



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

**Gediminas Petrošius**

**BIOKURO KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PARAMETRŲ  
ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. Arvydas Adomavičius

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
**ŠILUMOS IR ATOMO ENERGETIKOS KATEDRA**

TVIRTINU  
Katedros vedėjas  
(parašas) Doc. Egidijus Puida  
(data)

**BIOKURO KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PARAMETRŲ  
ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas  
Termoinžinerija (kodas 621E30001)

**Vadovas**  
(parašas) Doc. Arvydas Adomavičius  
(data)

**Recenzentas**  
(parašas) Doc. Juozas Gudzinskas  
(data)

**Projektą atliko**  
(parašas) Gediminas Petrošius  
(data)

**KAUNAS, 2015**

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

**Tvirtinu:**

Šilumos ir atomo energetikos (parašas, data)  
katedros vedėjas doc. E. Puida  
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO  
UŽDUOTIS  
Studijų programa TERMOINŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema **Biokuro kogeneracinės elektrinės parametrų analizė**.....  
**Analysis of biofuel cogeneration power plant parameters** .....
- Patvirtinta 2015 ... m. gegužės mėn. 11 d. dekanų įsakymu Nr.ST17-F-11-2.....
2. Darbo tikslas **Išanalizuoti biokuro kogeneracinės elektrinės veikimą paleidimo, stabdymo ir eksploatavimo metu, darbo parametrus ir atitinkamų dydžių įtaką elektrinės eksploatavimo ypatumams**.....
3. Darbo struktūra **Įvadas; Biokuro kogeneracinių elektrinių diegimo raida Europos Sąjungos šalyse ir Lietuvoje; elektrinės technologinės schemos esminiai elementai; elektrinės paleidimo, stabdymo ir technologinių režimų parametrų analizė; esminiai kogeneracinės elektrinės eksploatavimo trūkumai ir jų sprendimo metodai; elektrinės technologinis plėtojimas, panaudojant naujas technologijas; ekonominis – ekologinis vertinimas; išvados ir rekomendacijos**.....  
.....  
.....
4. Reikalavimai ir sąlygos **Ruošiant darbą vadovautis norminiais LR dokumentais, baigiamųjų darbų rengimo reikalavimais**.....  
.....  
.....
5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: **2015 m. 06 mėn. 01 d.**

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis.

Išduota studentui ..... **Gediminui Petrošiui**  
Užduotį gavau **Gediminas Petrošius** ..... **2014.02.02**  
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas **doc. Arvydas Adomavičius** ..... **2014-02-02**  
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

(Fakultetas)

Gediminas Petrošius

(Studento vardas, pavardė)

Terminžinerija (kodas 621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Biokuro kogeneracinės elektrinės parametrų analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. birželio 1 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Gedimino Petrošiaus** baigiamasis projektas tema „Biokuro kogeneracinės elektrinės parametrų analizė“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Petrošius, G. Analysis of biofuel cogeneration power plant parameters. Masters final project/ guide associate professor Arvydas Adomavičius; Kaunas university of technology, Faculty of design and mechanical engineering, Department of thermal and nuclear energy. Kaunas, 2015. 104 p.

## **SUMMARY**

The parameters of biofuel cogeneration power plant are examined in this paper. The advantages and disadvantages of biofuel cogeneration power plants encountered during the process of construction, installation and exploitation are being analyzed. Siauliai biofuel power plant was chosen for the analysis. Heat and electric energy production technology of biofuel power plant and exploitation peculiarities are analyzed in this paper.

The calculations of fuel with different moisture content were made. The possibility of equipping the interim biofuel storage was evaluated due to the assurance of constant fuel quality indicators. The exploitation processes of the power plant were evaluated using practical data. The main disadvantages of exploitation were analysed and the possibilities of development of power plant using heat storage tank and heat pump technology were evaluated. The economic development indicators of power plant were calculated.

The analysis was made following the Law on Energy Resources Market of the Republic of Lithuania, rules on boiler rooms and construction installation, guidelines and recommendations. The results of the analysis are presented in conclusions.

## TURINYS

|   |    |
|---|----|
| ĮVADAS.....   | 11 |
| 1. BOKURO NAUDOJIMO ENERGETIKOJE APŽVALGA .....   | 12 |
| 1.1 Europos biokuro naudojimo termofikacinėse elektrinėse praktika .....                    | 12 |
| 1.2 Lietuvos biokuro termofikacinių elektrinių plėtra .....                                 | 13 |
| 1.3 Darbo objektas, tikslas ir uždaviniai .....   | 15 |
| 2. ŠIAULIŲ BOKURO TERMOFIKACINĖ ELEKTRINĖ .....   | 16 |
| 2.1 Biokuro termofikacinės elektrinės technologija.....                                     | 16 |
| 2.2 Energetinis garo katilas ir pakura.....   | 19 |
| 2.3 Kondensacinė garo turbina su tarpiniu garo nuėmimu termofikacijai .....                 | 20 |
| 2.4 Kondensaciniai dūmų ekonomizeriai .....   | 22 |
| 2.5 Elektrostatiniai filtrai ir pelenų surinkimas .....                                     | 23 |
| 3. BOKURO TERMOFIKACINĖJE ELEKTRINĖJE NAUDOJAMO KURO ANALIZĖ .....                          | 26 |
| 3.1 Naudojamas kuras ir kuro mišiniai.....  | 27 |
| 3.2 Biokuro ir kuro mišinių probleminis naudojimas .....                                    | 27 |
| 3.2.1 Biokuras ir šiaudai.....  | 27 |
| 3.2.2 Biokuro kokybė .....  | 28 |
| 3.2.3 Biokuro drėgmės kiekio įtaka degimo parametrams .....                                 | 30 |
| 3.3 Tarpinė biokuro rūšiavimo aikštelė.....   | 35 |
| 4. BOKURO TERMOFIKACINĖS ELEKTRINĖS DARBO ANALIZĖ .....                                     | 39 |
| 4.1 Termofikacinės elektrinės galios reguliavimas .....                                     | 39 |
| 4.2 Biokuro termofikacinės elektrinės paleidimas ir stabdymas.....                          | 41 |
| 4.3 Pagaminama šilumos energija.....  | 44 |
| 4.4 Kuro sunaudojimas.....  | 46 |
| 5. BOKURO KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PLĖTOJIMAS .....   | 50 |
| 5.1 Šilumos akumuliacijos sistema.....  | 50 |
| 5.1.1 Šilumos akumuliacijos sistemų įkrovos .....   | 51 |
| 5.1.2 Kogeneracinės elektrinės su šilumos akumuliacijos talpa eksploatavimo vertinimas..... | 53 |
| 5.1.3 Mazuto rezervuarų panaudojimas akumuliuojant šiluminę energiją.....                   | 55 |
| 5.1.4 Mazuto rezervuarų šilumos nuostoliai .....  | 55 |
| 5.2 Šilumos siurblio technologijos panaudojimas.....  | 62 |
| 5.2.1 Biokuro termofikacinės elektrinės su šilumos siurbliu analizė.....                    | 63 |
| 6. EKOLOGINIS, EKONOMINIS VERTINIMAS .....  | 69 |
| 6.1 Išmetamų toksogenų kiekių skaičiavimas .....  | 69 |
| 6.2 Praktinis susidarančių pelenų ekologinis vertinimas .....                               | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.3 Ekonominis tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės vertinimas..... | 72  |
| 6.4 Ekonominis šilumos akumuliacinio talpos vertinimas.....         | 75  |
| 6.5 Ekonominis šilumos siurblio vertinimas .....                    | 77  |
| IŠVADOS.....  | 79  |
| LITERATŪROS SĄRAŠAS.....  | 80  |
| PRIEDAI .....   | 84  |
| A PRIEDAS .....   | 84  |
| B PRIEDAS.....  | 86  |
| C PRIEDAS.....  | 88  |
| D PRIEDAS .....   | 91  |
| E PRIEDAS .....   | 95  |
| F PRIEDAS .....   | 98  |
| G PRIEDAS .....   | 101 |
| H PRIEDAS .....   | 104 |

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

|   |    |
|---|----|
| 1.1 pav. Termofikacinėse elektrinėse sunaudoto kuro statistika, 2007m.....  | 12 |
| 1.2 pav. Europos šalių lyginamosios sąlygos, įtakojančios biokuro kogeneracinių elektrinių vystymą .....                  | 14 |
| 1.3 pav. Gamtinių dujų ir biokuro kaina Lietuvoje 2006-2008 m.....  | 14 |
| 2.1 pav. Biokuro termofikacinės elektrinės technologinė schema. ....  | 17 |
| 2.2 pav. Pav. Erdvinio-sluoksninio deginimo tipo garo katilas .....   | 19 |
| 2.3 pav. Kondensacinė garo turbina .....  | 21 |
| 2.4 pav. Nuožulnus kondensacinis dūmų ekonomizaizeris .....   | 22 |
| 2.5 pav. Principinė kietųjų dalelių surinkimo schema. ....  | 24 |
| 2.6 pav. Elektrostatinis filtras.....   | 24 |
| 3.1 pav. Logaritminė leistinių kuro frakcijų diagrama.....  | 27 |
| 3.2 pav. Kietosios priemaišos ardymo pelenų transporteryje.....   | 30 |
| 3.3 pav. Biokuro sąnaudų priklausomybė nuo drėgmės kiekio.....  | 35 |
| 3.4 pav. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės teritorija. ....   | 36 |
| 3.5 pav. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelė alternatyvos.....  | 37 |
| 4.1 pav. Kogeneracinės elektrinės galios svyravimas vasaros sezono darbo dienomis. ....                                   | 39 |
| 4.2 pav. Kogeneracinės elektrinės galios svyravimas vasaros sezono savaitgaliais. ....                                    | 40 |
| 4.3 pav. Garo katilo slėgio kitimas, esant 1,0°C/min sočiojo garo temperatūros kilimui, paleidimo metu.....               | 41 |
| 4.4 pav. Garo katilo temperatūros kitimo grafikas paleidimo metu.....   | 42 |
| 4.5 pav. “Šalto“ garo katilo paleidimas.....  | 42 |
| 4.6 pav. Garo katilo stabdymas.....   | 43 |
| 4.7 pav. Garo katilo temperatūros kitimo grafikas stabdymo metu. ....   | 44 |
| 4.8 pav. Šiluminės energijos kiekiai.....   | 45 |
| 4.9 pav. Šilumos kiekis iš kondensacinio dūmų ekonomizaizerio nuotekų.....  | 45 |
| 4.10 pav. Kondensacinio dūmų ekonomizaizerio nuotekų šilumos kiekio ir išgaunamo šilumos kiekio lyginimasis grafikas..... | 46 |
| 4.11 pav. Biokuro sąnaudos dviejų metų laikotarpyje. ....   | 47 |
| 4.12 pav. Gamtinių dujų sunaudojimas.....   | 47 |
| 4.13 pav. Paros kuro sąnaudos biokuro termofikacinėje elektrinėje.....  | 48 |
| 4.14 pav. Kuro sąnaudų grafikas, sutrikus biokuro tiekimui. ....  | 49 |
| 5.1 pav. Principinės šilumos akumuliacinio talpų schemas.....   | 51 |
| 5.2 pav. Vasaros sezono (birželio mėn.) jėgainės šilumos generavimo režimai.....  | 54 |
| 5.3 pav. Mazuto rezervuaro talpos. ....   | 55 |



|  |    |
|--|----|
| 5.4 pav. Rezervuaro siena. ....  | 56 |
| 5.5 pav. Schematinis izoliuotos rezervuaro sienos temperatūros lauko kitimo brėžinys. ....             | 56 |
| 5.6 pav. Rezervuaro išorinės sienos temperatūros kitimas, kintant akmens vatos storiui.....            | 60 |
| 5.7 pav. Rezervuaro išorinės sienos temperatūros kitimas, esant skirtingai šiluminei izoliacijai. .... | 61 |
| 5.8 pav. Principinė šilumos siurblio sistemos schema.. ....  | 64 |
| 5.9 pav. Šilumos siurblio, naudojančio R717 darbo agentą, p-h diagrama.....                            | 64 |
| 5.10 pav. Šilumos siurblio įtaka kondensacinio dūmų ekonomizerio šilumos generavimui.....              | 67 |
| 6.1 pav. Biokuro kaina 2014-2015 m.....  | 73 |
| 6.2 pav. Pajamų kitimas, naudojant A ir B aikštelių alternatyvas.....                                  | 74 |
| 6.3 pav. Pajamų kitimas, naudojant skirtingas šilumines izoliacijas. ....                              | 76 |

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

|  |    |
|--|----|
| 2.1 lentelė. Nominalūs garo parametrai prieš turbiną. ....   | 21 |
| 2.2 lentelė. Bendras energijos gamybos potencialas. ....   | 21 |
| 3.1 lentelė. Biokuro rūšys.....  | 26 |
| 3.2 lentelė. Biokuro elementinė sudėtis. ....  | 31 |
| 3.3 lentelė. Biokuro degimo produktų parametrai.....   | 34 |
| 3.4 lentelė. Gamtinių dujų degiklių galios parametrai .....  | 35 |
| 5.1 lentelė. Medžiagų fizikinės savybės.....   | 52 |
| 5.2 lentelė. Šilumos akumuliacinio talpos įkrovų šiluminis potencialas. ....                         | 53 |
| 5.3 lentelė. Rezervuaro šilumos nuostoliai per atitvaras. ....                                       | 59 |
| 5.4 lentelė. Rezervuaro šilumos nuostoliai, esant skirtingam akmens vatos storiui. ....              | 59 |
| 5.5 lentelė. Akmens vatos ir poliuretano poveikis šilumos nuostoliams per atitvaras. ....            | 61 |
| 5.6 lentelė. Kondensacinio dūmų ekonomiaizerio nuotekų duomenys 2013-2014m.....                      | 62 |
| 5.7 lentelė. Šilumos siurblio efektyvumas, naudojant skirtingus darbo agentus.....                   | 66 |
| 5.8 lentelė. Pagamintos šiluminės energijos kiekiai.....   | 66 |
| 5.9 lentelė. Kuro sąnaudos. ....   | 67 |
| 5.10 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos.....                                      | 68 |
| 6.1 lentelė. Teoriniai metinių išmetamų teršalų kiekiai .....  | 70 |
| 6.2 lentelė. Pagrindinės tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės charakteristikos. ....                 | 72 |
| 6.3 lentelė. Deginamo biokuro ir kuro mišinio įvertinimas generuojant 1 MWh antrinės energijos. .... | 73 |
| 6.4 lentelė. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės atsipirkimo laikas. ....                           | 74 |
| 6.5 lentelė. Pagrindinės šilumos akumuliacinio talpos charakteristikos.....                          | 75 |
| 6.6 lentelė. Investicijų įtaka šilumos nuostoliams pro talpos sienas. ....                           | 76 |
| 6.7 lentelė. Pagrindiniai techniniai šilumos siurblio rodikliai.....                                 | 77 |
| 6.8 lentelė. Šilumos siurblio išlaidos ir gaunamos pajamos.....                                      | 78 |

## IVADAS

Nuolatinis iškastinio kuro poreikių ir kainų augimas, didėjantis susirūpinimas pasauline klimato kaita ir visuotiniu klimato atšilimu, skatina pasaulinės bendruomenės susidomėjimą ir poreikį, vystyti bei plėtoti vis efektyvesnes energijos generavimo technologijas. Bendras šilumos ir elektros energijos gamybos ciklas, panaudojant kogeneraciją, yra viena iš efektyviausių tokio tipo technologijų. Viena iš svarbiausių kogeneracijos technologijų plėtojimo kryptių – prijungiant kogeneracines elektrines prie centralizuoto šilumos tiekimo sistemų, siekiant išnaudoti kuo daugiau šilumos, susidarancios elektros gamybos metu. Ši technologija leidžia sumažinti importuojamo iškastinio kuro kiekius, maksimaliai išnaudojant naudojamo kuro energetinį potencialą, generuojant šilumos ir elektros energiją. Dėl to, šios technologijos tolimesnė plėtra ir tobulinimas yra vienas svarbiausių veiksnių, užtikrinant nuoseklią ir darnią pasaulio energetikos raidą.

Kombinuota šilumos ir elektros energijos gamyba laikoma vienu iš prioritetinių energijos generavimo būdų Europos Sąjungoje. Lietuva, kaip valstybė narė, nustatė kombinuotos šilumos ir elektros energijos gamybos potencialą šalyje ir vykdo šiluminių kondensacinių elektrinių rekonstrukciją, įrengiant efektyvesnius, šiuolaikinius standartus atitinkančius, biokurą deginančius kogeneracinius energijos gamybos įrenginius, panaudojant naujausias prieinamas technologijas. Taip formuojamas darnus energetikos sektorius, gebantis konkuruoti tarptautinėje energetikos rinkoje su konkurencingomis, Europos Sąjungos standartus atitinkančiomis, šilumos ir elektros energijos kainomis. Taip pat plečiant atsinaujinančių energijos šaltinių panaudojimą, mažinama šalies priklausomybė nuo importuojamo iškastinio kuro, taip energetikai suteikiant būtino lankstumo ir panaikinant energetinį monopolį. Taigi svarbiausias Lietuvos energetinis tikslas - didinti naudojamo kuro energetinio išnaudojimo potencialą, pagaminant kuo didesnę šilumos ir elektros energijos kiekį su mažiausiomis kuro ir eksploataavimo sąnaudomis.

