarintuvo galia	Q_{iis}, MW	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.5	1.5	2.0	2.6
Investicija pirmaisiais metais	Eur	-333,494 €	-384,463 €	-495,337 €	-621,274 €	-722,197 €	-941,839 €	-960,062 €	-1,226,857 €	-1,607,421 €
Visos pajamos per 20 metų	Eur	968,914 €	1,140,093 €	1,512,465 €	1,935,429 €	2,274,380 €	3,012,052 €	3,073,254 €	3,969,291 €	5,247,422 €
Investicinė graža (per 20 metų)	Eur	635,420 €	755,630 €	1,017,128 €	1,314,155 €	1,552,183 €	2,070,213 €	2,113,193 €	2,742,434 €	3,640,001 €
Metinė investicinė graža	%	11.4%	11.8%	12.4%	12.8%	13.1%	13.4%	13.4%	13.6%	13.8%
Atsipirkimo laikas	metais	5.7	5.6	5.4	5.3	5.2	5.1	5.1	5.1	5.0

3.2 pav. AŠS panaudojimo biokuro vandens šildymo katilinėje ekonominės analizės suvestinė.

Atlikti skaičiavimai nėra labai tikslūs, nes parduodamos šilumos kainą galime tik prognozuoti. Atlikus papildomus skaičiavimus, matome kaip atsipirkimo laikotarpis ir investicinė graža priklauso nuo šilumos pardavimo kainos (3.3 pav.). Jeigu šilumos pardavimo kaina bus 10 Eur, tai pritaikius 5 % diskonto normą, tokia sistema neatsipirks. Jei šilumos kaina bus 10,5 Eur, tai sistemos atsipirkimas sieks šiek tiek daugiau nei 20 metų, kas viršija AŠS gyvavimo laikotarpį. AŠS atsipirkimo laikotarpis peržengia 10 metų ribą tada, kai šilumos supirkimo kaina siekia 13 Eur, o norint, kad AŠS būtų efektyvus ir ekonomiškai naudingas įrenginys, šilumos supirkimo kaina turi būti apie 20 Eur/MWh. Atsipirkimo laikas tada sieks apie 5 metus. Tačiau reikia nepamiršti, kad atsipirkimo laikui įtakos turi ir kuro kainos, bei kiti eksploataciniai kaštai.

Metinė investicinė grąža apskaičiuota 20 metų laikotarpiui, pritaikius 5 % diskonto normą.



3.3 pav. Metinės investicinės grąžos ir atsipirkimo laiko priklausomybė nuo šilumos supirkimo kainos.

3.2 Gamtinių dujų katilinės absorbcinio šilumos siurblio pritaikyto darbui su dūmų kondensaciniu ekonomizaizeriu ekonominė analizė

Atsipirkimo laikotarpį apskaičiuojame, kai deginamas kuras – gamtinės dujos, o grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra $T_1 = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Skaičiavimai atliekami esant 3 skirtingiems darbo režimams.

3.5 lentelė. Darbo režimai

Darbo režimas		1	2	3
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	$^{\circ}\text{C}$	35	35	35
Kuro drėgmė	%	30	45	60
DKE-1 galia	KW	1921	2732	4461
DKE-2 galia	KW	486	572	759
DKE sistemos galia	KW	2407	3304	5220
Išgarintuvo galia	MW	0.5	0.6	0.8

3.2.1 Projekto išlaidų įvertinimas

Deginant gamtines dujas ir skaičiuojant AŠS projekto išlaidas, reikia įvertinti, kad DKE nerekonstruosime, o įrengsime papildomą vandens vamzdžių pluošto šilumokaitį – ekonomizaizerį, kuris sudarys didesnę investicijos dalį, nei rekonstruojant biokuro DKE.

3.6 lentelė. Projekto pradinės investicijos

Investicija	Kaina	Vnt.
Absorbacinis šilumos siurblys (su transportavimu ir įrengimu)	570000	Eur / MW šaldymo
AŠS paleidimo derinimo darbai	30000	Eur
DKE rekonstrukcijos kaštų fiksuota dalis	15000	Eur
DKE įrenginio kaina	50000	Eur / MW šaldymo

3.7 lentelė. Projekto eksploataciniai kaštai

Metiniai kaštai	Kaina	Vnt
Fiksuoti AŠS kaštai metams	4500	Eur / MW šaldymo
Kintami AŠS kaštai (elektros sąnaudos ir kt. aptarnavimai)	2.15	Eur / MWh šaldymo

3.8 lentelė. Kiti investiciniai rodikliai atsipirkimo skaičiavimui

Kiti investicijos rodikliai		
Investicijos laikotarpis	10	Metų
Darbo laikas per metus	8000	Valandų
Diskonto norma	5%	-
Šilumos pardavimo kaina	20	Eur / MWh

3.2.2 Išlaidų ir pajamų balansas

Naudojant dujinį dūmų kondensacinį ekonomizaizerį išlaidų ir pajamų balansas taip pat skaičiuojamas 20 metų laikotarpiui. Priimame, kad AŠS darbo laikas per metus bus 4400 val., dėl to, kad šiluma gaminama naudojant gamtines dujas yra nekonkurencinga dėl aukštos gamtinių dujų kainos. Dujinis katilas dirbs tik šildymo sezonu.

Visi skaičiavimai atlikti pagal 3.1.1 skyrelyje nurodytą metodiką. Išlaidų ir pajamų balanso skaičiavimo rezultatai pateikti 3.4 pav. ir 3.5 pav. Įvertinus tai, kad AŠS dirbs tik šildymo sezonu, gauname, kad AŠS sistema nėra ekonomiškai naudinga, nes atsipirkimo laikotarpis siekia net 13,5 metų, kai šilumos pardavimo kaina yra 20 Eur/MWh.