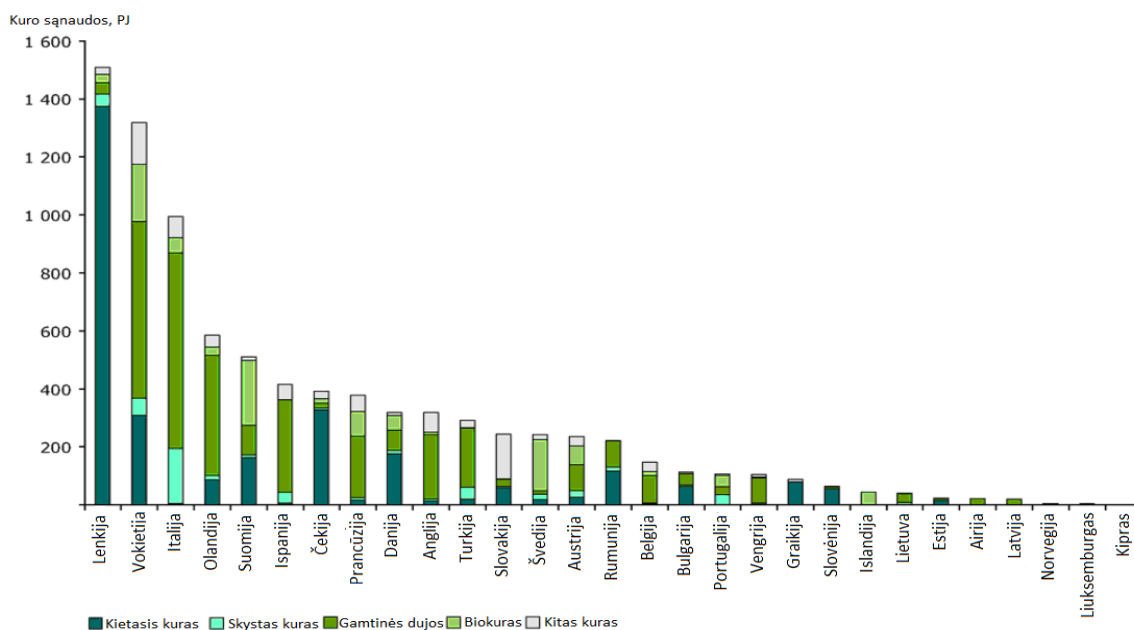
Darbe siekiama įvertinti Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės darbo parametrus ir atitinkamų dydžių įtaką elektrinės eksploataavimo charakteristikoms. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės technologinių sprendinių ir ilgalaikių eksploatacinių duomenų analizės pagrindu ieškoma galimybių padidinti bendrą energijos generavimo ciklo efektyvumą, t.t. panaudojant papildomas technologijas – šilumos akumuliacinio talpą ir šilumos siurblių. Analizuojamas mazuto rezervuaro pritaikymas šilumos akumuliacinio talpai, analizuojant šiluminės izoliacijos įtaką šilumos nuostoliams per atitvaras. Atlikti biokuro deginimo vertinamieji skaičiavimai, vertinant kure esančios drėgmės įtaką energijos generavimui. Įvertinus deginamo kuro kokybės įtaką energijos generavimo ciklui, parinkta preliminarini biokuro rūšiavimo aikštelė. Atlikti preliminarūs ekologiniai ir ekonominiai vertinimai, įvertinant susidarancių toksogenų kiekius, papildomoms technologijoms būtinas investicijas ir jų atsipirkimo laiką.

# 1. BIOKURO NAUDOJIMO ENERGETIKOJE APŽVALGA

Šiame skyriuje analizuojama Europos ir Lietuvos praktika, naudojant biokurą termofikacinėse elektrinėse. Pateikta statistika apie termofikacijos plėtrą Europos Sąjungos šalyse, naudojamas kuro rūšis, jų naudojimo kitimo priežastis, Lietuvos biokuro kogeneracinių elektrinių plėtrą. Taip pat pateikti biokuro kogeneracinių elektrinių privalumai ir trūkumai projektavimo ir eksploatacijos laikotarpiu. Biokuro kogeneracinės elektrinės analizei, siekiant darbo aktualumo, pasirinktas realus energetinis objektas - Šiaulių biokuro termofikacinė elektrinė. Suformuoti darbo tikslai ir uždaviniai.

## 1.1 Europos biokuro naudojimo termofikacinėse elektrinėse praktika

Pagal 2006 metų duomenis, Europos Sąjungoje termofikacinėmis elektrinėmis būdavo pagaminama 10,1% viso reikalingo elektros energijos kiekio. Tačiau tarp šalių narių būdavo jaučiamas didelis skirtumas generuojant elektros energiją termofikaciniu principu, lyginant su kitais energijos generavimo būdais. Termofikacinis elektros generavimas nenaudojamas Maltoje, o Kipre ir Graikijoje atitinkamai sudarydavo tik 0,9 % ir 4,5 % viso generuojamo elektros energijos kiekio. Iki 2007 m. daugiausiai elektros energijos termofikaciniu ciklu pagaminta Latvijoje - 47,4 % ir Danijoje – 46,2 % [2]. 2007 m. Europos Sąjungos valstybėse elektros energijos gamyba termofikacinėse elektrinėse padidėjo iki 10,2 %, o 2008 m. iki 11,0 %. [2] [3]. Ši staigų pokytį įtakojo valstybėms pradėjus plačiu mastu naudotis Europos Sąjungos išleista direktyva 2004/8/EB, kurioje numatyta kogeneracijos plėtra, sudarant investicijų į kogeneracines elektrines subsidijavimo mechanizmus ir įvedant palankesnius kogeneracinių elektrinių generuojamos elektros supirkimo tarifus, lyginant su šiluminėmis kondensacinėmis elektrinėmis gaminamos elektros energijos supirkimo kainomis.



1.1 pav. Termofikacinėse elektrinėse sunaudoto kuro statistika, 2007m. [3]

Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimas šilumos ir elektros energijos generavimui suteikia galimybę pagerinti aplinkosauginį termofikacinių elektrinių veiksmingumą, tuo pačiu pakeičiant brangų iškastinį kūrą, pigesniu vietiniu biokuru. Tačiau iki 2007 m., biokuras sudarė tik 11,9 % viso naudojamo kuro kogeneracinėse jėgainėse, o tuo tarpu gamtinės dujos - 50,5 %. Toks aukštas gamtinių dujų sunaudojimas buvo paremtas įrenginių, naudojančių gamtines dujas eksploataavimo lankstumu ir praktiškumu, taip pat aplinkosauginiu požiūriu, lyginant su iškastiniu kuru. Tačiau dėl augančių gamtinių dujų kainų, mažėjančių elektros energijos supirkimo kvotų ir didėjančio susidomėjimo biokuro kogeneracinėmis elektrinėmis, gamtinėmis dujomis kurenamų elektrinių konkurencingumas ženkliai sumažėjo. Kombinuotas šilumos ir elektros energijos generavimas kogeneracinėse biokuro elektrinėse tapo vienas iš būdų didinti elektros energijos gamybos efektyvumą su mažiausios pradinėmis investicijomis kurui. Naudojant biokūrą sumažinamas energetinių įrenginių išmetamų dūmų poveikis aplinkai, kadangi biokuro deginimas pagal tarptautinius susitarimus nedidina CO<sub>2</sub> kiekio aplinkoje. Tai paremta energetinių augalų vykdoma fotosinteze, kurios metu iš atmosferos pasisavinamas toks pat CO<sub>2</sub> kiekis, koks išsiskiria biokuro degimo metu.

Deginant biokūrą termofikacinėse elektrinėse ir gaminant šilumos ir elektros energiją, vertinant Europos valstybių patirtį, pastebėti privalumai:

- Naudojami atsinaujinantys energijos ištekliai;
- Ženkliai mažesnė kuro kaina, lyginant su gamtinėmis dujomis;
- Sumažinamas energetinių išteklių importas;
- Sukuriamos papildomos darbo vietos vietiniai darbo rinkai;
- Sumažinamos kuro transportavimo išlaidos, naudojantis vietiniais kuro tiekėjais;
- Pagamintos elektros ir šiluminės energijos savikaina ženkliai mažesnė;
- Mažesni elektros energijos skirstymo kaštai.

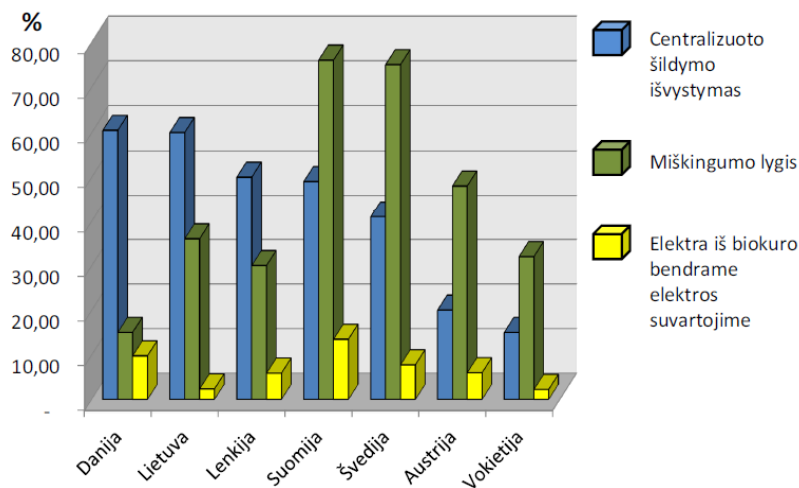
Trūkumai:

- Nepastovi ir kintanti kuro kokybė;
- Sudeginus biokūrą susidaro dideli kiekiai pelenų, kurių tolimesnis panaudojimas nėra reglamentuotas;
- Reikalingos didelės pradinės investicijos;
- Dažnesni eksploatuojamų įrenginių remontai.

## **1.2 Lietuvos biokuro termofikacinių elektrinių plėtra**

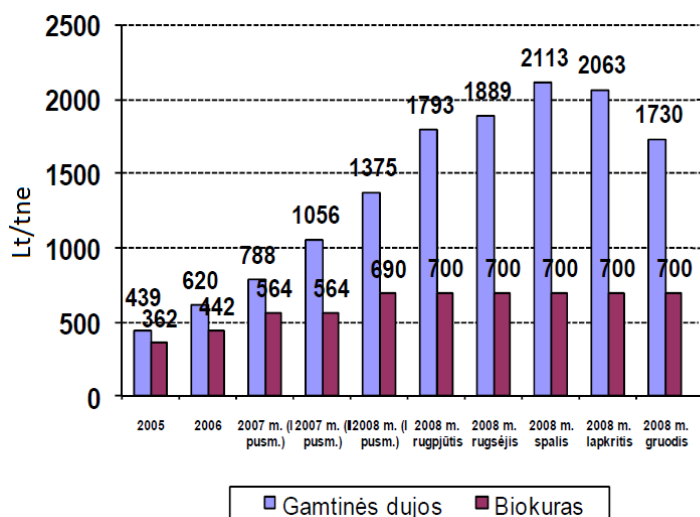
Lietuvos Respublikos ūkio ministerijos duomenimis 2006 m. Lietuvos kogeneracinių elektrinių galia siekė virš 800 MW. Šalyje veikė 28 kogeneracinės elektrinės, kurios per metus pagamindavo 2 TWh elektros energijos. Dauguma iš jų įrengtos XX a. 6-ajame dešimtmetyje ir naudoja gamtines dujas. [4] Remiantis Europos Sąjungos direktyva 2004/8/EB, nerentabilios

šiluminės kondensacinės elektrinės ir technologiškai pasenusios termofikacinės elektrinės pradėtos perdarinėti į efektyvesnes, naujausias technologijas naudojančias kogeneracines ir biokuro kogeneracines elektrines. Sąlygos įtakojančios biokuro kogeneracinių elektrinių vystymąsi - centralizuoto šilumos tiekimo tinklų išvystymas aplink planuojamą elektrinę, esantis miškingumo lygis ir elektra iš biokuro bendrame elektros suvartojime.



1.2 pav. Europos šalių lyginamosios sąlygos, įtakojančios biokuro kogeneracinių elektrinių vystymą. [6]

Pagal šias sąlygas Lietuva yra bene geriausiai pritaikyta valstybė biokuro kogeneracijos elektrinių plėtrai, dėl ypač gerai išplėto centralizuoto šilumos tiekimo tinklų išvystymo ir didelio miškingumo, kas padidina kogeneracinių elektrinių plėtros galimybes. Tokiu būdu maksimaliai išnaudojama elektros energijos gamybos metu pagaminta šiluminė energija, o energijos gamybai naudojamas vietinis kuras, kas sumažina kuro transportavimo išlaidas patiriamas importuojant kurą iš kitų šalių. Taip pat kuriamos naujos darbo vietos bei plėtojama “žalioji” energetika.



1.3 pav. Gamtinių dujų ir biokuro kaina Lietuvoje 2006-2008 m. [49]

Didėjant gamtinių dujų kainoms, Lietuvoje pradėtos plėtoti biokuro katilinės ir kogeneracinės elektrinės, taip mažinant šalies priklausomybę nuo brangaus importuojamo iškastinio kuro. Tokiu būdu naudojamas beveik du kartus pigesnis biokuras, kuriuo neteršiama aplinka CO<sub>2</sub> dujomis ir

sieros dioksidu SO<sub>2</sub>, taip pat sutaupomi apyvartiniai taršos leidimai šiltnamio efektą sukeliančioms dujoms. 2008 m. pradėta statyti Šiaulių biokuro termofikacinė elektrinė, kuri tapo vienu pažangiausiu energetiniu objektu Lietuvos Respublikoje. Įvykdžius projektą, šilumos kaina vartotojams sumažėjo 17%. Bendras elektrinės ciklo efektyvumas siekia 96 – 100,4 %.

Remiantis 2010 m. Nacionalinės atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategija, elektros energijos, pagamintos iš atsinaujinančių energijos išteklių dalį iki 2020 m., planuojama padidinti iki 21 %, o įrengtoji biokuro galia turės siekti 162 MW [5]. Iki 2013m. įgyvendintų projektų įrengtoji, biokurą deginančių elektrinių, galia siekė 53 MW. Sumažėjusį biokuro kogeneracinių elektrinių plėtojimą Lietuvoje paskatino panaikintas 30 ct/kWh tarifas elektros energijos supirkimui. Dėl to, dauguma šilumos tiekimo įmonių vietoj biokurą deginančių kogeneracinių elektrinių priversti rinktis biokuro vandens šildymo katilinių investavimo kryptį, kas pristabdė investicijas į biokuro kogeneracinių elektrinių plėtrą Lietuvos teritorijoje.

Tačiau eksploatuojant biokuro kogeneracines elektrines susiduriama ir su įvairiausiomis eksploatacinėmis problemomis, kurių tolimesnis analizavimas, vertinimas ir atitinkamų sprendinių taikymas veda į darnų ir nuoseklų energijos generavimą, maksimaliai išnaudojant esamų energetinių įrenginių potencialą.

### **1.3 Darbo objektas, tikslas ir uždaviniai**

Biokuro kogeneracinės elektrinės parametrų analizei pasirinkta AB „Šiaulių energija“ eksploatuojama Šiaulių biokuro termofikacinė elektrinė.

Analizės tikslas - įvertinti Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės darbo parametrus ir atitinkamų dydžių įtaką elektrinės eksploatavimo ypatumams.

Darbe keliami uždaviniai:

1. Išanalizuoti ilgalaikius eksploatacinius duomenis ir nustatyti esminius eksploatavimo trūkumus;
2. Įvertinti kuro parametrų įtaką energijos generavimo efektyvumui.
3. Išanalizuoti galimybes kogeneracinės elektrinės plėtrai, panaudojant papildomas technologijas;
4. Įvertinti susidarantių teršalų kiekius ir jų reglamentavimą;
5. Įvertinti investicijas, reikalingas naujų technologijų instaliavimui ir jų atsipirkimo laiką.

## **2. ŠIAULIŲ BIOKURO TERMOFIKACINĖ ELEKTRINĖ**

Šiame skyriuje analizuojamas Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės technologinis veikimas, pradedant kuro tiekimu, baigiant šilumos ir elektros energijos generavimu bei degimo produktų valymu. Taip pat apžvelgiami elektrinėje eksploatuojami energetiniai įrenginiai, tokie kaip garo katilas, garo turbina, kondensaciniai dūmų ekonomizeriai.

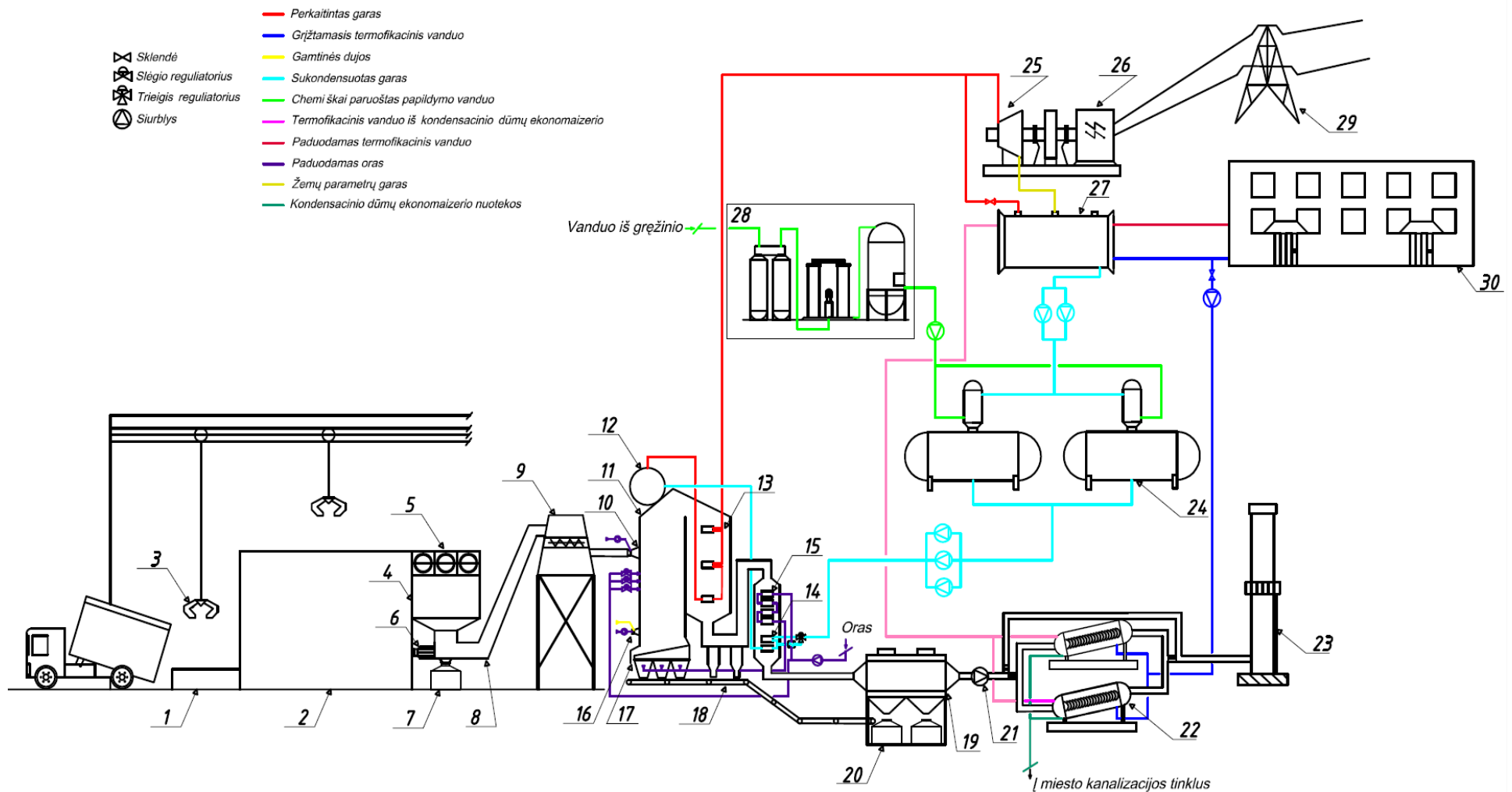
### **2.1 Biokuro termofikacinės elektrinės technologija**

Elektrinės dirbančios termofikaciniu režimu, gamina garą ir elektros energiją. Garas naudojamas garo turbinose, technologiniams pramonės poreikiams, mazuto rezervuarų šildymui ir karštam termofikaciniam vandeniui ruošti. Šilumos vartotojų ir technologiniams poreikiams sąlyginai reikalingas žemos temperatūros termofikacinis vanduo, o jo pašildymui naudoti aukšto temperatūrinio potencialo degimo produktus nėra termodinamiškai naudinga. Bendras termodinaminis ciklo efektyvumas išauga gaminant šilumos ir elektros energiją. Principinė biokuro termofikacinės elektrinės technologinė schema pateikta 2.1 pav.