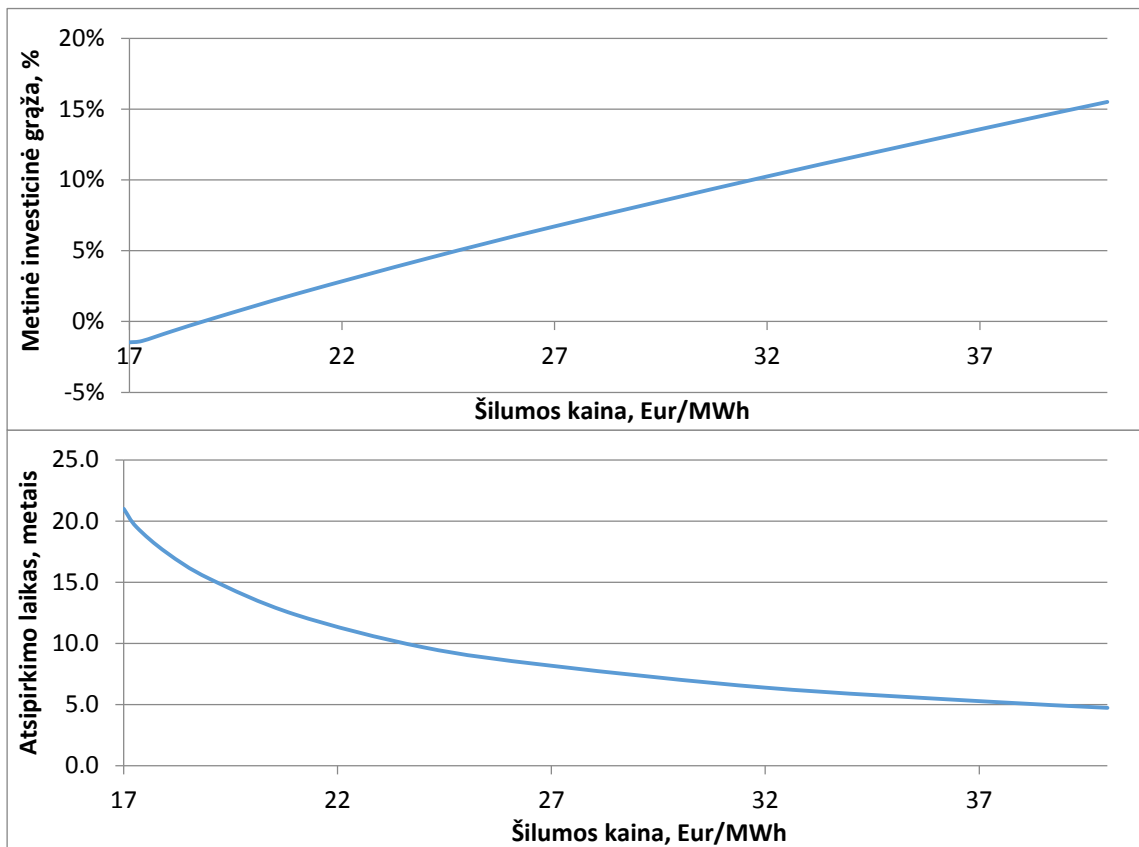
Atsipirkimo skaičiavimas											
Darbo režimas	2										
Šaldymo galia	0.9	MW									
Investicija į AŠS	609998	Eur									
Metai	1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investicija	Eur	-609,998 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Išlaidos											
Fiksuoti AŠS kaštai metams	Eur	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €
Kintamos išlaidos metams	Eur	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €
Viso	Eur	-622,720 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €
Pajamos											
Šiluma	Eur	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €
Diskontuotos pajamos	Eur	76,375 €	72,738 €	69,274 €	65,975 €	62,834 €	59,841 €	56,992 €	54,278 €	51,693 €	49,232 €
Pinigų srautas		-546,345 €	-486,329 €	-429,777 €	-376,523 €	-326,411 €	-279,291 €	-235,021 €	-193,465 €	-154,493 €	-117,983 €
Atsipirkimo laikotarpis											
Metai	11		12	13	14	15	16	17	18	19	20
Investicija	Eur	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Išlaidos											
Fiksuoti AŠS kaštai metams	Eur	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €	-4,101 €
Kintamos išlaidos metams	Eur	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €	-8,621 €
Viso	Eur	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €	-12,722 €
Pajamos											
Šiluma	Eur	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €	80,193 €
Diskontuotos pajamos	Eur	46,887 €	44,655 €	42,528 €	40,503 €	38,574 €	36,737 €	34,988 €	33,322 €	31,735 €	30,224 €
Pinigų srautas		-83,817 €	-51,884 €	-22,077 €	5,704 €	31,557 €	55,573 €	77,840 €	98,440 €	117,454 €	134,956 €
Atsipirkimo laikotarpis	13.5	metai									

3.4 pav. Išlaidų ir pajamų srautų balansas ir AŠS sistemos atsipirkimas.

Darbo režimas		1	2	3
Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra	$T_7, ^\circ\text{C}$	35	45	55
DKE-1 galia	Q_{DKE1}, KW	1200	725	581
DKE-2 galia	Q_{DKE2}, KW	437	911	1055
DKE sistemos galia	Q_{DKE}, KW	1636	1636	1636
Išgarintuvo galia	$Q_{i\ddot{s}}, \text{MW}$	0.4	0.9	1.1
AŠS investicija (įtraukiant montavimo, transportavimo ir paleidimo darbus)	Eur	279010	549434	631580
DKE rekonstrukcijos kaina (fiksuota + kintama dalis)	Eur	36843	60564	67770
Investicija į AŠS sistemą iš viso	Eur	315853	609998	699350
Investicija pirmaisiais metais	Eur	-321,951 €	-622,720 €	-714,084 €
Visos pajamos per 20 metų	Eur	479,092 €	999,386 €	1,157,435 €
Investicinė grąža	Eur	157,141 €	376,666 €	443,351 €
Metinė investicinė grąža	%	0.2%	1.1%	1.3%
Atsipirkimo laikas	metais	15.5	13.5	13.4

3.5 pav. AŠS panaudojimo gamtinių dujų vandens šildumo katilinėje ekonominės analizės suvestinė.

Atsižvelgiant į skirtingas šilumos supirkimo kainas, galime pastebėti, kad AŠS atsipirkimo laikotarpis yra konkurencingas tik tada, kai šilumos pardavimo kaina yra didesnė nei 30 EUR/MWh. Iš to galime daryti išvadą, kad AŠS naudojimas deginant gamtines dujas yra ekonomiškai nenaudinga investicija, kuri turi labai ilgą atsipirkimo laikotarpį. Jeigu įvertintume paskolos kaštus, deginamo kuro kaštus ir kitas išlaidas, tokios investicijos atsipirkimo laikas neabejotinai pailgėtų. Tačiau jeigu gamtinių dujų katilas dirbtų visus metus, investicijos laikas kone dvigubai sutrumpėtų, kas padarytų AŠS naudojimą gamtinių dujų katilinėje konkurencingu.



3.6 pav. Metinės investicinės grąžos ir atsipirkimo laiko priklausomybė nuo šilumos supirkimo kainos.

4 IŠVADOS

1. Absorbcinio šilumos siurblio transformacijos koeficiento COP reikšmė didėja, kai į generatorių ir išgarintuvą tiekiamo vandens srautas ir temperatūra didėja. COP taip pat didėja, kai tiekiamo vandens temperatūra ir srautas į absorberį ir kondensatorių mažėja; Deginant biokurą, maksimali naudingumo koeficiento riba yra 120 %, kai kuro drėgnumas 45 %, o deginant gamtines dujas – 111%;
2. Absorbcinio šilumos siurblio išgarintuvas biokuro katilinėje turi būti prijungiamas prie grįžtančio iš CŠT termofikacinio vandens, tačiau į AŠS reikia tiekti tik dalį vandens, taip sumažinant AŠS išvystomą galią, bet pasiekiant maksimaliai naudingą AŠS darbą. AŠS generatorių reikia prijungti prie paduodamo į CŠT karšto termofikacinio vandens ir per jį leisti dalį srauto, kurį ataušinus generatoriuje sugrąžinti į grįžtančio termofikacinio vandens liniją, taip panaudojant generatoriaus kontūrą vietoje katilo recirkuliacijos ir nesumažindami paduodamo į CŠT karšto vandens temperatūros; Dujinės katilinės atveju AŠS išgarintuvas turėtų būti jungiamas uždareme kontūre su 2-uju dūmų kondensacinio ekonomaizerio laipsniu;
3. AŠS turi didžiausią įtaką biokuro dūmų kondensacinio ekonomaizerio darbui tada, kai yra deginamas sausas kuras, $W < 35 \%$, o grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra yra aukšta, $T > 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Tokiu atveju iš DKE išgaunama du kartus daugiau galios, nei naudojant tik DKE be AŠS. Absorbcinis šilumos siurblys turi didelę įtaką galutinei DKE sistemos galiai deginant gamtines dujas, kai grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra aukšta, $T > 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Šiuo atveju iš DKE išgausime 2,5 karto daugiau galios nei tuo atveju, kai naudosime tik DKE be AŠS;
4. Biokuro atveju AŠS ir DKE sistemos atsipirkimas yra 5,2 metai, katilui dirbant 8000 val. per metus. Investicinė grąža 20 metų laikotarpiui siekia 13,1 %. Ši sistema yra energetiškai ir ekonomiškai naudinga;
5. Dujinių katilų atveju, kai katilas dirba 4400 val. per metus, AŠS ir DKE sistemos atsipirkimas yra 13,5 metų. Ši sistema esant tokioms sąlygoms yra ekonomiškai nenaudinga.