Biokuro sandėlyje, kuras iš priėmimo duobės - 1, dviem greiferiniais kranais - 3 perkeliamas į uždarą, mechanizuotą kuro sandėlį – 2 arba tiesiai į tarpinį kuro bunkerį - 4. Kuro sandėlyje - 2 kaupiamo biokuro užtenka 5 dienų elektrinės darbui nominaliu režimu. Automatizuoti greiferiniai kranai - 3 kraudami kurą nuolat lygina kuro paviršių, tuo pačiu užtikrinant pastovų kuro tiekimą į tarpinį kuro bunkerį - 4. Tarpiniame kuro bunkeryje - 4, kuras ,trimis sraigtiniais transporteriais - 5, reversuojant jų sukimosi kryptį, tiekiamas į juostinius transporterius, virš kurių sumontuotos elektromagnetinės metalo gaudyklės. Jos surenka biokure esančias metalo priemaišas į metalo atliekų konteinerį. Juostiniais transporteriais, kuras paduodamas į diskinius biokuro rūšiuotuvus - 6, kuriuose atskiriamas netinkamos frakcijos kuras ir pašalinamos į tam skirtą konteinerį - 7. Tinkamos frakcijos kuras iš diskinių rūšiuotuvų - 6, grandikliniais transporteriais - 8 paduodamas į katilo pakuros kuro bunkerį - 9. Iš bunkerio - 9, sraigtiniais dozatoriais, kuras paduodamas į kuro latakus, kuriais kuras patenka į katilo sienoje esančius pneumatinius kuro skirstytuvus - 10. Jais kuras įpurškiamas ant maitinimo vandeniu aušinamo ardyno – 17 galinės dalies. Tiekiamame kure esančios smulkios dalelės patekusios į kūryklos erdvę iškart užsiliepsnoja, o stambesnės kuro dalelės krenta ant ardyno - 17degančio kuro sluoksnio, todėl veikiamos liepsnos, greitai džiūsta ir užsidega. Tokiu būdu erdvėje sudega apie 80% kuro, o likusi dalis ant vibruojančio ardyno. Kūryklos erdvėje sudegant didžiajai daliai kuro, susidaro palankios sąlygos intensyvesniems šilumos mainams.

Garų gamyba vyksta natūralios cirkuliacijos garo katile - 11, kuriame garas perkaitinamas iki 460°C ir 45 bar slėgio. Katilas - erdvinio sluoksninio deginimo tipo





2.1 pav. Biokuro termofikacinės elektrinės technologinė schema: 1 –kuro išpylimo prieduobė; 2 –kuro sandėlis; 3 – greiferiniai kranai; 4 –tarpinis kuro bunkeris ; 5- sraigtiniai transporteriai; 6 – kuro rūšiotuvas; 7 – netinkamos frakcijos kuro konteineris; 8 – grandikliniai transporteriai; 9 – pakuros kuro bunkeris; 10 – pneumatiniai kuro skirstytuvai; 11 – garo katilas; 12 – garo katilo būgnas ; 13 – garo perkaitintuvai; 14 – tarpinis vandens pašildymas; 15 – tiekiamo oro pašildytuvai; 16 – gamtinių dujų degikliai; 17 – ardymas; 18 – pakuros pelenų transporteris; 19 – elektrosstatiniai filtrai; 20 – pelenų konteineriai; 21 – dūmsiurbė; 22 – kondensaciniai dūmų ekonomizaizeriai; 23 – kaminas; 24 – deaeratoriai; 25 – garo turbina; 26 – elektros generatorius; 27 – garo kondensatorius; 28 – chemiškai valyto vandens paruošimo įranga; 29 – elektros skirstomieji tinklai; 30 – šilumos vartotojai.

Katilo būgne - 12 vyksta vandens ir garo atskyrimas, švarus garas paduodamas į garo perkaitintuvus - 13, esančius konvektyvinėje katilo dalyje. Perkaitintuvuose – 13 garas perkaitinamas iki 460°C temperatūros. Toje pačioje konvektyvinėje dalyje esantis išgarintuvas sujungtas su katilo būgnu ir sudaro atskirą cirkuliacinį kontūrą. Praėję konvektyvinėje dalyje sumontuotus paviršius, degimo produktai nukreipiami į už katilo esantį ekonomaizerio.

Ekonomaizeryje vyksta pirminis katilo maitinimo vandens pašildymas - 14. Praėję ekonomaizerį degimo produktai patenka į oro pašildytuvus - 15, kuriame pašildomas degimui reikalingas oras. Oras paduodamas vienu ventiliatoriumi, trimis srautais. Pirminio oro srautas paduodamas po ardynu - 17, kur reikiamu slėgiu paskirstomas per oro padavimo angas tarp ardyno panelių. Antrinis oras įpučiamas per didelio skersmens tūtas virš ardyno - 17 į degimo srautą. Nesudegusios dalelės ir dujos, praskriejusios pro antrinio oro zoną, baigia degti dar aukščiau, tretinio oro srauto zonoje. Viršutinio antrinio ir tretinio oro srautų padavimo tūtos išdėstytos taip, kad jų išdėstymo plokštumoje sukuriama dvigubas oro-degimo produktų sūkurinis srautas, taip užtikrinant tolygų deguonies ir temperatūros pasiskirstymą visame degimo produktų tūryje.

Garas katilo – 11 pagamintas aukštų parametrų garas tiekiamas į garo turbiną - 25, kuri per reduktorių sujungta su elektros energijos generatoriumi - 26. Besiplėsdamas garas įsuka turbinos darbo ratą, o sukimo momentas per veleną ir reduktorių perduodamas generatoriui, generuojančiam elektros energiją. Pagaminta elektros energija tiekama į aukštos įtampos skirstomuosius tinklus - 29, o dalis sunaudojama technologinėms reikmėms. Žemų parametrų garas iš po garo turbinos - 25 patenka į kondensatorių - 27, kur yra sukondensuojamas. Kondensatoriuje pagaminama šilumos energija tiekama į miesto šilumos tinklus – 30. Sukondensuotas garas cirkuliaciniais siurbliais tiekiamas į deaeratorius – 24. Vandens papildymui naudojamas chemiškai valytas vanduo iš vandens paruošimo įrangos – 28.

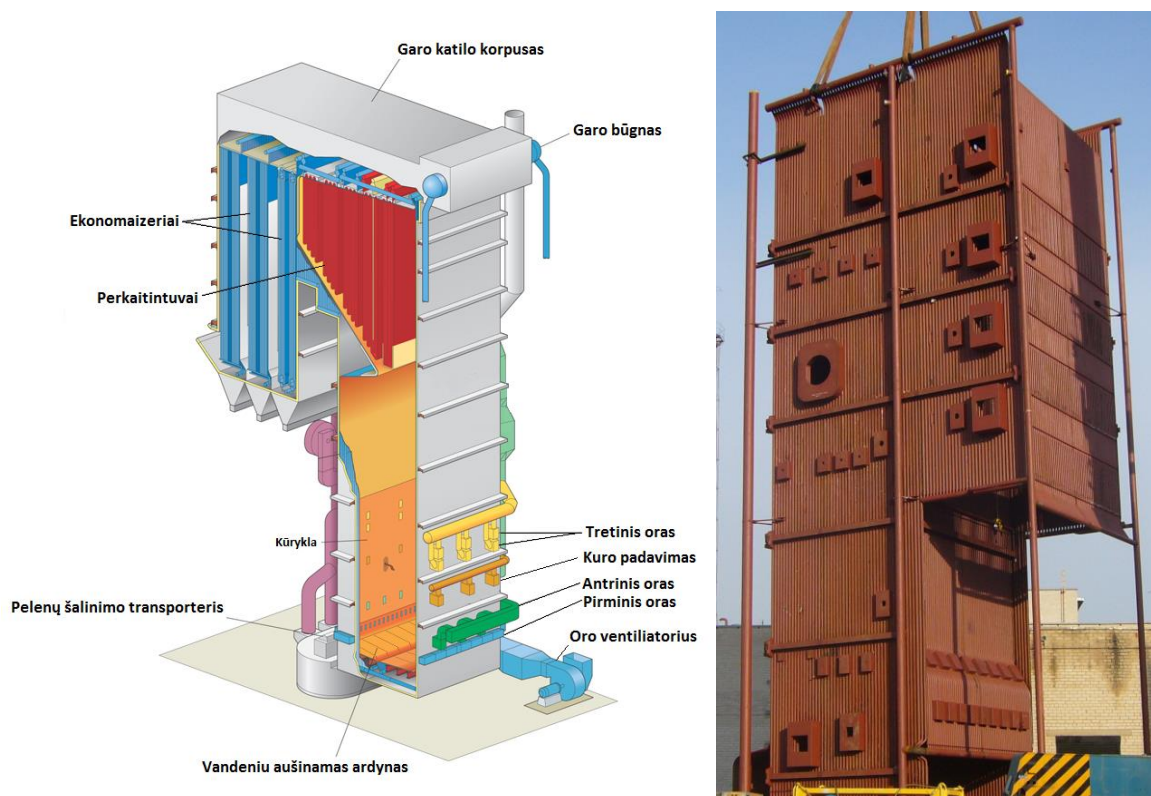
Iš katilo išeinančiuose degimo produktuose būna iki 4g/m<sup>3</sup> kietųjų dalelių, Jos surenkamos elektrostatiu filtru - 19, po kurio kietųjų dalelių kiekis sumažėja iki ≤100mg/ m<sup>3</sup>. Pakuroje susidarantys pelenai ir šlakas šalinami šlapio tipo transporteriu - 18 į uždarus pelenų šalinimo konteinerius - 20, kartu su sausais pelenais iš elektrostatinio filtro -19.

Degimo produktai praėję elektrostatinį filtrą -19 išlieka gan aukštos temperatūros. Tam, kad išnaudoti dūmuose esančią šilumos energiją, naudojami tiesioginio kontakto kondensaciniai dūmų ekonomaizeriai - 22. Juose kondensuojamas, iš katilo išeinančiuose dūmuose esantis vandens garas, susidarantis deginant biokurą. Toks dūmų šilumos išnaudojimas, leidžia trečdaliu padidinti biokuro termofikacinėje elektrinėje pagamintą šilumos kiekį nenaudojant papildomo kuro. Po kondensacinio dūmų ekonomaizerio - 22, žemų parametrų dūmai šalinami per plieninį kaminą - 22 su nerūdijančio plieno įdėklu.

## 2.2 Energetinis garo katilas ir pakura

Biokuro termofikacinėje elektrinėje eksploatuojamas kombinuoto erdvinio – sluoksninio deginimo tipo energetinis garo katilas su vandeniu aušinamu vibraciniu ardynu. Katilo galia 40,44 MW, perkaitinto garo temperatūra - 460°C. Katilas natūralios cirkuliacijos, pilnai suvirintas, o visuose katilo paviršiuose vanduo teka aukštyn. Įrenginys yra save palaikanti struktūra, kurioje nuleidžiamieji vamzdžiai sudaro atraminę konstrukciją. Garo-vandens mišinys iš kūryklos ekraniniais vamzdžiais patenka į būgną, kur atskiriamas vanduo, o švarus garas tiekiamas į 3-jų laipsnių garo perkaitintuvą. Tarp garo perkaitintuvo sekcijų įrengti garo temperatūros reguliatoriai, kurie įpurškiant maitinimo vandenį palaiko reikalingą temperatūrą. Visi vandens nuleidimo žemyn kontūrai - nešildomi. Šiluminių išsiplėtimų kompensacijai katilas gali laisvai plėstis aukštyn.

Garo katilo eigos sukomplektuotos taip, kad degimo produktų greitis būtų optimalus ir būtų maksimaliai sumažintas nesudegusio kuro ir pelenų išnešimas iš pakuros tūrio. Virš pakuros yra radiacinė kamera, palaikanti stabilų degimą. Šilumos mainų paviršiuose, degimo produktai atšaldomi aukščiau pelenų lydymosi temperatūros, tokiu būdu išvengiant garo perkaitintuvų užsiteršimo. Konvektyviniai šildymo paviršiai valomi gariniais apipūtimo įrenginiais. Maitinimo vanduo pašildomas katilo ekonomaizeryje.



2.2 pav. Erdvinio-sluoksninio deginimo tipo garo katilas. [34] [36]

Pirminio ir antrinio oro pradinis pašildymas vykdomas grįžtančiu iš šilumos tinklų termofikaciniu vandeniu ir nuo elektrinės agregatų paviršių išsiskiriama šiluma. Orą vandeniniu oro pašildytuvu pašildo katilo maitinimo vanduo. Pirminis oras paduodamas po vandeniu aušinamu ardynu ir paskirstomas reikiamu slėgiu į didesnes ir mažesnes oro pradavimo angas. Didesnės oro

angos užtikrina geresnį sluoksnio prapūtimą, o mažesnės angos – geresnį deguonies patekimą anglies išdeginimui. Vibruojantis, maitinimo vandeniu aušinamas ardynas sudarytas iš ardelių, kurios išlietos su pirminio oro praėjimo skylėmis, per kurias oras paskirstomas po visą ardyno degimo zoną. Pirminis oras paskirstytas į tris zonas, o oro srautai kontroliuojami priklausomai nuo kuro sluoksnio storio ant ardyno, todėl pastoviai užtikrinamas stabilus kuro sudegimas. Pagrindinė problema eksploatuojant ardyninę pakurą - pirminio oro pratekėjimo skylių užsikimšimas. Skylės užsikimša nuo susidarančio šlako ir įvairių metalo priemaišų, patenkančių kartu su biokuru į pakurą. Dažniausiai tai būna nedidelio skersmens vinys, kurių nepašalina metalo gaudyklės pirminiame biokuro apdorojimo procese, kuris vyksta kuro sandėlyje.

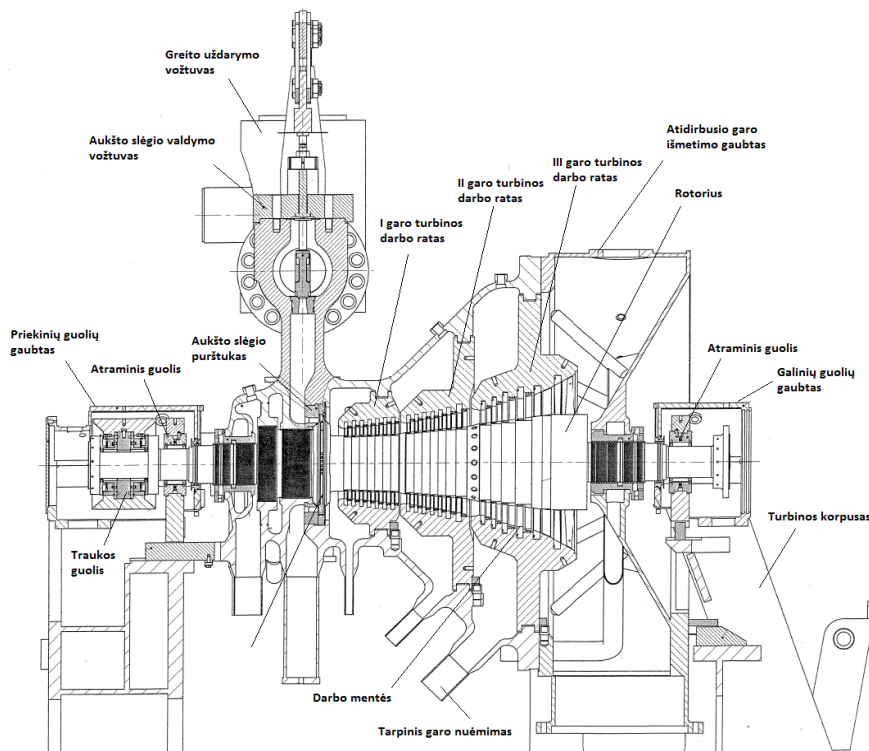
Antrinis oras įpučiamas per didelio skersmens tūtas, infiltruojant orą į degimo produktų srautą. Antrinis oras padeda sudeginti apatinėje degimo zonoje susidariusias CO dujas. Nesudegusios kietosios dalelės, praskriejusios pro antrinio oro zoną, ir baigiamos deginti tretinio oro zonoje. Kadangi pirminio, antrinio ir tretinio oro slėgiai yra artimi, naudojamas vienas degimui reikalingo oro tiekimo ventiliatorius. Dūmų recirkuliacija nenaudojama.

Vandeniu aušinamas vibracinis ardynas yra sujungtas su katilo būgnu elastingais vamzdžiais ir sudaro natūralios cirkuliacijos išgarinimo kontūrą. Ardyną aušinančio vandens temperatūra atitinka sotaus garo temperatūrą (256°C). Dėl aušinimo cirkuliuojančiu katilo vandeniu, ardynas gali dirbti nepadengtas kuru ar pelenais, vien pagalbiniais dujiniais degikliais be biokuro katilė. Garo katilas aprūpintas dviem pagalbiniais dujiniais degikliais, kurių bendras galingumas siekia 30 % katilo galios. Šie degikliai naudojami užkuriant garo katilą ir garo katilo veikimo parametrų stabilizavimui.[37]

### **2.3 Kondensacinė garo turbina su tarpiniu garo nuėmimu termofikacijai**

Plėtojant elektros energijos gamybą, panaudojant kogeneraciją, Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje įrengta daugiapakopė kondensacinė garo turbina su tarpiniu garo nuėmimu termofikacijai, kurios generatoriaus elektrinė galia siekia 10,76 MW. Turbinos tūtose besiplėsdamas, aukštų parametrų garas, potencinę energiją transformuoja į kinetinę energiją. Tuomet garo srautas paduodamas į garo srauto kanalus tarp turbinos darbo menčių. Kontaktuojant su jomis, pasikeičia srauto greitis ir kryptis, o judesio kiekio pokytis tampa jėga, stumiančia turbinos menteles, taip priverstinai sukant garo turbinos darbo ratą. Tokiu būdu kinetinė energija transformuojama į mechaninę sukimo energiją. Sugeneruota mechaninė energija suka turbinos veleną per reduktorių, o šis elektros energijos generatorių.

Eksploatuojant kondensacinę garo turbiną, galimas tarpinis vidutinio ar žemo slėgio garo nuėmimas. Tokių parametrų garas naudojamos pramoniniams tikslams ir centralizuoto šilumos tiekimo sistemoms. Pramonės reikmėms tiekiamo garo slėgis būna 0,5-1,2 MPa, o centralizuoto šilumos tiekimo tikslams tiekiamo garo slėgis -70-250 kPa. [41]



2.3 pav. Kondensacinė garo turbina [36].

Taikant tokio tipo garo turbinos technologiją, elektros ir šilumos energijos gamyba reguliuojama pagal šilumos energijos vartotojų poreikius. Šildymo sezono metu garo turbina apkraunama pilna galia, šilumą tiekiant vartotojams, o nešildymo sezono metu, turbina apkraunama priklausomai nuo šilumos vartotojų sunaudojamo šilumos kiekio.