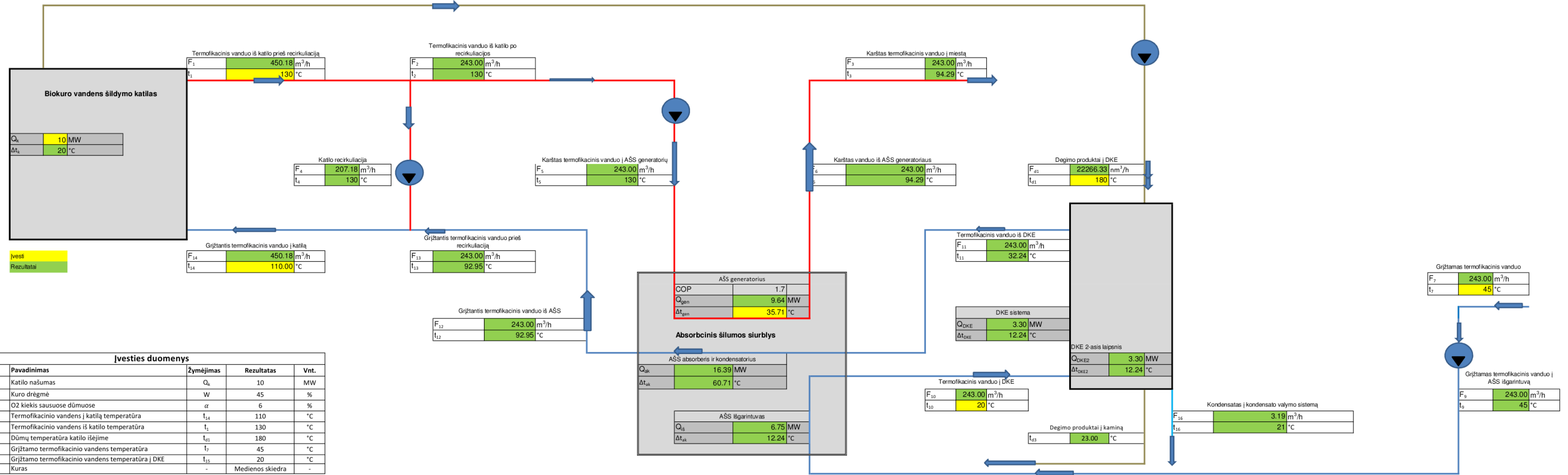
LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. „Europos parlamento ir tarybos direktyva 2012/27/ES Dėl energijos vartojimo efektyvumo,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:LT:PDF>.
2. „Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.E151BC09AE62>.
3. „Lietuvos respublikos energijos efektyvumo didinimo įstatymas,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/946da260a67b11e69ad4c8713b612d0f>.
4. „Ličio bromido sąvybės,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<http://chemicalland21.com/industrialchem/inorganic/LITHIUM%20BROMIDE.htm>.
5. J. Patek ir J. Klomfar, „A computationally effective formulation of the thermodynamic properties of LiBr-H₂O solutions from 273 to 500 K over full composition range,“ 2006 [interaktyvus]. Prieiga per:
https://www.researchgate.net/publication/223296137_A_computationally_effective_formulation_of_the_thermodynamic_properties_of_LiBr-H2O_solutions_from_273_to_500_K_over_full_composition_range. [Kreiptasi 18 06 2017].
6. H. Keith E., R. Reinhard ir K. Sanford A., "Absorption Chillers and Heat Pumps", "CRC Press", 1996.
7. „Renova AB atliekų rūšiavimo įmonė su absorbciniais šilumos siurbliais,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://bio-chp.force.dk/downloads/chp-plants-key-figures/>.
8. „Absorbcinių šilumos siurblių "Broad Group" gamintojo pateikto komercinio pasiūlymo nurodymai,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <http://en.broad.com/>.
9. „Katilinių įrengimo taisyklės,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/07932f107e3d11e6b969d7ae07280e89>.
10. „Statybos techninis reglamentas STR 2.07.01:2003 "Vandentiekis ir nuotekų šalintuvas. Pastato inžinerinės sistemos. Lauko inžineriniai tinklai,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.EFD8078E42A8>.
11. „Enviloop "FlueGas" programinė įranga,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<http://www.enviloop.se/fluegas/>.
12. „"Thermax" absorbciniai šilumos siurbliai,“ [interaktyvus]. Prieiga per:
<https://www.thermaxglobal.com/>.

13. „Danstoker absorbciniai šilumos siurbliai,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <http://danstoker.com/>.
14. „Microsoft Excel programinė įranga,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://products.office.com/lt-lt/excel>.
15. „Lietuvos šilumos tiekėjų Asociacija (LSTA) "Šilumos tiekimo bendrovių 2016m. ūkinės veiklos apžvalga",“ [interaktyvus]. Prieiga per: http://www.lsta.lt/files/statistika/2016_LSTA_ukines_veiklos_apzvalga.pdf.
16. „AB "Kauno energija" vidutinės šilumos supirkimo kainos iš nepriklausomų šilumos tiekėjų,“ [interaktyvus]. Prieiga per: www.kaunoenergija.lt.
17. N. Liutikas ir J. Gudzinskas, "Bendroji šiluminė technika", Vilnius: "Mintis", 1974.
18. „Biokuro katilinių įrangos projektavimo ir gaminimo įmonė UAB "Enerstena",“ [interaktyvus]. Prieiga per: <http://enerstena.lt/lt>.
19. „Technology data for energy plants,“ [interaktyvus]. Prieiga per: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_catalogue_for_energy_plants_el_and_dh_-_aug_2016_update_march2018.pdf.
20. „AB "Energijos skirstymo operatorius" gamtinių dujų paskirstymo kaina,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.regula.lt/dujos/Puslapiai/duju-kainos/ab-lietuvos-dujos-skirstymas.aspx>.
21. „UAB "LitGas" gamtinių dujų žaliavos kaina,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.regula.lt/dujos/Puslapiai/uab-litgas.aspx>.
22. „AB "Amber Grid" gamtinių dujų perdavimo paslaugos kaina,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://www.regula.lt/dujos/Puslapiai/duju-kainos/ab-amber-grid-.aspx>.
23. „"BaltPool" Biokuro kaina Kauno apskrityje,“ [interaktyvus]. Prieiga per: <https://e.baltpool.eu/biomass/?bp=biopriceforperiod>.