Turbinos labirintinio sandarinimo sistemai tiekiamas sandarinimo garas, kurio slėgis 1,1 bar. Garas užtikrina, kad aplinkos oras nepatektų į turbiną, priešingu atveju susidarytų tinkamos sąlygos kavitacijos procesams vykti.[36]

2.1 lentelė. Nominalūs garo parametrai prieš turbiną.

| Eil. Nr. | Pavadinimas          | Slėgis, bar | Temperatūra, °C |
|----------|----------------------|-------------|-----------------|
| 1.       | Paleidimo metu       | 29          | 320             |
| 2.       | Darbinio režimo metu | 42          | 455             |
| 3.       | Didžiausi galimi     | 45          | 460             |

Garų turbinos apšukos ribojamos elektroniniais ir mechaniniais apšukų ribotuvais, priklausomai nuo turbinos išvystomos galios. Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje eksploatuojamos garo turbinos elektros ir mechaninis apšukų viršijimo daviklis nustatytas 109% nominalaus sukimosi greičio. Didesnių apšukų išvystymas nenumatytas, dėl galinčios susidaryti avarinės situacijos.

2.2 lentelė. Bendras energijos gamybos potencialas.

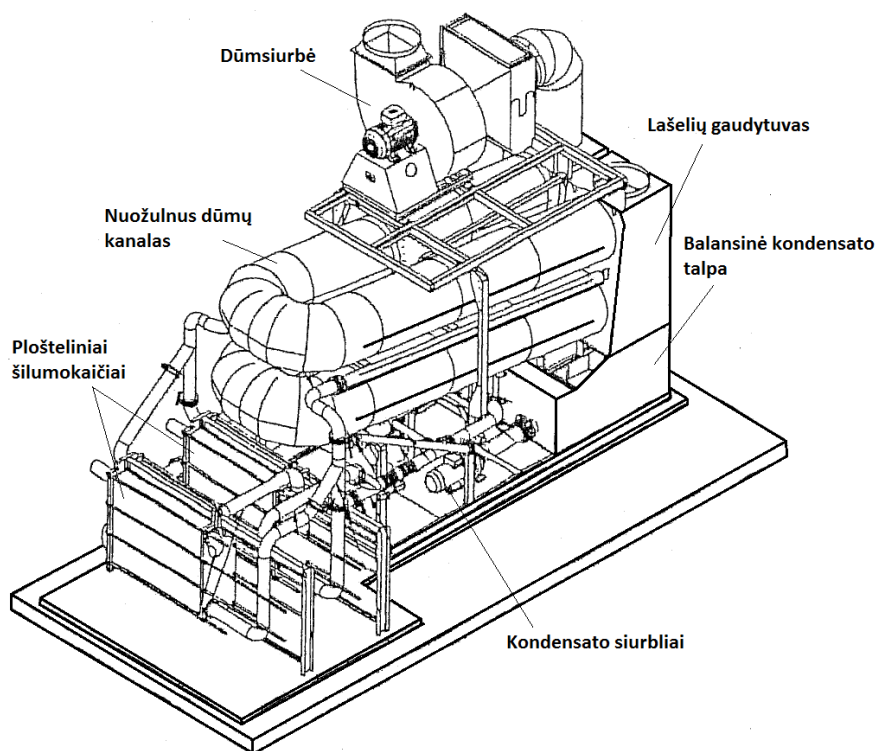
| Eil. Nr. | Pavadinimas                             | Matavimo vienetai | Rodiklis |
|----------|---|-------------------|----------|
| 1.       | Elektros energijos gamyba               | MWh               | 73710    |
| 2.       | Šilumos gamyba turbinos kondensatoriuje | MWh               | 155380   |

## 2.4 Kondensaciniai dūmų ekonomaizeriai

Biokuro termofikacinėje elektrinėje įrengti du kondensaciniai dūmų ekonomaizerio po 6,147 MW galios. Kondensacinį dūmų ekonomaizerį sudaro nuožulnus nerūdijančio plieno dūmų kanalas, balansinė kondensato talpa, kondensato išpurškimo siurbliai, plokštelinis šilumokaitis, kondensato pH sureguliuojamoji įranga (cheminių reagentų bakeliai ir siurbliai dozatoriai), automatinio darbo valdymo blokas. Po kiekvienu kondensaciniu ekonomaizeriu yra lašelių gaudytuvai. Dūmų cirkuliaciją per ekonomaizerį ir lašelių gaudytuvo traktą užtikrina dūmsiurbė su dažnio keitikliu.

Karšti dūmai pereina per dūmų kanalus, intensyviai apipurškiami per purkštukus paduodamu proceso vandeniu (kondensatu). Proceso vanduo pašyla ir nuteka į dūmų kanalų apačią, o iš ten į balansinę talpą. Kondensato išpurškimo siurbliai perpumpuoja pašildytą proceso vandenį iš balansinės talpos į plokštelinį šilumokaitį, kur šis vanduo yra ataušinamas grįžtamam termofikaciniu vandeniu. Po šilumokaičio, proceso vanduo vėl paduodamas į purkštukus, esančius dūmų kanaluose. Toliau dūmai pereina per lašų gaudytuvus, taip praktiškai netekdami visos savo drėgmės ir išmetami į atmosferą per dūmtraukį.

Dėl intensyvaus dūmų apipurškimo vandeniu, proceso vanduo taip pat veikia kaip valantis filtras. Stambesnės, po elektrostatinio filtro, dūmuose likusios kietos dalelės yra pašalinamos iš dūmų kartu su proceso vandeniu ir nukreipiamos į vandens valymo įrenginius.



2.4 pav. Nuožulnus kondensacinis dūmų ekonomaizeris [36].

Ekonomaizerio galingumas reguliuojamas dūmų slėgio davikliu, įrengtu dūmų kanaluose prieš kondensacinius dūmų ekonomaizerius dūmų kanaluose. Didėjant garo katilo našumui ir dūmų

kiekiui, didėja slėgis prieš ekonomazerius. Tuo metu didinami sistemos dūmsiurbių greičiai. Mažėjant katilo našumui, vyksta priešingas procesas. Dūmų kondensaciniai ekonomazeriai dirba be didesnių gedimų. Vienintelė problema su kuria susiduriama vykdant jų eksploataciją yra dažnas „minkšto“ paleidimo dažnio keitiklių gedimas.

Kondensaciniai dūmų ekonomazeriai turi avarines ir pagalbines aušinimo sistemas. Avarinis aušinimas vykdomas vandens purkštukais, kai temperatūra kondensaciniame ekonomazeryje pasiekia +80 °C, pagalbiniu aušinimas – kai ekonomazeryje nebevyksta kondensacija. Pagalbinio aušinimo sistema suveikia anksčiau nei avarinio aušinimo.

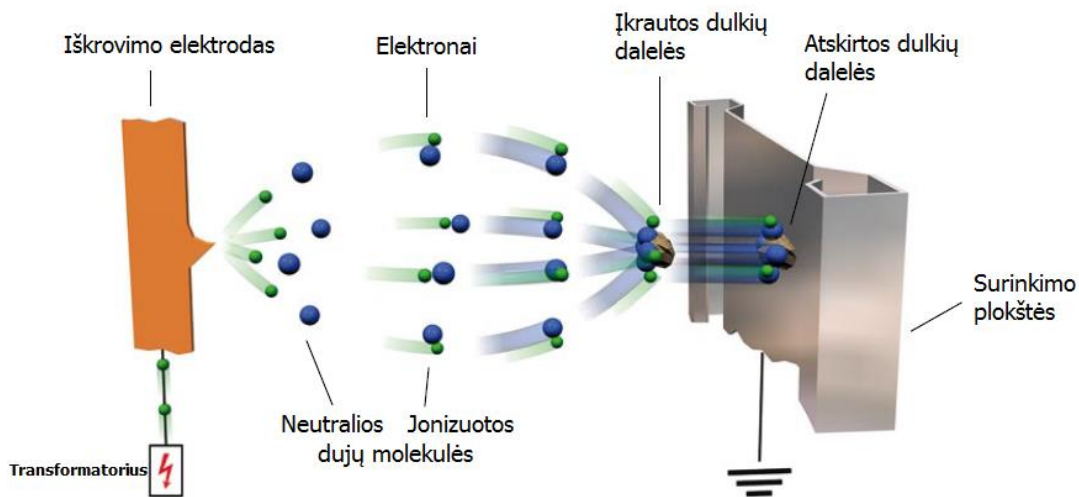
Kondensacinių dūmų ekonomazerių kondensato valymo moduliai susideda iš plokštelių nusodintuvų. Šiurkštūs plokšteliniai nusodintuvai skirti stambių, kondensate esančių dalelių atskyrimui. Proceso vanduo (kondensatas) pirmiausiai patenka ant nusodintuvo pirminiam išvalymui. Nuosėdos nusodinamos nusodintuvo dugne. Nuosėdų siurbliai transportuoja dumblą į pelenų nusodinimo talpą. Talpoje nusistovėjęs kondensatas persipila į nusistovėjusio kondensato talpą. Kondensatas siurbliu grąžinamas į nusodintuvus pakartotiniam valymui, o nusodinti šlapi pelenai su kondensatu išsiurbiami iš talpos autocisterna ir išvežami.

Smėlio filtrai skirti kondensato filtravimui ir smulkių dalelių išvalymui. Elektromagnetiniai vožtuvai valdo kondensato padavimą į smėlio filtrus. Išvalytas proceso vanduo (kondensatas) iš smėlio filtrų patenka į valyto kondensato talpas. Nuosėdos gali užkimšti smėlį, todėl vykdomas pasikartojantis filtro praplovimas. Praplovimo metu smėlis išvalomas nuo nuosėdų, kurios išnešamos į smėlio filtro paviršių ir nutraukiamos į šlapių pelenų talpą, kuri yra šalia nusodintuvo. Iš valyto kondensato talpos kondensatas nukreipiamas į katilo pelenų transporterį pelenų drėkinimui ir aušinimui, o perteklius šalinamas į drenažo tinklus [37].

## **2.5 Elektrostatiniai filtrai ir pelenų surinkimas**

Pelenai iš pakuros šalinami transporteriu, kuriame pelenai iš po pakuros pelenai atvėsunami naudojant vandenį. Šlapi pelenai beriami į pelenų patalpoje esančius du katilo pelenų konteinerius, kurių talpa po 17,5 m<sup>3</sup>.

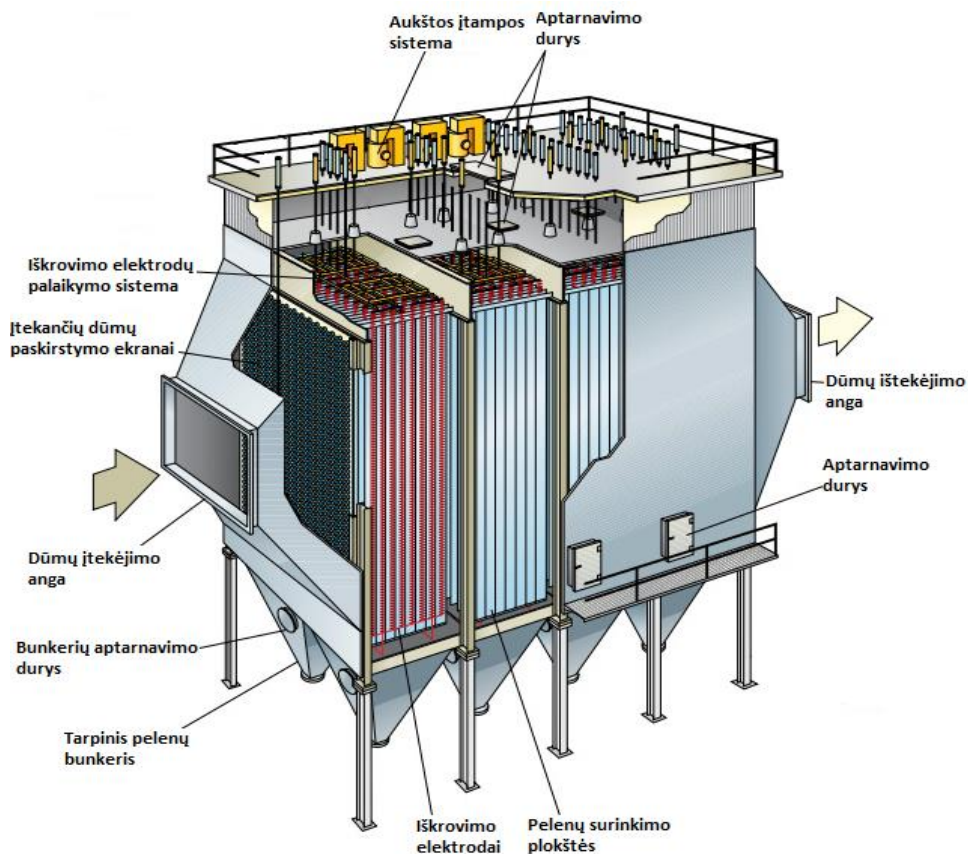
Sausų pelenų surinkimui iš karštų dūmų srauto naudojami sauso tipo elektrostatiniai filtrai. Tokio tipo filtrai taikomi ypač smulkių kietųjų dalelių surinkimui iš dūmų ar oro srauto. Pelenų surinkimo procesas pagrįstas neigiamai įkrautų dalelių ir elektrinio lauko sąveika. Karštų, nevalytų dūmų srautas patekęs į elektrosstatinį filtrą, vertikaliais paskirstymo ekranais paskirstomas vienodais srautais per visa priekinę filtro dalį. Prijungti prie nuolatinės aukštos įtampos srovės, neigiamai įkrauti elektrodai spinduliuoja elektronus link surinkimo elektrodo, prijungto prie teigiamo poliaus. Įgreitinti elektrodai kontaktuoja su dūmuose esančiais jonais, taip neigiamai įkraudami dūmuose esančias kietąsias daleles.



2.5 pav. Principinė kietųjų dalelių surinkimo schema. [44]

Kietosios dalelės, judėdamos su dūmų srautu tarp elektrostatinio filtro surinkimo plokščių, įgauna krūvį ir veikiamos elektrinio lauko bei atsiradusio dalelių dreifo greičio į nusodinimo elektrodų pusę, nusėda ant plokščių. Nusėdusios dalelės pašalinamos mechaniniu būdu – būgninių plaktukų kratymo sistemomis ir veikiamos svorio jėgos, subyra į tarpinius pelenų bunkerius.

Pelenų surinkimui elektrostatinio filtro apatinėje dalyje įrengti kūginiai pelenų bunkeriai, kurių apačiose sumontuoti elektros pavaromis pasukami maitintuvai-dozatoriai. Sraigtiniais transporteriais pelenai transportuojami į pelenų konteinerius. Kietų dalelių kiekis po elektrostatinio filtro mažesnis nei  $100 \text{ mg/Nm}^3$ , o elektrostatinio filtro efektyvumas ne mažesnis nei 99 %.



2.6 pav. Elektrostatinis filtras.[40]



Eksploatuojant sauso tipo elektrostatinį filtrą Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje, susiduriama ne su eksploatacinėmis problemomis. Pagrindinės susidarancios technologinės problemos:

1. Pelenai užsidega elektrostatiame filtre. Dėl pakitusių pelenų savybių, kurias įtakoja priemaišų kiekis deginame kure, pelenai pradeda sluoksniuotis virš pelenų dozatoriaus, kuris dozuoja pelenus į pelenų bunkerius. Susisluoksniavimo atveju pelenai nepatenka į dozatorių, o pats dozatorius sukasi aplink savo ašį. Tokiu būdu užsikiša elektrostatių filtrų surenkamų pelenų angos. Sumažėjus pelenų angų pralaidumui, stabdomas elektrostatinio filtro ir visos elektrinės įrenginių darbas. Stabdant garo katilą į elektrostatinį filtrą patenka oro ir deguonies. Tokiu atveju susikaupę, aukštos temperatūros pelenų kiekiai tarpiniame pelenų bunkeryje užsidega. Užsidegusių pelenų gėsinimas ir šalinimas vykdomas rankiniu būdu, pro aptarnavimo duris ir angas, pilnai sustabdžius elektrinės darbą.
2. Intensyviai dyla surinkimo plokštės dėl susidarancio pelenų abrazyvo. Ši problema priklauso nuo to, koks kuras yra deginamas kūrykloje. Pagal techninę elektrostatinio filtro eksploataavimo nomenklatūrą, surinkimo plokščių ilgaamžiškumo vidurkis nurodytas 7-9 metai. Praktikoje naudojamo elektrostatinio filtro surinkimo plokštės planuojamos keisti praėjus 4-5 metams nuo eksploatacijos pradžios. [36]

Elektrostatinio filtro eksploataavimo problemų gali būti išvengiama tik vykdant griežtesnę biokuro kokybės kontrolę ir taikant papildomas technologijas, kapitalinius įdėjimus kuro kokybės kontroliavimui bei reglamentuojant tolimesnį, susidarancių pelenų panaudojimą.

### 3. BIOKURO TERMOFIKACINĖJE ELEKTRINĖJE NAUDOJAMO KURO ANALIZĖ

Šiuo metu Lietuvoje biokuro pirkimai vykdomi vadovaujantis Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2012 m. rugsėjo 20 d. įsakymu Nr. 1-182 patvirtintomis Centralizuotos prekybos biokuru taisyklėmis. Pagal 2012 m. gegužės 22 d. Nr. XI-2023 Energijos išteklių rinkos įstatymą, nustatytas prekybos biokuro biržoje prioritetas prieš kitus prekybos būdus t. y. prieš biokuro pirkimus, vykdomus skelbiant viešuosius konkursus centrinėje viešųjų pirkimų informacinėje sistemoje. Tokiuose konkursuose dažniausiai susidarydavo palankios sąlygos monopolininkams, turintiems didelius kiekius žaliavos, taip išstumiant mažesnius biokuro gamintojus, kurie gali aprūpinti kuru trumpesnę laikotarpį ir mažesniais kiekiais. Dėl šios priežasties, siekiant biokuro rinkos skaidrumo ir lankstumo, įteisinta valstybinio lygio prievolė, centralizuoto šilumos tiekimo įmonėms pirkti biokuro biržoje 2014 m. – ne mažiau kaip 10 %; 2015 m. – ne mažiau kaip 50 %; 2016 m. ir vėlesniu laikotarpiu – ne mažiau kaip 100 % reikalingo metinio kuro kiekio [7]. Ši prievolė sudarė lygias galimybes kuro tiekėjais tapti ir mažiesiems ir didiesiems biokuro gamintojams.

Dauguma centralizuoto šilumos tiekimo įmonių biokurą perką naudojantis energijos išteklių birža „Baltpool“, kuri skirta sudaryti sandorius dėl biržoje prekiaujamų biokuro produktų. Pagal šiuo metu biržoje galiojančias prekybos biokuro produktais sąlygas, biržoje prekiaujami biokuro produktai sugrupuoti į keturis poskyrius SM1, SM2, SM3S, SM3.