PRIEDAI

1 PRIEDAS. DŪMŲ KONDENSACINIO EKONOMAIZERIO IR ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO ŠILUMOS IR MASĖS BALANSŲ SKAIČIAVIMAI



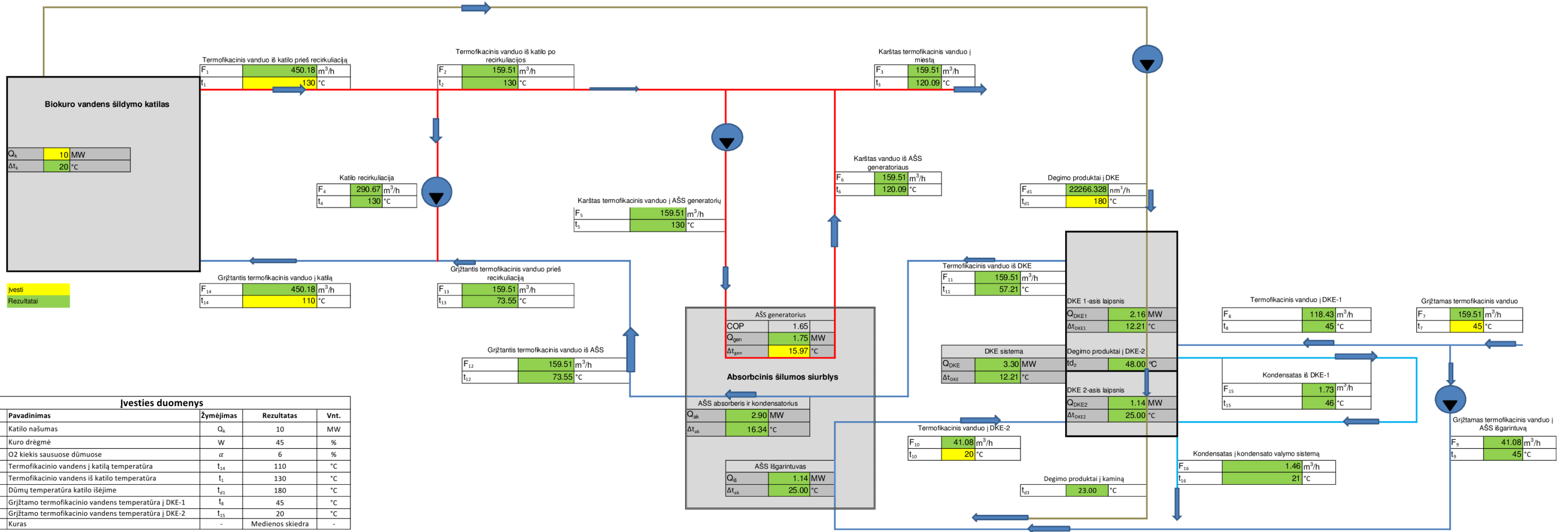
Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	$^\circ\text{C}$
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	$^\circ\text{C}$
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	$^\circ\text{C}$
7	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra	t_7	45	$^\circ\text{C}$
8	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra DKE	t_{15}	20	$^\circ\text{C}$
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-

DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
11	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK _{DKE}	114.50	%
12	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_7	20	$^\circ\text{C}$
13	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11}	32.24	$^\circ\text{C}$
14	Termofikacinio vandens debitas į DKE sistemą	F_8	243.00	m ³ /h
15	Temperatūrų skirtumas per DKE sistemą	Δt_{DKE}	12.24	$^\circ\text{C}$
16	Degimo produktų temperatūra DKE sistemos įėjime	t_{d1}	180	$^\circ\text{C}$
17	Degimo produktų temperatūra DKE sistemos išėjime	t_{d3}	23.00	$^\circ\text{C}$
18	DKE sistemos galia nuo katilo galios	-	33.04	%

Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
19	COP	COP	1.70	-
20	Generatoriaus galia	Q_{gen}	9.64	MW
21	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	16.39	MW
22	Išgarintuvo galia	Q_{is}	3.30	MW
23	Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (teikiama į miestą)	t_3	94.29	MW
Generatorius				
25	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_5	130.00	$^\circ\text{C}$
26	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_6	94.29	$^\circ\text{C}$
27	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_5	243.00	m ³ /h
28	Temperatūrų skirtumas per generatorių	Δt_{gen}	35.71	$^\circ\text{C}$
29	Absorberis ir kondensatorius			
30	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{11}	32.24	$^\circ\text{C}$
31	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{12}	92.95	$^\circ\text{C}$
32	Termofikacinio vandens debitas per absorberį ir kondensatorių	F_{11}	243.00	m ³ /h
33	Temperatūrų skirtumas per absorberį ir kondensatorių	Δt_{ak}	60.71	$^\circ\text{C}$
34	Išgarintuvas			
35	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_9	45.00	$^\circ\text{C}$
36	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{10}	20.00	$^\circ\text{C}$
37	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_9	243.00	m ³ /h
38	Temperatūrų skirtumas per išgarintuvą	Δt_{is}	12.24	$^\circ\text{C}$

Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
39	Katilo našumas	Q_k	10	MW
40	Katilo NVK	NVK _k	85.96	%
41	Kuras	-	Medienos skiedra	-
42	Kuro drėgmė	W	45	%
43	Žemutinė kuro šiluminė vertė	ŽSV	9137.75	kJ/kg
44	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
45	Katilo vandens traktas			
46	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	$^\circ\text{C}$
47	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	$^\circ\text{C}$
48	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją temperatūra	t_{13}	92.95	$^\circ\text{C}$
49	Termofikacinio vandens į katilą debitas	F_{14}	450.18	m ³ /h
50	Termofikacinio vandens už recirkuliacijos kontūrą debitas	F_2	243.00	m ³ /h
51	Termofikacinio vandens į miestą debitas	F_3	243.00	m ³ /h
52	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją debitas	F_{13}	243.00	m ³ /h
53	Katilo dūmų traktas			
54	Degimo produktų iš katilo temperatūra	t_{d1}	180	$^\circ\text{C}$
55	Degimo produktų iš katilo debitas	F_{d1}	22266.32772	nm ³ /h

2 PRIEDAS. DŪMŲ KONDENSACINIO EKONOMAIZERIO IR ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO ŠILUMOS IR MASĖS BALANSŲ SKAIČIAVIMAS