3.1 lentelė. Biokuro rūšys. [8]

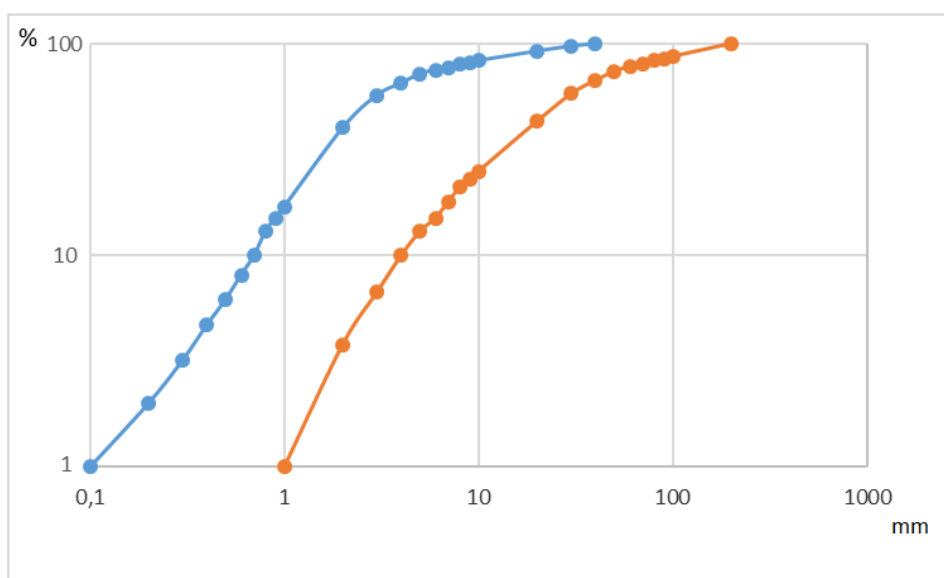
| Biokuro rūšis    | Kodas | Drėgnis % nuo naudojamosios masės |       | Peleningumas % nuo sausosios masės | Frakcijos dydis (Ilgis-plotis-storis), mm |           | Vidutinio leistino frakcijos dydžio dalis biokure. Ne mažiau nei (%) | Smulkiųjų frakcijos dydžio dalis biokure, ne daugiau nei (%) |
|------------------|-------|-----------------------------------|-------|------------------------------------|---|-----------|--|--|
|                  |       | Min.                              | Maks. |                                    | Vid.                                      | Maks.     |  |  |
| Medienos skiedra | SM1   | 20                                | 45    | 2                                  | 50-50-20                                  | 150-60-20 | 90   | <1   |
| Medienos skiedra | SM2   | 35                                | 55    | 3                                  | 50-50-20                                  | 150-60-20 | 80   | 5  |
| Medienos skiedra | SM3S  | 30                                | 55    | 5                                  | 15-15-15                                  | 45        | 90   | 10   |
| Medienos skiedra | SM3   | 35                                | 60    | 5                                  | 50-50-20                                  | 150-60-20 | 80   | 10   |

SM1 medienos skiedrą sudaro malkinė mediena, medienos atraižos, SM2 – malkinė mediena, medienos atraižos ir medienos pramonės įmonių atliekos, sausų spyglių ir sausų lapų kiekis iki 5%. SM3 – malkinė mediena, medienos atraižos, medienos pramonės įmonių atliekos ir miško kirtimo atliekos, tokios kaip žievė, pjuvenos, smulkinta mediena, medžio gabaliukai. Žievės, spyglių ir lapų kiekis iki 20 %.

### 3.1 Naudojamas kuras ir kuro mišiniai

Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje sumontuota degimo įranga ir katilas yra pritaikyti naudoti daugelį kieto kuro rūšių: medienos skiedras, drožles, pjuvenas, trupinines durpes, šiaudus. Pagal naudotinų kuro rūšių įvairovę, naudojant skirtingų mišinių kurą, biokuro elektrinės eksploatacijos režimai skirstomi:

1. 100% biokuro naudojimas;
2. Kuro mišinio naudojimas:
  - a) Biokuro kiekis nuo 100 % iki 70 %;
  - b) Gamtinės dujos nuo 0 % iki 30 %, kai kitas kuras gali būti tik biokuras
  - c) Trupininės durpės nuo 0 % iki 30 % bendro kuro kiekio;
  - d) Šiaudai nuo 0 % iki 5 % bendro kuro kiekio.



3.1 pav. Logaritminė leistinų kuro frakcijų diagrama [37].

Pagal dalelės dydį (x ašis) nurodytos kreivės apibrėžia leidžiamą naudoti šios frakcijos procentinį kiekį (y ašis) bendrame kuro kiekyje. Pavyzdžiui, medienos skiedrų (20 mm dydžio) kiekis kure turi sudaryti nuo 45 iki 95 %. Leidžiamas naudoti mažesnės frakcijos kuras, tačiau jo kiekis kure neturi viršyti ribos, apibrėžtos viršutine kreive.

### 3.2 Biokuro ir kuro mišinių probleminis naudojimas

#### 3.2.1 Biokuras ir šiaudai

Energetinis biokuro garo katilas pritaikytas deginti įvairius kuro mišinius, taip pat trijų rūšių kurą, kuris įsigyjamas biokuro energijos išteklių biržoje. Tačiau eksploatuojant biokuro termofikacinę elektrinę daugiau nei trejus metus ir praktiškai išbandžius elektrinės darbo savybes, deginant skirtingų rūšių kurą ir kuro mišinius, prieita prie sprendimo, nemišyti biokuro su šiaudais ir maksimaliai vengti SM3 rūšies kuro iš energijos išteklių biržos.

Šiaudų maišymas su biokuru apribotas dėl šio kuro problemiško, ypač kalbant apie deginimą energetinių katilų pakurose. Vykstant šiaudų degimo procesui, išsiskiriančiuose degimo produktuose aptinkami dideli kiekiai chloro junginių bei kietųjų dalelių, kurias sudaro pelenai ir šarmingosios druskos. Degimo proceso metu chloras ir šarmai reaguoja tarpusavyje, sudarydami natrio ir kalio chloridų junginius [10]. Šie junginiai tampa ypač agresyvūs aukštose temperatūrose, sukelia plieninių paviršių koroziją katilų pakurose, konvekciniuose pluoštuose, dūmtakių ir kaminų vidiniuose paviršiuose. Kita šiaudų deginime susidaranti problematika yra žema šiaudų pelenų lydymosi temperatūra siekianti apie 1000°C, kai biokuro pelenų lydymosi temperatūra siekia apie 1300°C. [9] Dėl šios priežasties deginant šiaudus susidaro dideli kiekiai kietų pelenų junginių, kurie užkiša pakuros ardymo oro padavimo angas [11].

Atliekant biokuro pirkimus energetinių išteklių biržoje „Baltpool“, vengiama SM3 rūšies biokuro, dėl atitinkamų neigiamų efektų biokuro termofikacinei elektrinei, kuriuos sukelia šios kuro rūšies deginimas. Šios rūšies biokure žievė sudaro iki 20% viso biokuro kiekio, taip pat į šį kiekį įeina ir spygliuočių spygliai. Deginant žievę, dėl žievėje esančių įvairios kilmės priemaišų, kūrykloje ir garo katilo šildymo paviršiuose susidaro ženkliai didesni kiekiai pelenų. Šie pelenai dėl juose esančių priemaišų, kurios sumažina jų lydymosi temperatūrą degimo procese, sudaro didelius, kieto šlako masyvus, kurie apsunkina įrangos veikimą bei sumažina patį šilumos generavimo proceso efektyvumą. Pakuroje degant spygliuočių spygliams išsiskiria 3 kartus didesni kiekiai chloro junginių nei deginant medieną [9]. Dėl neigiamų chloro savybių, trumpėja įrenginių eksploatavimo laikas ir padažnėja einamųjų remontų būtinumas. Taip pat SM3 rūšies kure būna gan dideli kiekiai dirvožemio ir smėlio priemaišų. Kadangi termofikacinėje elektrinėje eksploatuojamas energetinis garo katilas, kuris yra erdvinio – sluoksninio deginimo tipo, šios dirvožemio ir smėlio priemaišos daro ypatingai didelę žalą. Įkaitusios dirvožemio ir smėlio dalelės sudaro abrazyvą dėl katile vykstančios degimo produktų cirkuliacijos. Vidiniai katilo paviršiai pažeisti abrazyvo sparčiai dyla, susidarant sąlygoms katilo konvekcinių pluoštų prakiurimui Dilimo procesas pasireiškia ir dūmsiurbių sukamosioms sparnuotėms, kurių išdilimas įtakoja visą termofikacinės elektrinės veikimo procesą. Priemaišų kiekis kure priklauso nuo biokuro tiekėjo, kokiomis sąlygomis yra gaminamas biokuras, ar naudojamos atviros biokuro kaupimo aikštelės be atitinkamo pagrindo, ar sandėliuojamas sandėliuose. Didesnis šių priemaišų kiekis išderina stabilų garo katilo darbą, dėl ko sunaudojama daugiau iškastinio importuojamo kuro.

### **3.2.2 Biokuro kokybė**

Pagal biokuro biržos prekybos sąlygas, tiekiamame kure vidutinis drėgmės kiekis turi svyruoti apie 20-60%, priklausomai nuo biokuro rūšies [8]. Šiaulių biokuro termofikacinė elektrinė turi nuosavą, akredituotą chemijos laboratoriją, kurioje atliekami kiekvienos puspriekabės, gabenančios biokurą, tyrimai. Tiriant atvežto biokuro savybes pastarųjų trijų metų laikotarpyje, nustatyta

tendencija, kad biokuro drėgmės kiekis svyruoja tarp 18 - 82 %, priklausomai nuo metų sezono. Esant tokiam drėgmės svyravimo diapazonui, susiduriama su elektrinės stacionaraus darbo išlaikymo problemomis.

Biokuro naudotojai turi teisę reikšti pretenzijas dėl atsiradusių paslėptų, atvežto biokuro trūkumų bei gali atsisakyti priimti biokurą, kai jo kokybė vizualiai ir akivaizdžiai neatitinka biokuro pirkimo-pardavimo sutartyse nustatytų kokybės reikalavimų, tačiau biokuro pirkėjas turi įrodyti, kad pristatytas kuras neatitiko kokybės reikalavimų. Taip pat biokure negali būti priemaišų, t.y. žemės, akmenų, metalo, betono, plastiko, sprogstamųjų medžiagų ar kitų priemaišų, kenkiančių degimo procesui, įrenginių eksploatavimui bei įrangai, priešingu atveju, biokuro tiekėjas privalo šias medžiagas neatlygintinai susirinkti ir išsivežti, bet pirkėjas turi įrodyti, kad priemaišų rasta būtent atvežtame biokuro tiekėjo kure. Jei atvežto biokuro drėgmės kiekis yra didesnis už biokuro biržos prekybos sąlygose nurodytas vidutines vertes, tokiu atveju biokuro kaina mažinama 2% už kiekvieną viršytą drėgnio procentinį punktą, o jei drėgmės kiekis mažesnis už nustatytą vidurkį, laikoma, kad drėgnio rodiklis lygus nustatytai mažiausiai reikšmei [12].

Vykdamas biokuro termofikacinės elektrinės eksploataciją, susiduriama su ypatingai dažniais kuro kokybės neatitikimais, nustatytiems standartiniams biokuro kokybės rodikliams. Tokio kuro grąžinimas tiekėjui, pagal galiojančias biokuro biržos prekybos sąlygas tampa visiškai nesuderinamas su šiuo metu esančia biokuro pristatymo tvarka nuo pradinio biokuro svėrėjo pastato, iki biokuro sandėlio, kuriame atvežtas kuras išpilamas. Šiuo metu vilkikai atvežę biokurą užregistruojami, pasveriami svarstyklėmis ir pamatuojama kuro drėgmė skirtinguose puspriekabės taškuose. Toliau puspriekabės išpilamos į automatizuoto biokuro sandėlio prieduobę, kurioje paimamas 300 g svorio biokuro mėginys tyrimams. Skirtumas tarp išmatuoto drėgmės kiekio svėrimo metu ir nustatyto drėgmės kiekio chemijos laboratorijos tyrimo metu dažnai svyruoja iki 30 %. Tokie atvejai pasitaiko, kai biokuro gamintojai, sąmoningai klastoja atvežamo biokuro svorį, sluoksniuojant skirtingo drėgnumo kurą ar jį papildant vandeniu. Naudojantis užsienio valstybių biokuro tiekėjais, susidurta su atveju, kai biokure esančių žemių ir akmenų kiekis viršijo visas leistinas normas, o padavus tokį kurą į termofikacinės elektrinės darbo ciklą, buvo visiškai užgesinta garo katilo pakura, be antrinės užkūrimo galimybės. Tokio kuro šalinimas iš pakuros vykdytas pilnai sustabdžius biokuro termofikacinę elektrinę, šalinimą atliekant rankiniu būdu.

Kietosios priemaišos, po garo katilo pakura esančiame šlapio tipo pelėnų transporterėje, sluoksniuojasi, sudaro tirštą, klampią masę su žvyro priemaišomis. Tokio tipo masė patenka tarp sukamųjų transporterio dantračių ir grandinių, sudarydami didesnę trintį judančioms dalims. Dėl itin didelės kietųjų priemaišų masės ir padidėjusios trinties, transporterį sukantys elektros varikliai šyla. Atsitiktiniais atvejais priemaišų kiekiui ženkliai padidėjus, elektros varikliai perkaista ir transporteris stabdomas avariniu būdu iki tol, kol varikliai neatvėsta.



3.2 pav. Kietosios priemaišos ardymo pelenų transporteryje.

Didesnis kietų priemaišų kiekis dvigubai padidina surenkamų pelenų masę, o ši tiesiogiai įtakoja reikalingas lėšas pelenų utilizavimui į sąvartynus. Didesni kietųjų priemaišų kiekiai pelenų transporteryje susidaro nešildymo sezono metu, kai elektrinė dirba minimalia galia, o šildymo sezono metu, dėl maksimalios elektrinės galios, didžioji dalis kietųjų priemaišų iš kūryklos išnešama kartu su degimo produktų srautu.

Esminė problematika susijusi su atvežamo biokuro kuro kokybe ir drėgmės kiekiu, yra per didelis kiekis atvežamo kuro dienos eigoje, per greitas biokuro termofikacinės elektrinės kuro sunaudojimas, ypač šildymo sezono metu ir automatizuoto biokuro sandėlio darbas, permaišant atvežamą kurą, tai yra sumaišant skirtingų tiekėjų produkciją, be galimybės gražinti netinkamos frakcijos ir kokybės kurą atitinkamiems tiekėjams, nesilaikiusiems minimalių kuro kokybės rodiklių. Todėl būtinos papildomos investicijos tarpinei biokuro rūšiavimo aikštei.

### 3.2.3 Biokuro drėgmės kiekio įtaka degimo parametrams

Kuro drėgnis yra labai svarbi savybė, įtakojanti naudingosios šilumos išsiskyrimą ir sudeginamus kuro kiekius, išgaunant reikalingą kiekį antrinės energijos. Vykstant degimo procesui ir naudojant didesnės drėgmės kurą, didesnė energijos dalis panaudojama vandens išgarino procesui, tokiu būdu išgaunamas ženkliai mažesnis antrinės energijos kiekis, todėl siekiama kure esantį drėgnį sumažinti iki minimalios reikšmės. Tačiau deginant per sausą kurą, dėl sumažėjusio šilumos kiekio, reikalingo kuro išdžiovinimui kūrykloje, pakyla kuro sluoksnio liepsnos temperatūra iki pelenų minkštėjimo taško. Pelenai tampa lipnūs ir pradeda lydytis ant kūryklos ardymo. Dėl šios priežasties sauso biokuro naudojimas apribotas kūryklų technologiniais pritaikymo sprendimais, deginant mažo, vidutinio ar didelio drėgmės kiekio kurą.[9]

Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės garo katilo pakura pritaikyta deginti biokurą ir biokuro bei trupinių durpių, gamtinių dujų ir šiaudų mišinius. Siekiant įvertinti biokuro drėgmės kiekio įtaką degimo proceso parametrų išlaikymui ir sąnaudas, generuojant antrinę energiją, apskaičiuojami skirtingo drėgnumo biokuro degimo proceso tūriai, kuro ir oro kiekiai bei šiluminė energija susidarantiuose dūmuose.

Pasinaudojant [1] literatūra, randama 50 % drėgmės kiekį turinčio biokuro elementinė sudėtis ir pateikiama 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Biokuro elementinė sudėtis [1].

| Kuro rūšis | $C^n$ | $H^n$ | $S_d^n$ | $O^n$ | $N^n$ | $A^n$ | $W^n$ | $Q_a^n$ | Lakiosios medžiagos |
|------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------------------|
|            | %     |       |         |       |       |       |       | kJ/kg   | %                   |
| Biokuras   | 25,2  | 3,0   | -       | 20,9  | 0,3   | 0,5   | 50    | 8120    | 85                  |

Atliekami sekantys skaičiavimai teoriniams degimo produktų tūriams rasti, remiantis [1] literatūra.

Kilogramui kuro sudeginti reikalingas deguonies kiekis iš oro:

$$M_{O_2} = 2,66 \cdot \frac{C^n}{100} + 8 \cdot \frac{H_2^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \cdot \frac{25,2}{100} + 8 \cdot \frac{3}{100} - \frac{20,9}{100} = 0,701 \text{ kg}; \quad (3.1)$$

Teoriškai degimui reikalingas oro tūris:

$$V_o^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{21 \cdot 1,293} = \frac{100 \cdot 0,701}{21 \cdot 1,293} = 2,357 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.2)$$

$$V_o = \alpha \cdot V_o^t = 1,4 \cdot 2,357 = 3,230 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.3)$$

Deginant kietąjį kurą susidariusių triatomų dujų tūris:

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C^n + 0,375 \cdot S_d^n) = 0,01866 \cdot 25,2 = 0,470 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.4)$$

Deginant kietąjį kurą susidaręs teorinis azoto kiekis:

$$V_{N_2}^t = 0,79 \cdot V_o^t + 0,008 \cdot N^n = 0,79 \cdot 2,357 + 0,008 \cdot 0,3 = 1,864 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.5)$$

Deginant kietąjį kurą išsiskyręs vandens garas:

$$\begin{aligned} V_{H_2O}^t &= 0,111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot V_o^t = \\ &= 0,111 \cdot 3 + 0,0124 \cdot 50 + 0,0161 \cdot 2,357 = 0,991 \text{ m}^3 / \text{kg}; \end{aligned} \quad (3.6)$$

Teorinis degimo produktų kiekis:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2}^t + V_{H_2O}^t = 0,470 + 1,864 + 0,991 = 3,325 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.7)$$

Teorinis sausų dūmų degimo produktų kiekis:

$$V_{sd}^t = V_{RO_2} + V_{N_2}^t = 0,470 + 1,864 = 2,334 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.8)$$

Deginant kietąjį kurą su oro pertekliumi išsiskyręs azoto kiekis:

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot \alpha \cdot V_o^t + 0,008 \cdot N^n = 0,79 \cdot 1,4 \cdot 2,357 + 0,008 \cdot 0,3 = 2,631 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.9)$$

Deginant kietąjį kurą su oro pertekliumi išsiskyręs vandens garas:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 0,111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot \alpha \cdot V_o^t = \\ &= 0,111 \cdot 3 + 0,0124 \cdot 50 + 0,0161 \cdot 1,4 \cdot 2,357 = 1,006 \text{ m}^3 / \text{kg}; \end{aligned} \quad (3.10)$$

Sausų dūmų degimo produktų kiekis:

$$V_{sd} = V_{sd}^t + (\alpha - 1) \cdot V_0^t = 2,334 + (1,4 - 1) \cdot 2,357 = 3,277 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.11)$$

Bendras degimo produktų kiekis:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2}^t + (\alpha - 1) \cdot V_0^t + V_{H_2O} = 0,470 + 1,864 + (1,4 - 1) \cdot 2,357 + 1,006 = 4,283 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.13)$$

$$V_d = V_{sd} + V_{H_2O} = 3,277 + 1,006 = 4,283 \text{ m}^3 / \text{kg}; \quad (3.14)$$

Šilumos kiekis į degimo kamerą patenkantis su degimui tiekiamu oru:

$$Q_o = \alpha \cdot V_0^t \cdot c_{oro} \cdot t_o = 1,4 \cdot 2,357 \cdot 1,289 \cdot 20 = 85,069 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}; \quad (3.15)$$

Disponuojamas šilumos kiekis:

$$Q_{disp} = Q_o + Q_a^n = 85,069 + 8120 = 8205,069 \text{ kJ/kg}; \quad (3.16)$$

Apskaičiuoju, koks pirminės energijos kiekis reikalingas garo katilui, jog šis dirbtų nominaliu režimu:

$$Q_{pirm} = \frac{Q}{\eta} = \frac{40,44}{0,872} = 46376,147 \text{ kW}; \quad (3.17)$$

Apskaičiuojamos kuro sąnaudos katile :

$$B = \frac{Q_{pirm}}{Q_{disp}} = \frac{46376,147}{8205,069} = 5,652 \text{ kg/s} = 20347,2 \text{ kg/h}; \quad (3.18)$$

Oro debitas sunaudojamas katile per 1val normaliomis sąlygomis:

$$V_o^{ns} = B \cdot V_o = 20347,2 \cdot 3,230 = 65721,46 \text{ Nm}^3 / \text{h}; \quad (3.19)$$

Oro debitas sunaudojamas katile per 1val. realiomis sąlygomis:

$$V_o^{rs} = V_o^{ns} \cdot \left( \frac{273,15 + t_o}{273,15} \right) = 65721,46 \cdot \left( \frac{273,15 + 20}{273,15} \right) = 70533,58 \text{ m}^3 / \text{h}; \quad (3.20)$$

Savitosios dūmų šilumos, kai degimo produktų temperatūra garo katile siekia 760°C:

$$c_{co_2} = 1,7132 + 0,0004723 \cdot t = 1,7132 + 0,0004723 \cdot 760 = 2,072 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.21)$$

$$c_{N_2} = 1,306 + 0,0001107 \cdot t = 1,306 + 0,0001107 \cdot 760 = 1,390 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.22)$$

$$c_{H_2O} = 1,473 + 0,0002498 \cdot t = 1,473 + 0,0002498 \cdot 760 = 1,663 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.23)$$

$$c_{oro} = 1,287 + 0,0000120 \cdot t = 1,287 + 0,0000120 \cdot 760 = 1,378 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.24)$$

$$c_{O_2} = 1,313 + 0,0001577 \cdot t = 1,313 + 0,0001577 \cdot 760 = 1,433 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.25)$$

Teorinio dūmų tūrio entalpija garo katile, kai temperatūra  $t = 760^0 \text{ C}$ ;

$$H_d^t = (V_{RO_2} \cdot c_{co_2} + V_{N_2}^t \cdot c_{N_2} + V_{H_2O}^t \cdot c_{H_2O}) \cdot t = (0,470 \cdot 2,072 + 1,864 \cdot 1,390 + 0,991 \cdot 1,663) \cdot 760 = 3961,88 \text{ kJ/kg}; \quad (3.26)$$

Dūmų entalpija:



$$H_d = H_d^t + (\alpha - 1) \cdot V_0^t \cdot c_{oro} \cdot t_0 =$$

$$3961,88 + (1,4 - 1) \cdot 2,357 \cdot 1,378 \cdot 20 = 3987,86 \text{ kJ/kg.} \quad (3.27)$$

Savitosios dūmų šilumos, kai degimo produktų temperatūra prieš kondensacinį dūmų ekonomaizerį siekia 142°C:

$$c_{co_2} = 1,7132 + 0,0004723 \cdot t = 1,7132 + 0,0004723 \cdot 142 = 1,780 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.28)$$

$$c_{N_2} = 1,306 + 0,0001107 \cdot t = 1,306 + 0,0001107 \cdot 142 = 1,322 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.29)$$

$$c_{H_2O} = 1,473 + 0,0002498 \cdot t = 1,473 + 0,0002498 \cdot 142 = 1,509 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.30)$$

$$c_{oro} = 1,287 + 0,0000120 \cdot t = 1,287 + 0,0000120 \cdot 142 = 1,304 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.31)$$

$$c_{O_2} = 1,313 + 0,0001577 \cdot t = 1,313 + 0,0001577 \cdot 142 = 1,335 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.32)$$

Teorinio dūmų tūrio entalpija  $t = 142^0 \text{ C}$ ;

$$H_d^t = (V_{RO_2} \cdot c_{co_2} + V_{N_2}^t \cdot c_{N_2} + V_{H_2O}^t \cdot c_{H_2O}) \cdot t =$$

$$= (0,470 \cdot 1,780 + 1,864 \cdot 1,322 + 0,991 \cdot 1,509) \cdot 142 = 680,97 \text{ kJ/kg}; \quad (3.33)$$

Dūmų entalpija:

$$H_d = H_d^t + (\alpha - 1) \cdot V_0^t \cdot c_{oro} \cdot t_0 =$$

$$680,97 + (1,4 - 1) \cdot 2,357 \cdot 1,304 \cdot 20 = 705,56 \text{ kJ/kg.} \quad (3.34)$$

Savitosios dūmų šilumos, kai degimo produktų temperatūra po kondensacinio dūmų ekonomaizerio siekia 46°C:

$$c_{co_2} = 1,7132 + 0,0004723 \cdot t = 1,7132 + 0,0004723 \cdot 46 = 1,735 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.35)$$

$$c_{N_2} = 1,306 + 0,0001107 \cdot t = 1,306 + 0,0001107 \cdot 46 = 1,311 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.36)$$

$$c_{H_2O} = 1,473 + 0,0002498 \cdot t = 1,473 + 0,0002498 \cdot 46 = 1,485 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.37)$$

$$c_{oro} = 1,287 + 0,0000120 \cdot t = 1,287 + 0,0000120 \cdot 46 = 1,293 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.38)$$

$$c_{O_2} = 1,313 + 0,0001577 \cdot t = 1,313 + 0,0001577 \cdot 46 = 1,320 \text{ kJ/m}^3 \cdot \text{K}; \quad (3.39)$$

Teorinio dūmų tūrio entalpija  $t = 46^0 \text{ C}$ ;

$$H_d^t = (V_{RO_2} \cdot c_{co_2} + V_{N_2}^t \cdot c_{N_2} + V_{H_2O}^t \cdot c_{H_2O}) \cdot t =$$

$$= (0,470 \cdot 1,735 + 1,864 \cdot 1,311 + 0,991 \cdot 1,485) \cdot 46 = 216,52 \text{ kJ/kg}; \quad (3.40)$$

Dūmų entalpija:

$$H_d = H_d^t + (\alpha - 1) \cdot V_0^t \cdot c_{oro} \cdot t_0 =$$

$$216,52 + (1,4 - 1) \cdot 2,357 \cdot 1,293 \cdot 20 = 240,90 \text{ kJ/kg.} \quad (3.41)$$

Apskaičiavus 50 % drėgmės biokuro degimo proceso parametrų dydžius, atliekami sekantys skaičiavimai, naudojant 30, 40, 60, 70 ir 80 % drėgmės biokurą. Kuro elementinė sudėtis perskaičiuojama, pasinaudojant bet kurio komponento kiekio perskaičiavimo formule: [1]

$$X^n = X^d \cdot \frac{100 - (A^n + W^n)}{100}; \quad (3.42)$$

Čia:

$X^n$  – komponento kiekis naudojamojoje masėje, %;

$X^d$  – komponento kiekis degiojoje masėje, %;

$A^n$  – pelenai kiekis naudojamojoje masėje, %;

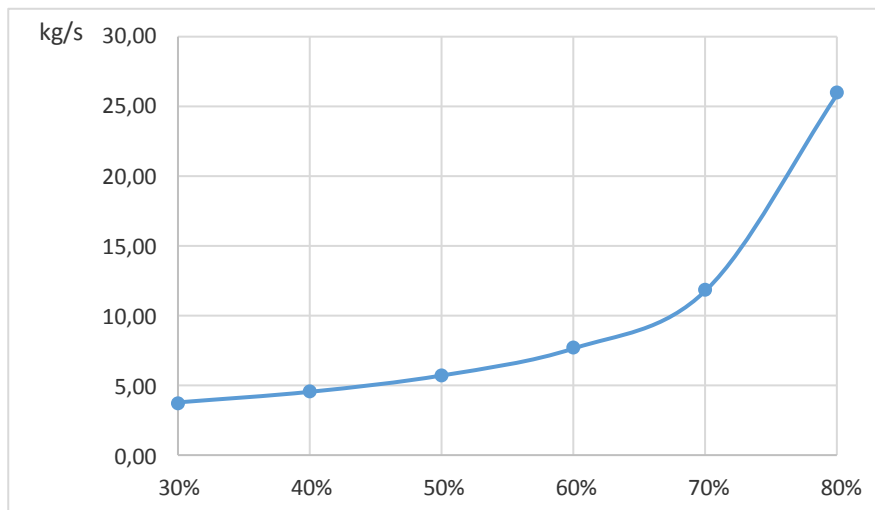
$W^n$  – drėgmės kiekis naudojamojoje masėje, %.

Apskaičiuotos kuro elementų vertės ir atitinkamo drėgnumo biokuro degimo procesų parametrų reikšmės ir skaičiavimai pateikti C Priede. Gauti rezultatai surašomi į 3.3 lentelę.

3.3 lentelė. Biokuro degimo produktų parametrai.

| Biokuras | $W_n$ | $Q_a^n$ | Vandens<br>garas iš<br>kuro | $V_{sd}$           | $V_d$              | $Q_o$ | $Q_{disp}$ | Katilo<br>galia | Kuro<br>sąnaudos | $H_d$<br>760°C |
|----------|-------|---------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------|------------|-----------------|------------------|----------------|
|          | %     | kJ/kg   | m <sup>3</sup> /kg          | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | kJ/kg | kJ/kg      | MW              | kg/s             | kJ/kg          |
|          | 30    | 12384   | 0,585                       | 4,971              | 5,556              | 131   | 12515      | 40,44           | 3,71             | 4814,00        |
|          | 40    | 10262   | 0,966                       | 4,263              | 5,229              | 112   | 10374      |                 | 4,47             | 4764,17        |
|          | 50    | 8120    | 1,006                       | 3,277              | 4,283              | 85    | 8205       |                 | 5,65             | 3961,88        |
|          | 60    | 6021    | 1,059                       | 2,845              | 3,904              | 75    | 6096       |                 | 7,61             | 3669,46        |
|          | 70    | 3874    | 1,103                       | 2,129              | 3,232              | 56    | 3930       |                 | 11,80            | 3139,30        |
|          | 80    | 1746    | 1,148                       | 1,416              | 2,564              | 37    | 1783       |                 | 26,01            | 2601,42        |

Iš gautų rezultatų matyti, kad didžiausia išmetamų dūmų entalpija gaunama deginant mažiausio drėgnumo biokurą. Didėjant drėgmės kiekiui kure, didėja ir vandens garų kiekis, susidarantis iš kure esančio vandens, taip pat degant kure esančiam vandeniliui.[39] Tokiu būdu sumažėja susidarančių degimo produktų entalpija ir krenta garo katilo darbinė temperatūra. Degimo produktų tūris kinta priklausomai nuo drėgmės kiekio kure. Nors tūris atitinkamai mažėja didėjant drėgmės kiekiui, tačiau susidarančių toksogenų kiekis mažesniame degimo produktų tūryje bus du kartus didesnis, dėl išaugusio kuro sunaudojimo ir didesnio dūmų tankio. Didžiausias degimo produktų tūris gaunamas deginant mažiausio drėgnumo biokurą, kuriuose yra palyginti didelis kiekis triatomų dujų ir azoto, tačiau degimo produktų tankis yra ženkliai mažesnis, dėl mažesnio kiekio sunaudoto kuro, kas nulemia ir mažesnius susidarančių išmetamų teršalų kiekius į aplinką. Todėl galima teigti, kad drėgmės kiekis kure įtakoja ne tik degimo produktų entalpiją ir susidarančių dūmų tūrius, bet taip pat ir susidarančių išmetamų teršalų kiekius, kurie didėja atitinkamai dėl didesnio kuro sunaudojimo, kurį įtakoja didesnis drėgmės kiekis kure.



3.3 pav. Biokuro sąnaudų priklausomybė nuo drėgmės kiekio.

Iš grafiko, pateikto 3.3 pav. matome, kad biokuro sąnaudos neženkiai didėja, kai biokure esantis drėgmės kiekis svyruoja tarp 30-55 %. Esant didesniam nei 60 % drėgmės kiekiui, kuro sąnaudos didėja 1,5 karto, lyginant su 50 % drėgmės turinčiu biokuru. Garo katilo pakuroje susidarius didelei aukšto drėgnumo biokuro koncentracijai ir papildomu tiekiamu biokuru nebeišlaikant temperatūrinių garo katilo parametrų, jungiami gamtinių dujų degikliai, kuriais stabilizuojamas garo katilo pakuros temperatūrinis pokytis.

3.4 lentelė. Gamtinių dujų degiklių galios parametrai

|          | $W_n$ | $Q_a^n$ | $H_d$ 760°C |                | $Q_a^n$ | $H_d$ 760°C | Kuro sąnaudos     |                   | Degiklių galia |
|----------|-------|---------|-------------|----------------|---------|-------------|-------------------|-------------------|----------------|
|          | %     | kJ/kg   | kJ/kg       |                | kJ/kg   | kJ/kg       | m <sup>3</sup> /s | m <sup>3</sup> /h | MW             |
| Biokuras | 30%   | 12384   | 4814,00     | Gamtinės dujos | 33827   | 0           | 0                 | 0                 | 0              |
|          | 40%   | 10262   | 4764,17     |                |         | 0           | 0                 | 0                 | 0              |
|          | 50%   | 8120    | 3961,88     |                |         | 401,15      | 0,005             | 19,25             | 0,16           |
|          | 60%   | 6021    | 3669,46     |                |         | 693,57      | 0,009             | 33,29             | 0,27           |
|          | 70%   | 3874    | 3139,30     |                |         | 1223,73     | 0,016             | 58,73             | 0,48           |
|          | 80%   | 1746    | 2601,42     |                |         | 1761,61     | 0,023             | 84,55             | 0,69           |

Dėl šių priežasčių biokuro kokybės atitikimas nustatytiems minimaliems kuro kokybės reikalavimams ir kokybės kontroliavimas turėtų tapti vienas aukščiausių prioritetų šilumos ir elektros energijos generavimo įmonėse, kuriose biokurą deginantys energijos generavimo įrenginiai sudaro didžiąją dalį visų įrenginių.

### 3.3 Tarpinė biokuro rūšiavimo aikštelė

Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje, šildymo sezono metu, per dieną į biokuro kuro sandėlį atvežamos 25-30 puspriekabės biokuro. Vienoje atvežtoje puspriekabėje telpa iki 92 m<sup>3</sup> biokuro, kurio masė svyruoja tarp 23-27 t, priklausomai nuo kure esančio drėgmės kiekio. [13]

Todėl, siekiant atskirti kokybišką biokurą nuo nekokybiško, reikalinga tarpinė biokuro išpylimo aikštelė, kurioje kiekvienos puspriekabės kuras būtų saugojamas iki tol, kol būtų atlikti pilni, kuro kokybę nustatantys tyrimai. Taip būtų išvengiama nekokybiško biokuro patekimo į kuro sandėlių ir sumažinama avarinių garo katilo pakuros užgesinimo atvejų tikimybė.



3.4 pav. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės teritorija.

Termofikacinės elektrinės kuro sandėlio tūris siekia 9000 m<sup>3</sup>. Taip užtikrinamas 5 dienų kuro rezervas, elektrinei dirbant nominaliu režimu. Sandėlis suprojektuotas kartu su prieduobe, kurioje biokuro tiekėjų vilkikai išpila atvežamą kurą, taip nestabdant robotizuotų greiferinių kranų darbo kuro sandėlyje. Atvežtas biokuras kranų pagalba perkeliamas į pagrindinį kuro sandėlį ir permaišomas kartu su jau sandėliuojamu kuru. Dėl šios priežasties nėra galimybės biokuro tiekėjams grąžinti netinkamos kokybės kuro, o šildymo sezono metu biokuro tyrimų rezultatai gaunami, kai atvežtas biokuras būna jau sudegintas ar pradėtas deginti.

Planuojamos tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės našumas, priimant biokurą, nemažesnis nei 30 vilkikų per dieną, kiekvienai puspriekabei su biokuru projektuojant atskirą išpylimo plotą, taip maksimaliai atskiriant skirtingų tiekėjų atvežtus kuro kiekius. Aikštelės plotas  $\leq 1000$  m<sup>2</sup> su atraminėmis sienomis iš nedegių medžiagų. Komplektuojama kartu su stogine, apsaugančia sandėliuojamą biokurą nuo aplinkos poveikio ir kritulių. Priimama, kad biokuras bus supilamas į

nedidesnes nei 4 m aukščio uždengtas krūvas, kurių tūris apie 85-90 m<sup>3</sup>, biomasės netekimas iki -2 %, šilumingumo pokytis +4-10 % [9]. Aikštelės atstumas nuo termofikacinės elektrinės nedidesnis nei 150 m [14]. Aikštelė turi būti pritaikyta savivarčiui šoninio ir galinio vertimo autotransportui, taip pat transportui su vibracinėmis grindimis.[15]

Galimai tarpinei biokuro rūšiavimo aikštei parinktos dvi teritorinės alternatyvos, kurių parinkimas apibrėžiamas mažiausiu atstumu nuo biokuro saugojimo sandėlio ir įkomponavimu į neužstatytą sklypo plotą, nepažeidžiant apsauginių zonų, esamos kelių infrastruktūros ir priešgaisrinės saugos reikalavimų. Dėl gan didelio bendro teritorijos užstatymo, alternatyvios aikštelės A ir B sudarytos iš dviejų, skirtingo ploto aikštelių.



3.5 pav. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelė alternatyvos.