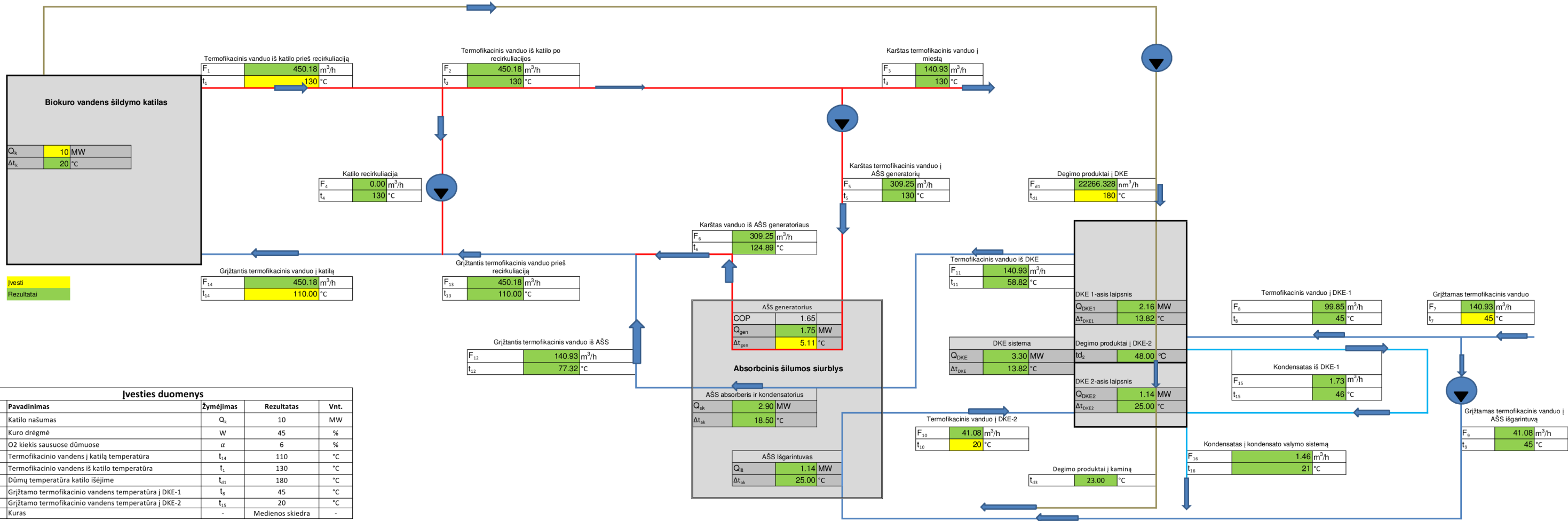
Ivesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O ₂ kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra į DKE-1	t_8	45	°C
8	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra į DKE-2	t_{15}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-

DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE-1 galia	Q_{DKE1}	2163.0	kW
11	DKE-2 galia	Q_{DKE2}	1140.64	kW
12	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
13	Katilo ir DKE-1 NVK	NVK_{K+DKE1}	104.64	%
14	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{K+DKE}	114.50	%
15	DKE-1 rezultatai			
16	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_8	45	°C
17	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11}	57.21	°C
18	Termofikacinio vandens debitas į DKE-1	F_8	118.43	m ³ /h
19	Temperatūrų skirtumas per DKE-1	Δt_{DKE1}	12.21	°C
20	Degimo produktų temperatūra DKE-1 įėjime	t_{d1}	3	°C
21	Degimo produktų temperatūra DKE-1 išėjime	t_{d2}	48	°C
22	DKE-1 galia nuo katilo galios	-	21.63	%
23	DKE-2 rezultatai (prijungus AŠS)			
24	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{15}	20	°C
25	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	-	45.00	°C
26	Termofikacinio vandens debitas į DKE-2	F_{10}	41.08	m ³ /h
27	Temperatūrų skirtumas per DKE-2	Δt_{DKE2}	25.00	°C
28	Degimo produktų temperatūra DKE-2 įėjime	t_{d2}	48	°C
29	Degimo produktų temperatūra DKE-2 išėjime	t_{d3}	23.00	°C
30	DKE-2 galia nuo katilo galios	-	11.41	%
31	DKE sistemos rezultatai			
32	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_7	45	°C
33	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11}	57.21	°C
34	Termofikacinio vandens debitas į DKE sistemą	F_8	118.43	m ³ /h
35	Temperatūrų skirtumas per DKE sistemą	Δt_{DKE}	12.21	°C
36	Degimo produktų temperatūra DKE sistemos įėjime	t_{d1}	180	°C

Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
11	COP	COP	1.65	
12	Generatoriaus galia	Q_{gen}	1.75	MW
13	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	2.90	MW
14	Išgarintuvo galia	Q_{i}	1.14	MW
15	Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (tiekiama į miestą)	t_9	120.09	°C
16	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_5	130.00	°C
17	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_6	120.09	°C
18	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_5	159.51	m ³ /h
19	Temperatūrų skirtumas per generatorių	Δt_{gen}	15.97	°C
20	Absorberis ir kondensatorius			
21	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{11}	57.21	°C
22	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{12}	73.55	°C
23	Termofikacinio vandens debitas per absorberį ir kondensatorių	F_{11}	159.51	m ³ /h
24	Temperatūrų skirtumas per absorberį ir kondensatorių	Δt_{ak}	16.34	°C
25	Išgarintuvai			
26	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_9	45.00	°C
27	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{10}	20.00	°C
28	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_9	41.08	m ³ /h
29	Temperatūrų skirtumas per išgarintuvą	Δt_{i}	25.00	°C

Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
30	Katilo našumas	Q_k	10	MW
31	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%
32	Kuras	-	Medienos skiedra	-
33	Kuro drėgmė	W	45	%
34	Žemutinė kuro šiluminė vertė	ŽSV	9137.75	kJ/kg
35	O ₂ kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
36	Katilo vandens traktas			
37	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	°C
38	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
39	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra prieš vandens paimimą iš generatoriaus	t_{12}	73.55	°C
40	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją temperatūra	t_{13}	73.55	°C
41	Termofikacinio vandens į katilą debitas	F_{14}	450.18	m ³ /h
42	Termofikacinio vandens už recirkuliacijos kontūro debitas	F_2	159.51	m ³ /h
43	Termofikacinio vandens į miestą debitas	F_3	159.51	m ³ /h
44	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją debitas	F_{13}	159.51	m ³ /h
45	Katilo dūmų traktas			
46	Degimo produktų iš katilo temperatūra	t_{d1}	180	°C
47	Degimo produktų iš katilo debitas	F_{d1}	22266.32772	nm ³ /h

3 PRIEDAS. OPTIMIZUOTOS DŪMŲ KONDENSACINIO EKONOMAIZERIO IR ABSORBCINIO ŠILUMOS SIURBLIO SISTEMOS ŠILUMOS IR MASĖS BALANSŲ SKAIČIAVIMAS



Įvesties duomenys				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
1	Katilo našumas	Q_k	10	MW
2	Kuro drėgmė	W	45	%
3	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
4	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	°C
5	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
6	Dūmų temperatūra katilo išėjime	t_{d1}	180	°C
7	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra į DKE-1	t_4	45	°C
8	Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra į DKE-2	t_{13}	20	°C
9	Kuras	-	Medienos skiedra	-

DKE rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
10	DKE-1 galia	Q_{DKE1}	2163.0	kW
11	DKE-2 galia	Q_{DKE2}	1140.64	kW
12	DKE sistemos galia	Q_{DKE}	3303.62	kW
13	Katilo ir DKE-1 NVK	NVK_{k+DKE1}	104.64	%
14	Katilo ir DKE sistemos NVK	NVK_{k+DKE}	114.50	%
15	DKE-1 rezultatai			
16	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_6	45	°C
17	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11}	58.82	°C
18	Termofikacinio vandens debitas į DKE-1	F_8	99.85	m ³ /h
19	Temperatūrų skirtumas per DKE-1	Δt_{DKE1}	13.82	°C
20	Degimo produktų temperatūra DKE-1 įėjime	t_{d1}	3	°C
21	Degimo produktų temperatūra DKE-1 išėjime	t_{d2}	48	°C
22	DKE-1 galia nuo katilo galios	-	21.63	%
23	DKE-2 rezultatai (prijungus AŠS)			
24	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{15}	20	°C
25	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	-	45.00	°C
26	Termofikacinio vandens debitas į DKE-2	F_{10}	41.08	m ³ /h
27	Temperatūrų skirtumas per DKE-2	Δt_{DKE2}	25.00	°C
28	Degimo produktų temperatūra DKE-2 įėjime	t_{d3}	48	°C
29	Degimo produktų temperatūra DKE-2 išėjime	t_{d3}	23.00	°C
30	DKE-2 galia nuo katilo galios	-	11.41	%
31	DKE sistemos rezultatai			
32	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_7	45	°C
33	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11}	58.82	°C
34	Termofikacinio vandens debitas į DKE sistemą	F_8	140.93	m ³ /h
35	Temperatūrų skirtumas per DKE sistemą	Δt_{DKE}	13.82	°C
36	Degimo produktų temperatūra DKE sistemos įėjime	t_{d1}	180	°C
37	Degimo produktų temperatūra DKE sistemos išėjime	t_{d3}	23.00	°C
38	DKE sistemos galia nuo katilo galios	-	33.04	%

Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
11	COP	COP	1.65	
12	Generatoriaus galia	Q_{gen}	1.75	MW
13	Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}	2.90	MW
14	Išgarintuvo galia	Q_{i8}	1.14	MW
15	Generatorius			
16	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_5	130.00	°C
17	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_6	124.89	°C
18	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_5	309.25	m ³ /h
19	Temperatūrų skirtumas per generatorių	Δt_{gen}	5.11	°C
20	Absorberis ir kondensatorius			
21	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{11}	58.82	°C
22	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{12}	77.32	°C
23	Termofikacinio vandens debitas per absorberį ir kondensatorių	F_{11}	140.93	m ³ /h
24	Temperatūrų skirtumas per absorberį ir kondensatorių	Δt_{ak}	18.50	°C
25	Išgarintuvas			
26	Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_9	45.00	°C
27	Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{10}	20.00	°C
28	Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_9	41.08	m ³ /h
29	Temperatūrų skirtumas per išgarintuvą	Δt_{i8}	25.00	°C

Katilo skaičiavimų rezultatai				
Nr.	Pavadinimas	Žymėjimas	Rezultatas	Vnt.
30	Katilo našumas	Q_k	10	MW
31	Katilo NVK	NVK_k	85.96	%
32	Kuras	-	Medienos skiedra	-
33	Kuro drėgmė	W	45	%
34	Žemutinė kuro šiluminė vertė	ZŠV	9137.75	kJ/kg
35	O2 kiekis sausuose dūmuose	α	6	%
36	Katilo vandens traktas			
37	Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	t_{14}	110	°C
38	Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	t_1	130	°C
39	Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra prieš vandens pamašymą iš generatoriaus	t_{12}	77.32	°C
40	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją temperatūra	t_{13}	110.00	°C
41	Termofikacinio vandens už recirkuliacijos kontūro debitas	F_{14}	450.18	m ³ /h
42	Termofikacinio vandens į miestą debitas	F_2	450.18	m ³ /h
43	Termofikacinio vandens į miestą debitas	F_3	140.93	m ³ /h
44	Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją debitas	F_{13}	140.93	m ³ /h
45	Katilo dūmų traktas			
46	Degimo produktų iš katilo temperatūra	t_{d1}	180	°C
47	Degimo produktų iš katilo debitas	F_{d1}	22266.32772	nm ³ /h

**4 PRIEDAS. ŠILUMOS IR MASĖS BALANSŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI ESANT SKIRTINGIEMS DEGINAMO
BIOKURO PARAMETRAMS**

Įvesties duomenys																
Darbo režimas	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	$T_7, ^\circ\text{C}$	35	35	35	40	40	40	45	45	45	50	50	50	55	55	55
Kuro drėgmė	W, %	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60	30	45	60
Katilo našumas	Q_k, MW	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
O2 kiekis sausuose dūmuose	%	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	$T_{14}, ^\circ\text{C}$	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	$T_1, ^\circ\text{C}$	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
Dūmų temperatūra katilo išėjime	$T_{dl}, ^\circ\text{C}$	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE-1	$T_8, ^\circ\text{C}$	35	35	35	40	40	40	45	45	45	50	50	50	55	55	55
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE-2	$T_{15}, ^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Kuras	-	Medienos skiedra														
DKE rezultatai																
DKE-1 galia	Q_{DKE1}, KW	1921	2732	4461	1703	2476	4122	1436	2163	3709	1109	1780	3204	866	1313	2588
DKE-2 galia	Q_{DKE2}, KW	486	572	759	704	828	1098	971	1141	1511	1297	1524	2016	1541	1991	2632
DKE sistemos galia	Q_{DKE}, KW	2407	3304	5220	2407	3304	5220	2407	3304	5220	2407	3304	5220	2407	3304	5220
DKE-1 galia nuo katilo galios	%	19.2	27.3	44.6	17.0	24.8	41.2	14.4	21.6	37.1	11.1	17.8	32.0	8.7	13.1	25.9
DKE-2 galia nuo katilo galios	%	4.9	5.7	7.6	7.0	8.3	11.0	9.7	11.4	15.1	13.0	15.2	20.2	15.4	19.9	26.3
DKE sistemos galia nuo katilo galios	%	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2
DKE-1 galia nuo DKE sistemos galios	-	0.8	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5
DKE-2 galia nuo DKE sistemos galios	-	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5
Katilo ir DKE-1 NVK	$NVK_{k+DKE1}, \%$	104.4	109.6	119.9	102.5	107.3	117.1	100.1	104.6	113.6	97.3	101.3	109.4	95.1	97.3	104.3
Katilo ir DKE sistemos NVK	$NVK_{k+DKE}, \%$	108.7	114.5	126.2	108.7	114.5	126.2	108.7	114.5	126.2	108.7	114.5	126.2	108.7	114.5	126.2
DKE-1 rezultatai																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$T_8, ^\circ\text{C}$	35.0	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	45.0	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$T_{11}, ^\circ\text{C}$	49.7	54.5	62.8	52.4	56.7	64.4	54.8	58.8	65.7	57.2	60.7	66.8	60.2	62.4	67.8
Termofikacinio vandens debitas į DKE-1	$F_8, \text{m}^3/\text{h}$	88.4	91.8	98.7	92.4	95.8	102.9	96.5	99.8	106.8	100.7	104.0	110.8	109.3	108.5	115.0