Aikštelės alternatyva A nutolusi nuo biokuro sandėlio 90 m atstumu. Užstatoma nenaudojama autotransporto stovėjimo aikštelė ir žalioji zona. Kuro transportavimas iš rūšiavimo aikštelės į biokuro sandėlį vykdomas autotransportu – frontiniu ratiniu krautuvu. Kuro transporterių įrengimas dėl didelio atstumo nuo biokuro sandėlio ir reikalingo laikančiosioms transporterių konstrukcijoms ploto, užstatant pravažiuojamąjį kelią, nenumatomas. Tokiu būdu išvengiama avarinių kuro tiekimo sutrikimų, kai dėl didelio kuro ir lauko oro temperatūrų skirtumo, kuras

prišala prie transporterių vidinių sienelių. Taip pat išvengiama transporterių galimo užsikūlimo, patekus nestandartinių gabaritų kuro frakcijoms.

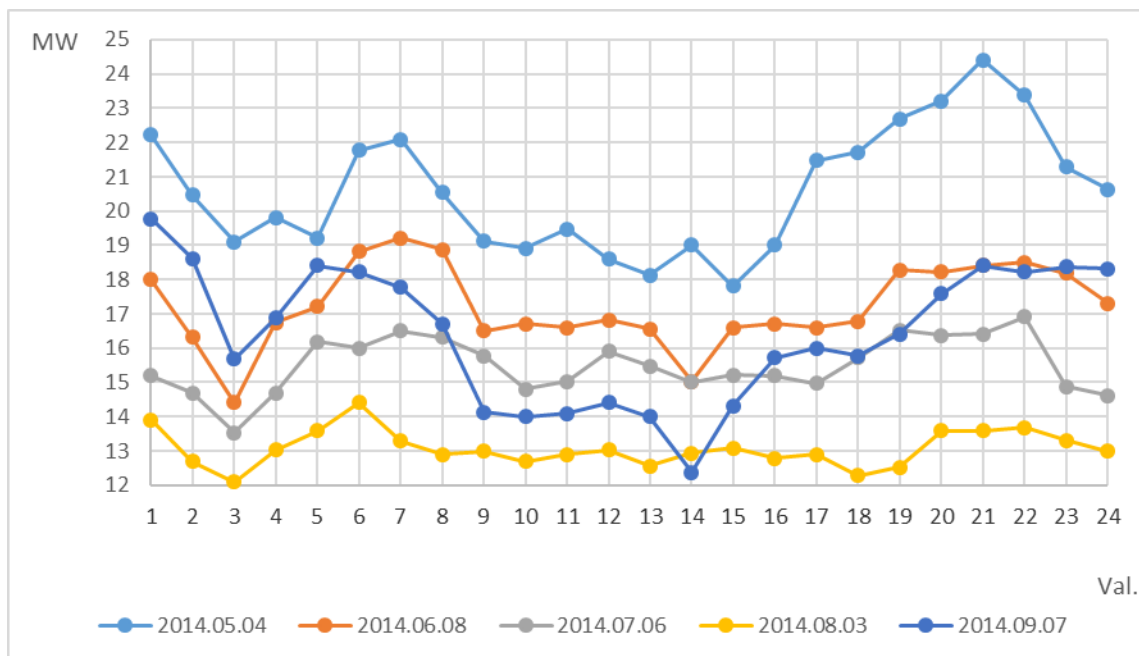
Alternatyva B – nagrinėjama biokuro rūšiavimo aikštelė nutolusi nuo biokuro sandėlio 30 m atstumu. Užstatomas plotas – asfaltuota, nenaudojama aikštelė. Dėl mažo atstumo tarp planuojamos aikštelės ir biokuro sandėlio, kuro transportavimas vykdomas kuro transporteriais. Įrengiamos dvi kuro tiekimo linijos, atsižvelgiant į galimus mechaninius gedimus, transporterių užsikūlimus ir remonto darbų atlikimą, taip nestabdant kuro tiekimo į biokuro sandėlį. Šiuo atveju rūšiavimo aikštelė būtų sudaryta iš dviejų atskirų aikštelių, kurias skirtų mazuto rezervuarų aptarnavimo kelias.

Apžvelgus alternatyvių aikštelių vietas A ir B, nustatyta, kad tinkamiausia tarpinė biokuro rūšiavimo aikštelė yra B. Aikštelėje A būtų reikalingas papildomas aptarnaujantis personalas, technika, taip pat papildomi kuro kiekiai, transportuojant biokurą iš aikštelės į sandėlį, dėl ko išaugtų ir biokuro termofikacinės elektrinės eksploataciniai kaštai ir šiluminės bei elektros energijos savikaina. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės techninis eskizas pateiktas B Priede.

## 4. BIOKURO TERMOFIKACINĖS ELEKTRINĖS DARBO ANALIZĖ

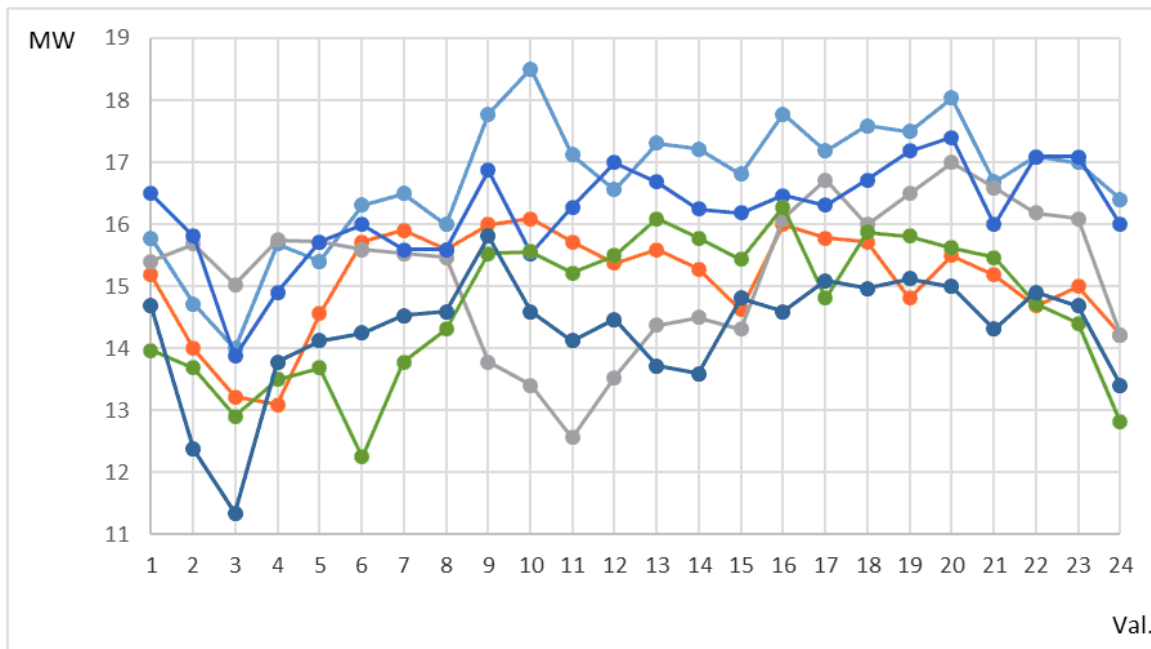
### 4.1 Termofikacinės elektrinės galios reguliavimas

Remiantis ilgalaikę šilumos vartojimo statistika, kaupiama biokuro termofikacinės elektrinės serveriuose, kogeneracinės elektrinės galia priklauso nuo šilumos vartotojų poreikių visų metų diapazone. Čia susiduriama su eksploatuojamos įrangos, šilumos tiekimo ir vartojimo suderinamumo problemomis. Sezoniniai elektrinės apkrovimų svyravimai vasaros ir žiemos metu kinta bemaž 50 % , kas taip pat koreguoja ir gaminamos elektros energijos kiekius, kurie vasaros sezono metu krenta dvigubai. Šildymo sezono metu pilnai apkraunamas turbogeneratorius, dėl to šilumos gamyba elektrinėje ilgą laiką išlieka maksimali, o galios svyravimas – minimalus. Vasaros sezono metu, elektrinei dirbant pagal šilumos vartotojų poreikius, išauga elektrinės galios svyravimas, sumažėja elektros energijos gamyba ir padidėja eksploataciniai elektrinės kaštai.



4.1 pav. Kogeneracinės elektrinės galios svyravimas vasaros sezono darbo dienomis.

Biokuro termofikacinės elektrinės galios svyravimų pikai matomi grafike (Žr. 4.1 pav.). Elektrinės galios duomenys pateikiami nešildymo sezono, penkių skirtingų mėnesių, darbo savaitėlių pirmadienių. Šiuo atveju elektrinės galia, paros laikotarpyje, svyruoja apie 30-35 %, priklausomai nuo vartotojų šilumos poreikių, kurie ir įtakoja biokuro termofikacinės elektrinės galią.



4.2 pav. Kogeneracinės elektrinės galios svyravimas vasaros sezono savaitgaliais.

Biokuro termofikacinės elektrinės galia reguliavimas savaitgaliais skiriasi nuo galios kitimo darbo dienomis, dėl skirtingų vartotojų įpročių ir gyvenimo būdo, tačiau svyravimų amplitudė išlieka panaši darbo dienų poreikiams – 30-35 %. Tokiais atvejais, kai didėja pareikalaujamas šilumos kiekis, šilumos tiekimo trasose didinamas termofikacinio vandens debitas ir kogeneracinės elektrinės galia. Sumažėjus vartotojų šilumos poreikiams, mažėja šilumos tiekimo magistralėse esančio termofikacinio vandens debitas, mažinama elektrinės galia. Šie reguliavimai vykdomi pasinaudojant temperatūriniais grafikais ir ilgalaike įmonės patirtimi eksploatuojant energetinius ir vandens šildymo katilus.

Energetinis garo katilas, pagal savo eksploataavimo ir konstrukcines savybes yra pritaikytas automatinio režimu dirbti 30 % ir žemesne galia.[37] Tačiau dirbant šia ir žemesne galia, susiduriama su katilo pakuros degimo stabilizavimo ir kitomis problemomis:

- didėja deginamų gamtinių dujų kiekis;
- katilui dirbant minimalia apkrova, padidėja recirkuliuojamo termofikacinio vandens kiekis;
- išauga elektros energijos sąnaudos;
- trumpėja energetinių įrenginių tarnavimo laikas;
- itin sumažinus katilo galią, atjunginama garo turbina ir nebegaminama elektra;
- mažėja energijos generavimo ciklo naudingumo koeficientas;

Aukščiau išvardintų problemų galima išvengti pasinaudojant užsienio valstybių patirtimi, elektrines eksploatuojant kartu su šilumos akumuliacijos sistemomis. Pagrindinė šilumos akumuliacijos sistemų paskirtis būtų kaupti šiluminės energijos perteklių. Vartotojų poreikiui



išaugus virš nustatytos kogeneracinės elektrinės galios, sukaupta šiluminė energija būtų panaudojama susidariusiems vartotojų poreikių šilumos pikams dengti.

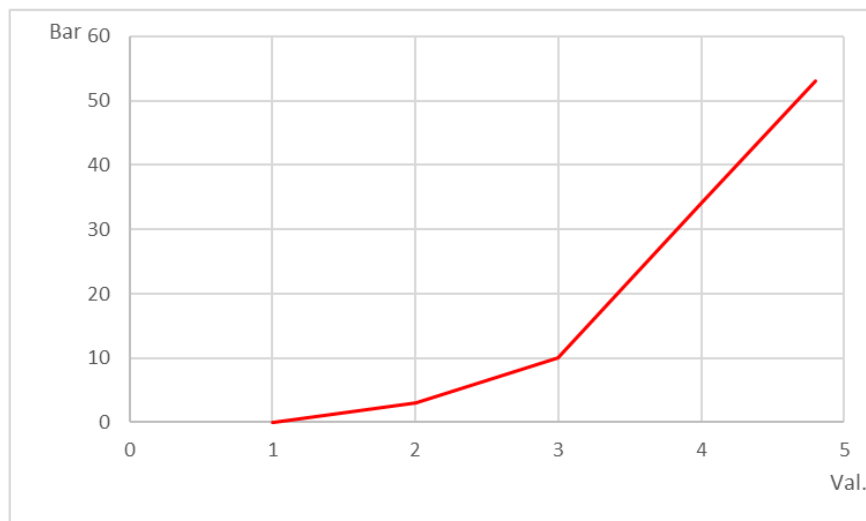
#### 4.2 Biokuro termofikacinės elektrinės paleidimas ir stabdymas

Kiekvienais metais, biokuro termofikacinės elektrinės garo katilas planuotai stabdomas ir paleidžiamas du kartus, tai yra prieš prasidedant šildymo sezonui ir šildymo sezonui pasibaigus.

Pagrindiniai kriterijai garo katilo paleidimo ir stabdymo metu:

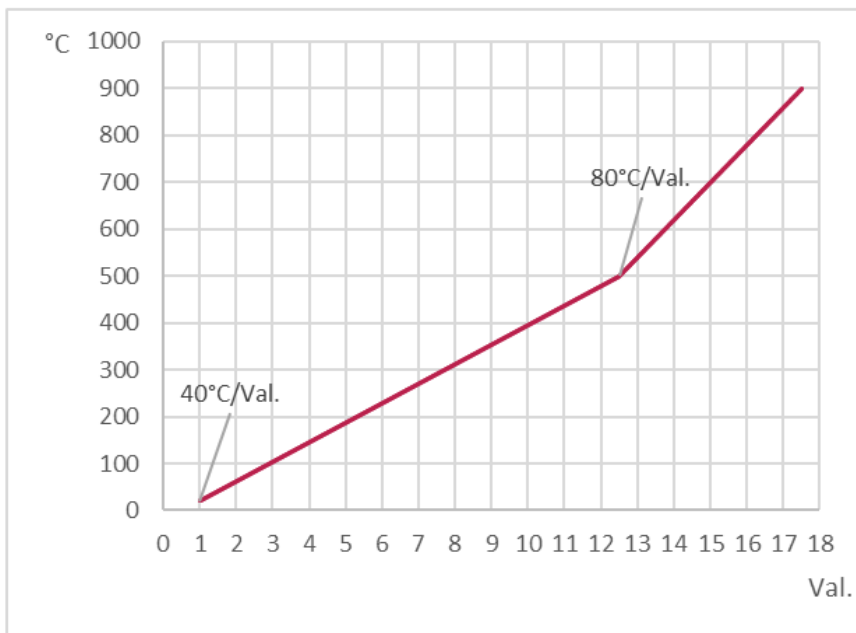
- energobloko šiluminė talpa;
- sienelių elementų šiluminė būsena;
- temperatūros kilimo greitis.

Šie kriterijai labiausiai įtakoja garo katilo eksploatavimo ilgaamžiškumą. Temperatūrinis katilo būgno kitimo greitis paleidžiant, užtikrinamas sulėtinant slėgio kilimą. Kogeneracinės elektrinės paleidimo trukmė nuo garo katilo užkūrimo momento iki garo turbinos įjungimo į tinklą iš esmės priklauso nuo pradinės katilo būgno šiluminės būsenos. Skirstomos dvi, šaltą ir karštą būseną. Šaltoje būsenoje garo katilo būgne nėra perteklinio slėgio, o paleidimo metu sočiojo garo temperatūros kilimo vertės katilo išėjime neturi viršyti  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Karštoje būsenoje slėgis garo katilo būgne viršija 10 bar. Paleidimo metu sočiojo garo temperatūros kilimo vertės katilo išėjime neturi viršyti  $1,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , o leistinas slėgio būgne kilimo greitis – 20 bar/val.



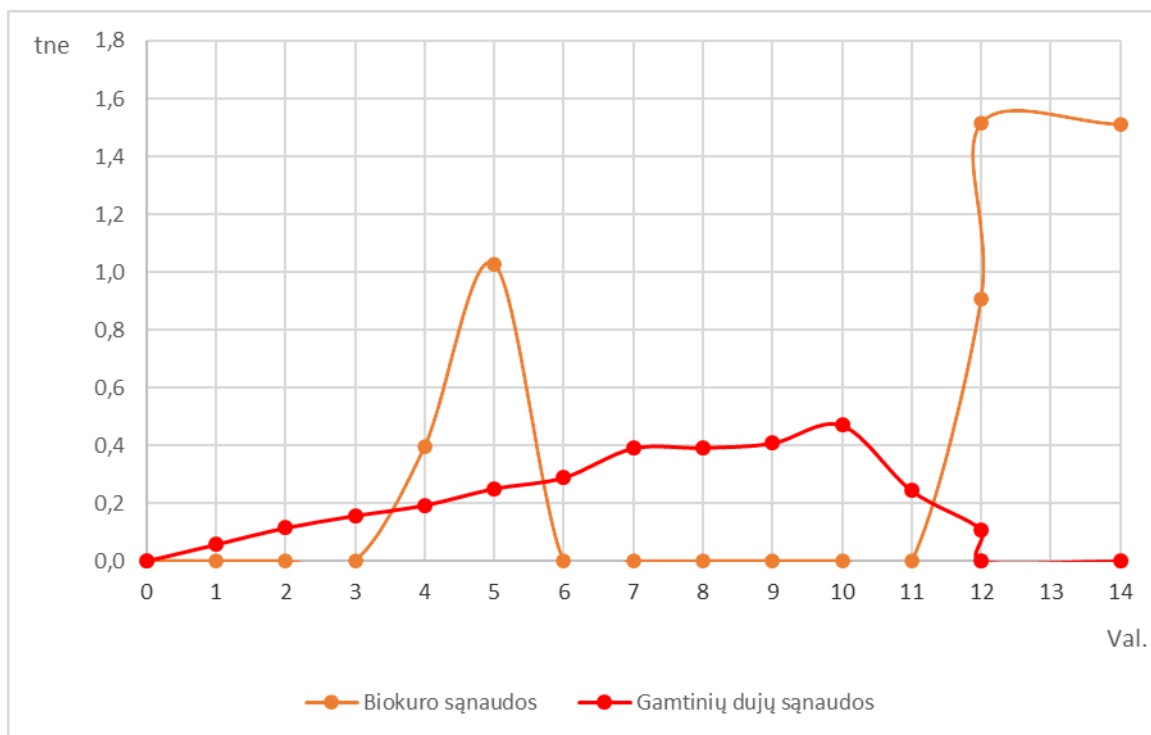
4.3 pav. Garo katilo slėgio kitimas, esant  $1,0^{\circ}\text{C}/\text{min}$  sočiojo garo temperatūros kilimui, paleidimo metu.

Pagal slėgio greičio kilimo grafiką (žr. 4.3 pav.), tiesinė slėgio kilimo priklausomybė gaunama, kai garo katilas paleidžiamas iš karštos būsenos. Šioje būsenoje garo katilo būgne slėgis didėja maksimaliu greičiu, du kartus didesniu nei paleidžiant katilą iš šaltos būsenos. Tokiu atveju nominali kogeneracinės elektrinės galia pasiekiamą greičiau nei vykdant paleidimą iš šaltos būsenos.



4.4 pav. Garo katilo temperatūros kitimo grafikas paleidimo metu.