Temperatūrų skirtumas per DKE-1	Δt_{DKE1} , °C	14.7	19.5	27.8	12.4	16.7	24.4	9.8	13.8	20.7	7.2	10.7	16.8	5.2	7.4	12.8
Degimo produktų temperatūra DKE-1 įėjime	t_{d1} , °C	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Degimo produktų temperatūra DKE-1 išėjime	t_{d2} , °C	38.0	38.0	38.0	43.0	43.0	43.0	48.0	48.0	48.0	53.0	53.0	53.0	58.0	58.0	58.0
DKE-1 galia nuo katilo galios	%	19.2	27.3	44.6	17.0	24.8	41.2	14.4	21.6	37.1	11.1	17.8	32.0	8.7	13.1	25.9
DKE-2 rezultatai (prijungus AŠS)																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_{15} , °C	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	-	35.0	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	45.0	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0
Termofikacinio vandens debitas į DKE-2	F_{10} , m ³ /h	29.2	34.3	45.5	31.7	37.3	49.4	35.0	41.1	54.4	38.9	45.7	60.5	39.6	51.2	67.7
Temperatūrų skirtumas per DKE-2	Δt_{DKE2} , °C	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0	30.0	35.0	35.0	35.0
Degimo produktų temperatūra DKE-2 įėjime	t_{d2} , °C	38.0	38.0	38.0	43.0	43.0	43.0	48.0	48.0	48.0	53.0	53.0	53.0	58.0	58.0	58.0
Degimo produktų temperatūra DKE-2 išėjime	t_{d3} , °C	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
DKE-2 galia nuo katilo galios	%	4.9	5.7	7.6	7.0	8.3	11.0	9.7	11.4	15.1	13.0	15.2	20.2	15.4	19.9	26.3
DKE sistemos rezultatai																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_7 , °C	35.0	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	45.0	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_{11} , °C	49.7	54.5	62.8	52.4	56.7	64.4	54.8	58.8	65.7	57.2	60.7	66.8	60.2	62.4	67.8
Termofikacinio vandens debitas į DKE sistemą	F_8 , m ³ /h	117.6	126.1	144.2	124.1	133.1	152.3	131.4	140.9	161.2	139.6	149.7	171.3	148.9	159.7	182.7
Temperatūrų skirtumas per DKE sistemą	Δt_{DKE} , °C	14.7	19.5	27.8	12.4	16.7	24.4	9.8	13.8	20.7	7.2	10.7	16.8	5.2	7.4	12.8
Degimo produktų temperatūra DKE sistemos įėjime	t_{d1} , °C	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
Degimo produktų temperatūra DKE sistemos išėjime	t_{d3} , °C	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
DKE sistemos galia nuo katilo galios	%	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2	24.1	33.0	52.2
Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai																
COP	COP	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Generatoriaus galia	Q_{gen} , MW	0.7	0.8	1.1	1.0	1.2	1.6	1.4	1.6	2.2	1.9	2.2	2.9	2.2	2.8	3.8
Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak} , MW	1.2	1.4	1.8	1.7	2.0	2.7	2.4	2.8	3.7	3.2	3.7	4.9	3.7	4.8	6.4
Išgarintuvo galia	Q_{i8} , MW	0.5	0.6	0.8	0.7	0.8	1.1	1.0	1.1	1.5	1.3	1.5	2.0	1.5	2.0	2.6
Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (tiekiama į miestą)	t_3 , °C	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Generatorius																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	t_5 , °C	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	t_6 , °C	128.1	127.7	126.8	127.2	126.6	125.3	126.1	125.3	123.3	124.6	123.5	120.7	123.4	121.2	117.3
Termofikacinio vandens debitas per generatorių	F_5 , m ³ /h	332.6	324.1	305.9	326.1	317.1	297.9	318.8	309.3	289.0	310.5	300.5	278.9	301.2	290.5	267.5

Temperatūrų skirtumas per generatorių	$\Delta t_{gen}, ^\circ C$	1.9	2.3	3.2	2.8	3.4	4.7	3.9	4.7	6.7	5.4	6.5	9.3	6.6	8.8	12.7
Absorberis ir kondensatorius																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_{11}, ^\circ C$	49.7	54.5	62.8	52.4	56.7	64.4	54.8	58.8	65.7	57.2	60.7	66.8	60.2	62.4	67.8
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_{12}, ^\circ C$	58.7	64.4	74.3	64.8	70.4	80.1	71.0	76.5	86.2	77.5	83.0	92.6	82.9	89.7	99.2
Termofikacinio vandens debitas per absorberį ir kondensatorių	$F_{11}, m^3/h$	117.6	126.1	144.2	124.1	133.1	152.3	131.4	140.9	161.2	139.6	149.7	171.3	148.9	159.7	182.7
Temperatūrų skirtumas per absorberį ir kondensatorių	$\Delta t_{ak}, ^\circ C$	9.0	9.9	11.5	12.4	13.6	15.8	16.1	17.7	20.5	20.3	22.3	25.7	22.6	27.3	31.5
Išgarintuvas																
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_9, ^\circ C$	35.0	35.0	35.0	40.0	40.0	40.0	45.0	45.0	45.0	50.0	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_{10}, ^\circ C$	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Termofikacinio vandens debitas per generatorių	$F_9, m^3/h$	29.2	34.3	45.5	31.7	37.3	49.4	35.0	41.1	54.4	38.9	45.7	60.5	39.6	51.2	67.7
Temperatūrų skirtumas per išgarintuvą	$\Delta t_{ak}, ^\circ C$	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0	30.0	35.0	35.0	35.0
Katilo skaičiavimų rezultatai																
Katilo našumas	Q_k, MW	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Katilo NVK	$NVK_k, \%$	87.5	86.0	82.8	87.5	86.0	82.8	87.5	86.0	82.8	87.5	86.0	82.8	87.5	86.0	82.8
Kuras	-	Medienos skiedra														
Kuro drėgmė	$W, \%$	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
Žemutinė kuro šiluminė vertė	$\dot{Z}SV, kJ/kg$	12312	9138	5964	12312	9138	5964	12312	9138	5964	12312	9138	5964	12312	9138	5964
O2 kiekis sausuose dūmuose	$\%$	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Katilo vandens traktas																
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra prieš vandens pamaišymą iš generatoriaus	$t_{12}, ^\circ C$	58.7	64.4	74.3	64.8	70.4	80.1	71.0	76.5	86.2	77.5	83.0	92.6	82.9	89.7	99.2
Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją temperatūra	$t_{13}, ^\circ C$	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0
Termofikacinio vandens į katilą debitas	$F_{14}, ^\circ C$	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Termofikacinio vandens už recirkuliacijos kontūro debitas	$F_2, m^3/h$	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Termofikacinio vandens į miestą debitas	$F_3, m^3/h$	117.6	126.1	144.2	124.1	133.1	152.3	131.4	140.9	161.2	139.6	149.7	171.3	148.9	159.7	182.7
Katilo dūmų traktas																
Degimo produktų iš katilo temperatūra	$t_{d1}, ^\circ C$	180.00	180.00	180.00	180	180.00	180.00	180.00	180.00	180	180.00	180.00	180	180.00	180.00	180.00
Degimo produktų iš katilo debitas	$F_{d1}, nm^3/h$	19082	22266	29214	19082	22266	29214	19082	22266	29214	19082	22266	29214	19082	22266	29214

**5 PRIEDAS. ŠILUMOS IR MASĖS BALANSŲ SKAIČIAVIMO REZULTATAI ESANT SKIRTINGIEMS PARAMETRAMS
DEGINANT GAMTINES DUJAS**

Įvesties duomenys						
Darbo režimas	-	1	6	7	10	15
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra	$T_7, ^\circ\text{C}$	35	40	45	50	55
Katilo našumas	Q_k, MW	10	10	10	10	10
O ₂ kiekis sausuose dūmuose	%	3	3	3	3	3
Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	$T_{14}, ^\circ\text{C}$	110	110	110	110	110
Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	$T_1, ^\circ\text{C}$	130	130	130	130	130
Dūmų temperatūra katilo išėjime	$T_{d1}, ^\circ\text{C}$	180	180	180	180	180
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE-1	$T_8, ^\circ\text{C}$	35	40	45	50	55
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra į DKE-2	$T_{15}, ^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20
Kuras	-	Gamtinės dujos				
DKE rezultatai						
DKE-1 galia	$Q_{\text{DKE1}}, \text{KW}$	1200	987	725	606	581
DKE-2 galia	$Q_{\text{DKE2}}, \text{KW}$	437	650	911	1030	1055
DKE sistemos galia	$Q_{\text{DKE}}, \text{KW}$	1636	1636	1636	1636	1636
DKE-1 galia nuo katilo galios	%	12.0	9.9	7.3	6.1	5.8
DKE-2 galia nuo katilo galios	%	4.4	6.5	9.1	10.3	10.6
DKE sistemos galia nuo katilo galios	%	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
DKE-1 galia nuo DKE sistemos galios	-	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4
DKE-2 galia nuo DKE sistemos galios	-	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6
Katilo ir DKE-1 NVK	$\text{NVK}_{\text{k+DKE1}}, \%$	102.9	100.9	98.5	97.4	97.2
Katilo ir DKE sistemos NVK	$\text{NVK}_{\text{k+DKE}}, \%$	106.9	106.9	106.9	106.9	106.9
DKE-1 rezultatai						
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$T_8, ^\circ\text{C}$	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$T_{11}, ^\circ\text{C}$	44.8	47.6	50.3	54.2	58.7
Termofikacinio vandens debitas į DKE-1	$F_8, \text{m}^3/\text{h}$	110.3	116.4	123.3	131.0	139.7
Temperatūrų skirtumas per DKE-1	$\Delta t_{\text{DKE1}}, ^\circ\text{C}$	9.8	7.6	5.3	4.2	3.7

Degimo produktų temperatūra DKE-1 įėjime	$t_{d1}, ^\circ\text{C}$	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
Degimo produktų temperatūra DKE-1 išėjime	$t_{d2}, ^\circ\text{C}$	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
DKE-1 galia nuo katilo galios	%	12.0	9.9	7.3	6.1	5.8
DKE-2 rezultatai (prijungus AŠS)						
Vandens įėjimo temperatūra	$t_{15}, ^\circ\text{C}$	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Vandens išėjimo temperatūra	-	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Vandens debitas į DKE-2	$F_{10}, \text{m}^3/\text{h}$	39.3	58.5	82.0	92.8	95.0
Temperatūrų skirtumas per DKE-2	$\Delta t_{\text{DKE2}}, ^\circ\text{C}$	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Degimo produktų temperatūra DKE-2 įėjime	$t_{d2}, ^\circ\text{C}$	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0
Degimo produktų temperatūra DKE-2 išėjime	$t_{d3}, ^\circ\text{C}$	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
DKE-2 galia nuo katilo galios	%	4.4	6.5	9.1	10.3	10.6
DKE sistemos rezultatai						
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_7, ^\circ\text{C}$	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_{11}, ^\circ\text{C}$	44.8	47.6	50.3	54.2	58.7
Termofikacinio vandens debitas į DKE sistemą	$F_8, \text{m}^3/\text{h}$	110.3	116.4	123.3	131.0	139.7
Temperatūrų skirtumas per DKE sistemą	$\Delta t_{\text{DKE}}, ^\circ\text{C}$	9.8	7.6	5.3	4.2	3.7
Degimo produktų temperatūra DKE sistemos įėjime	$t_{d1}, ^\circ\text{C}$	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
Degimo produktų temperatūra DKE sistemos išėjime	$t_{d3}, ^\circ\text{C}$	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
DKE sistemos galia nuo katilo galios	%	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
Absorbcinis šilumos siurblio skaičiavimų rezultatai						
COP	COP	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Generatoriaus galia	$Q_{\text{gen}}, \text{MW}$	0.6	0.9	1.3	1.5	1.5
Absorberio ir kondensatoriaus galia	Q_{ak}, MW	1.1	1.6	2.2	2.5	2.6
Išgarintuvo galia	Q_{is}, MW	0.4	0.6	0.9	1.0	1.1
Termofikacinio vandens temperatūra už AŠS išgarintuvo (teikiama į miestą)	$t_3, ^\circ\text{C}$	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Generatorius						
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_5, ^\circ\text{C}$	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_6, ^\circ\text{C}$	128.3	127.5	126.4	125.8	125.6
Termofikacinio vandens debitas per generatorių	$F_5, \text{m}^3/\text{h}$	339.9	333.8	326.9	319.2	310.5
Temperatūrų skirtumas per generatorių	$\Delta t_{\text{gen}}, ^\circ\text{C}$	1.7	2.5	3.6	4.2	4.4

Absorberis ir kondensatorius						
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_{11}, ^\circ\text{C}$	44.8	47.6	50.3	54.2	58.7
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_{12}, ^\circ\text{C}$	53.5	59.8	66.5	71.4	75.3
Termofikacinio vandens debitas per absorberį ir kondensatorių	$F_{11}, \text{m}^3/\text{h}$	110.3	116.4	123.3	131.0	139.7
Temperatūrų skirtumas per absorberį ir kondensatorių	$\Delta t_{ak}, ^\circ\text{C}$	8.7	12.2	16.2	17.2	16.5
Išgarintuvas						
Termofikacinio vandens įėjimo temperatūra	$t_9, ^\circ\text{C}$	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Termofikacinio vandens išėjimo temperatūra	$t_{10}, ^\circ\text{C}$	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Termofikacinio vandens debitas per generatorių	$F_9, \text{m}^3/\text{h}$	39.3	58.5	82.0	92.8	95.0
Temperatūrų skirtumas per išgarintuvą	$\Delta t_{ak}, ^\circ\text{C}$	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Katilo skaičiavimų rezultatai						
Katilo našumas	Q_k, MW	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Katilo NVK	$\text{NVK}_k, \%$	92.3	92.3	92.3	92.3	92.3
Kuras	-	Gamtinės dujos				
Žemutinė kuro šiluminė vertė	$\text{ŽŠV}, \text{kJ/kg}$	50305	50305	50305	50305	50305
O ₂ kiekis sausuose dūmuose	%	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Katilo vandens traktas						
Termofikacinio vandens į katilą temperatūra	$t_{14}, ^\circ\text{C}$	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0
Termofikacinio vandens iš katilo temperatūra	$t_1, ^\circ\text{C}$	130.0	130.0	130.0	130.0	130.0
Grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra prieš vandens pamaišymą iš generatoriaus	$t_{12}, ^\circ\text{C}$	53.5	59.8	66.5	71.4	75.3
Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją temperatūra	$t_{13}, ^\circ\text{C}$	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0
Termofikacinio vandens į katilą debitas	$F_{14}, ^\circ\text{C}$	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Termofikacinio vandens už recirkuliacijos kontūro debitas	$F_2, \text{m}^3/\text{h}$	450.2	450.2	450.2	450.2	450.2
Termofikacinio vandens į miestą debitas	$F_3, \text{m}^3/\text{h}$	110.3	116.4	123.3	131.0	139.7
Grįžtančio termofikacinio vandens prieš recirkuliaciją debitas	$F_{13}, \text{m}^3/\text{h}$	110.3	116.4	123.3	131.0	139.7
Katilo dūmų traktas						
Degimo produktų iš katilo temperatūra	$t_{d1}, ^\circ\text{C}$	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
Degimo produktų iš katilo debitas	$F_{d1}, \text{nm}^3/\text{h}$	13199	13199	13199	13199	13199