Garo katilo paleidimas vykdomas atsižvelgiant ir į temperatūrinį paleidimo grafiką. Griežtai nustatytos ribos, kad katilo vidiniai paviršiai per pirmąsias tryliką paleidimo valandų, negali būti šildomi didesniu kaip 40°C/val. greičiu. Vidiniams pakuros ir garo katilo paviršiams įšilus iki 500°C, galima vykdyti spartesnį paleidimą iki 80°C/val. greičiu. Šie technologiniai dydžiai nustatyti siekiant išvengti garo katilo konstrukcijų staigaus šiluminio plėtimosi, kas negrįžtamai pažeistų katilo vidinius šildomuosius paviršius.

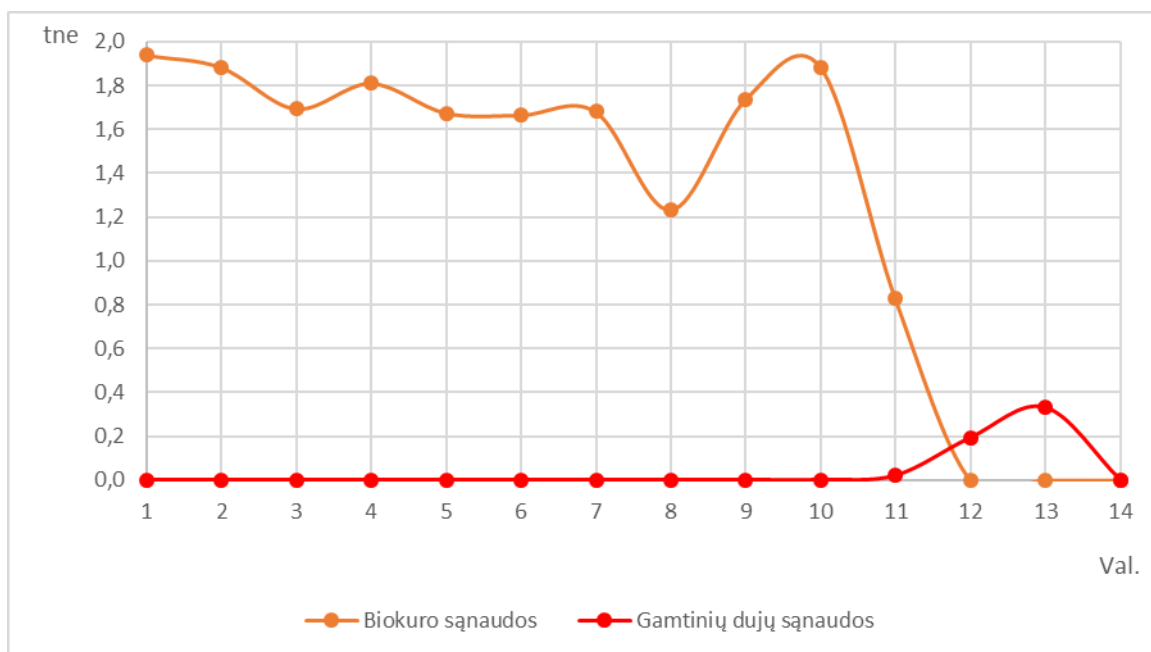


4.5 pav. „Šalto“ garo katilo paleidimas.

Iš grafiko (žr. 4.5 pav.) matome, kaip vykdomas kuro deginimas garo katilo pakuroje, paleidžiant katilą iš šaltos būsenos. Pradinėje fazėje paleidžiami dujiniai degikliai, kurie šildo

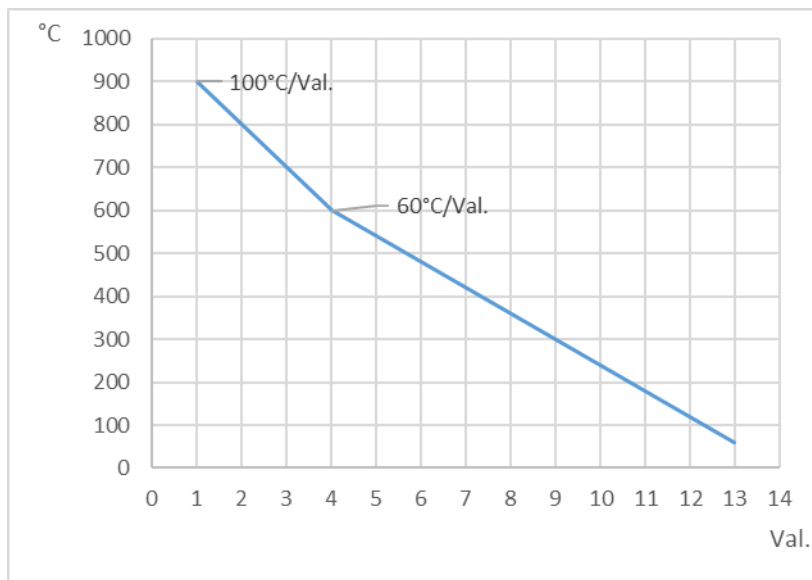
katilo ir pakuros vidinius paviršius. Pasiekus minimalią pakuros temperatūrą, duodama komanda pneumatiniams biokuro skirstytuvams į pakurą patiekti po 0,5 tne biokuro per vieną valandą. Šis pirminis biokuras deginamas pasinaudojant dujiniais degikliais. Biokurui patekus į pakurą, dujinių degiklių našumas didinamas iki maksimalaus. Pakuroje pasiekus 500°C temperatūrą, mažinama dujinių degiklių apkrova ir pradedamas tiekti papildomas biokuras į katilo pakurą. Dujiniai degikliai atjungiami, kai biokuro degimas pakuroje tampa stabilus, o kuro tiekimas į pakurą siekia apie 1,5 tne/val. Šaltos būsenos garo katilo paleidimas iki nominalios galios parametrų pasiekimo trunka apie 17-18 val.

Garo katilo stabdymas vykdomas palaipsniui, keliais etapais. Kūrykla aušinama lėtai ir tolygiai, priverstinai netiekiant didelių kiekių šalto oro. Jei atsiranda būtinybė, vidutinės spartos aušinimui naudojamos dūmsiurbės. Stabdant kūryklos darbą iki minimalios apkrovos mažinamas medžio skiedrų tiekimas į kuro tiekimo sistemą.



4.6 pav. Garo katilo stabdymas.

Dar nesibaigus medžio skiedrų degimui pakuroje, paleidžiami dujiniai degikliai. Tuo metu kuro tiekimo oro ventiliatoriaus našumas sumažinamas 15 %, kad būtų aušinama kuro tiekimo sistema, taip pat mažinamas paduodamo oro slėgis, kad būtų galima valdyti pirminio oro užsklandas. Paleidus dujinius degiklius, jų galia nustatoma rankiniu būdu. Sudegus medžio skiedroms, stabdomas kuro tiekimo oro srautas, bet tik tuo atveju kai ant ardyno visiškai nebelieka kuro.



4.7 pav. Garo katilo temperatūros kitimo grafikas stabdymo metu.

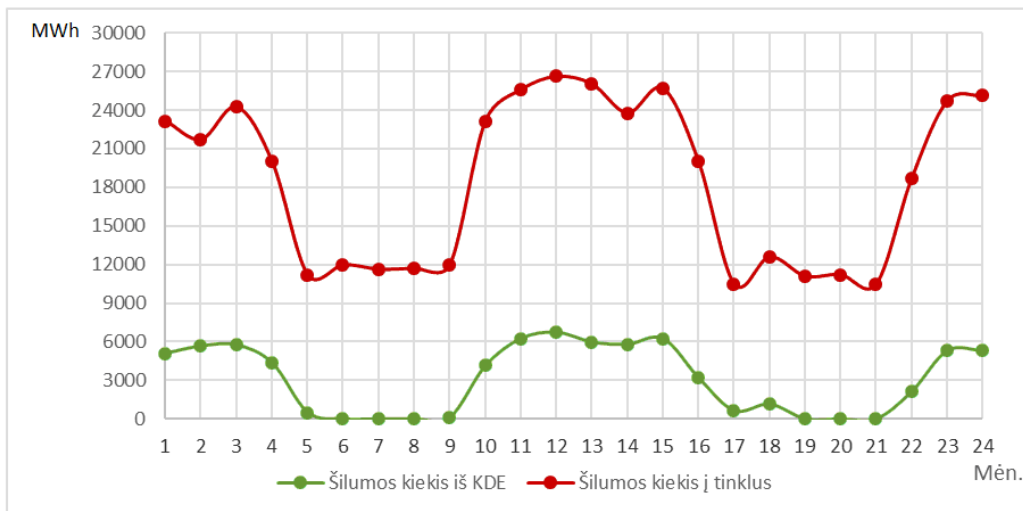
Katilo ir pakuros aušinimas valdomas palaipsniui mažinant degiklių apkrovą, o temperatūros mažėjimo greitis – atsižvelgiant į ugniai atsparaus sluoksnio vėsimą – neturi viršyti 100°C/val., kai katilo ir pakuros temperatūra yra didesnė nei 600°C, arba 60°C/val., kai temperatūra yra mažesnė nei 600°C. Temperatūrai pakuroje nukritus žemiau 200°C, nuosekliai stabdomi:

- šlako transportavimo sistema;
- dujiniai degikliai;
- oro ventiliatoriai;
- maitinimo vandens siurbiai;
- dūmsiurbės.

Sustabdžius degiklius, uždaromos visos pirminio ir antrinio oro užsklandos. Dūmsiurbės paliekamos veikti, kol temperatūra pakuroje nenukrenta iki 40-50°C. Jei būtina, pilnai sustabdžius ir ataušinus garo katilą ir pakurą, atliekama apžiūra.

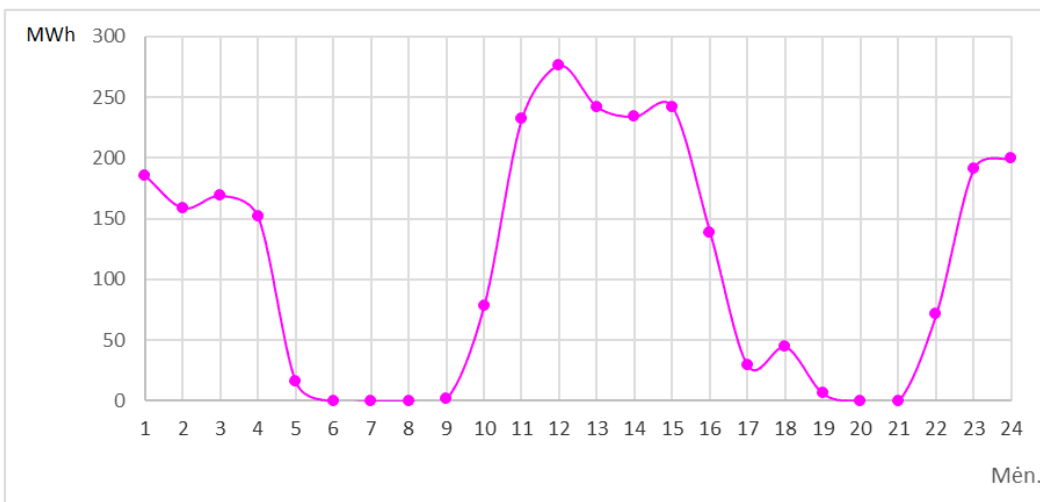
### 4.3 Pagaminama šilumos energija

Biokuro termofikacinė elektrinė per metus pagaminama apie 260 GWh šiluminės energijos. Naudojant didelio drėgnumo biokurą, reikalingi dideli šilumos kiekiai išgarinant drėgmę iš biokuro degimo metu, dėl to prarandama dalis šiluminės energijos. Dūmų kondensacijos šilumai išnaudoti, kogeneracinėje elektrinėje naudojami kondensaciniai dūmų ekonomizeriai, kuriais papildomai išgaunama apie 39 GWh šiluminės energijos.



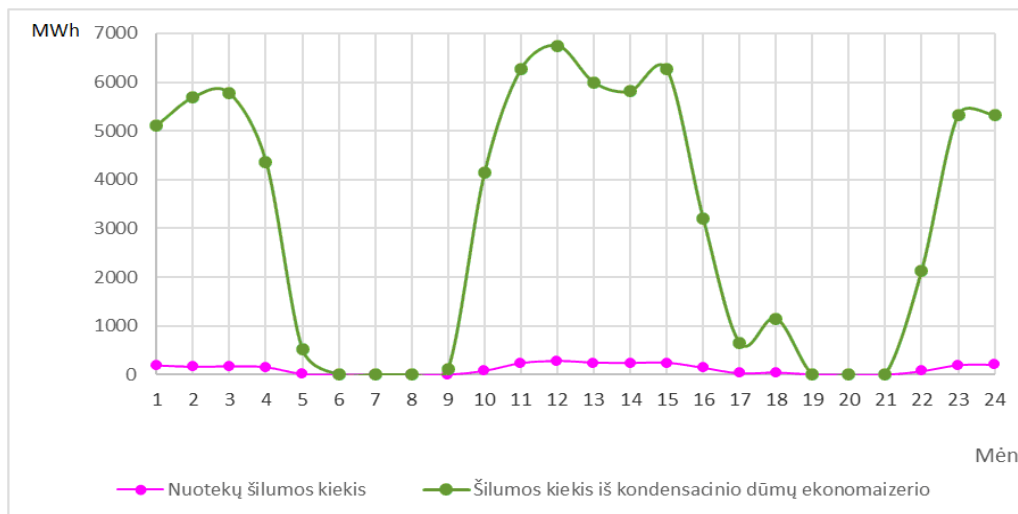
4.8 pav. Šiluminės energijos kiekiai.

Naudojant kondensacinį dūmų ekonomizerį išgaunama nuo 20 % iki 30 % šiluminės energijos, kuri panaudojama pašildyti grįžtantį termofikacinį vandenį. Tokiu būdu ataušinami dūmai, kurių pradinė temperatūra 142°C, o po kondensacinio dūmų ekonomizerio - 46°C. Šios įrangos pagalba sumažinama tarša kietosiomis dalelėmis bei papildomai išgaunama šiluma. Tačiau naudojant kondensacinį dūmų ekonomizerį susidaro atliekinės nuotekos, kurių vidutinė temperatūra svyruoja apie 40-42°C. Šios atliekinės nuotekos arba kitaip kondensatas nuo kondensacinio dūmų ekonomizerio, ataušinami kaloriferiuose, perteklinę šilumą išmetant į aplinką, o dalį panaudojant elektrinės pastato šildymui.



4.9 pav. Šilumos kiekis iš kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų.

Nuotekų iš kondensacinio dūmų ekonomizerio šiluminis potencialas per metus siekia apie 1,300 GWh. Priimant, kad nuotekos gan aukštos temperatūros, jas būtų galima panaudoti termofikacinio vandens pašildymui po kondensacinio dūmų ekonomizerio, panaudojant šilumos siurblio technologiją. Nuotekos susidaro 9 mėn. per metus, išskyrus vasaros sezoną, kai kondensacinis dūmų ekonomizeris būna atjungtas. Vidutinis valytų nuotekų kiekis siekia apie 5-7 m<sup>3</sup>/h, priklausomai nuo kondensacinio dūmų ekonomizerio galios.



4.10 pav. Kondensacinio dūmų ekonomizaizerio nuotekų šilumos kiekio ir išgaunamo šilumos kiekio lyginimasis grafikas.

Iš grafiko (Žr. 4.10 pav.) matome, kad šilumos kiekis su nuotekomis, išleidžiamomis į miesto nuotekų tinklus lyginant su šilumos kiekiu išgaunamu su kondensaciniu dūmų ekonomizaizeriu yra ženkliai mažesnis. Tačiau išnaudojant šiuos šilumos kiekius esančius nuotekose, būtų įmanoma sugeneruoti papildomą šiluminės energijos kiekį, nenaudojant didesnio kiekio kuro. Tokiu atveju būtų galima panaudoti šilumos siurblio technologiją, kuriuo būtų išnaudojamas šiluminis nuotekų potencialas bei taip padidinanamas kondensacinio dūmų ekonomizaizerio šiluminis efektyvumas.

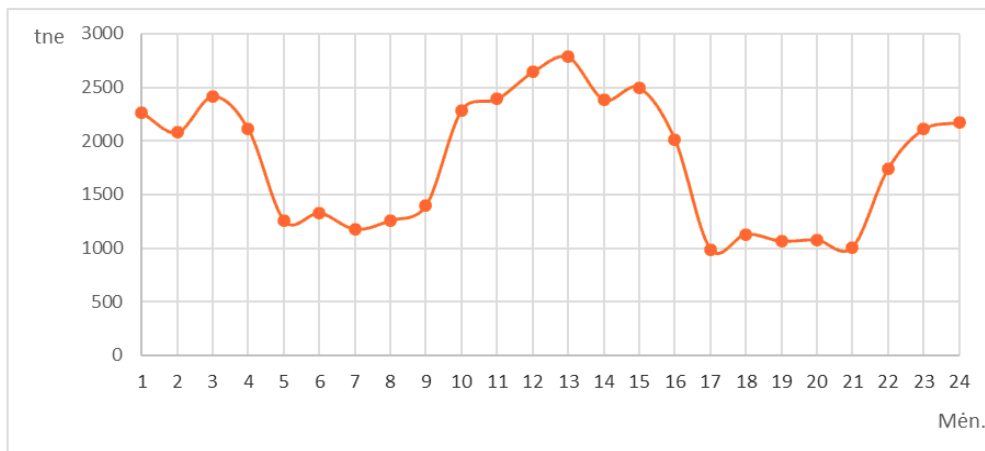
#### 4.4 Kuro sunaudojimas

Biokuro termofikacinėje elektrinėje per metus sudegina apie 110000,00 t biokuro ir apie 40000,00 m<sup>3</sup> gamtinių dujų. Dujos naudojamos garo katilo pradiniam užkūrimui ir degimo proceso stabilizavimui. Katilo destabilizavimą iššaukia įvairūs veiksniai, susiję su technologiniais nesklandumais ir tiekiamo kuro kokybe. Dažniausiai pasitaikančios destabilizavimo priežastys, eksploatuojant biokuro termofikacinę elektrinę yra šios:

- Skirtingas kuro mišinio kaloringumas ir drėgmės kiekis;
- Didelis kietųjų priemaišų, smėlio, dirvožemio, akmenų ir kt. kiekis kure;
- Kuro transporterių užsikimšimas;
- Įvairaus pobūdžio avarijos perkeliant kurą iš autotransporto į kuro sandėlį;
- Užsikimšantis pakuros ardymo oro tiekimo skylutės metalo priemaišomis;
- Nepastovus vartotojų šilumos poreikis vasaros laikotarpiu.

Dėl šių priežasčių be gamtinių dujų deginimo, garo katilo darbas tampa stipriai svyruojantis, ko pasekoje susidaro komplikotos situacijos, siekiant išlaikyti darbinis garo katilo parametrus. Nelikviduojant garo katilo destabilizavimo priežasties, susidaro palankios sąlygos garo katilo užgesimui.

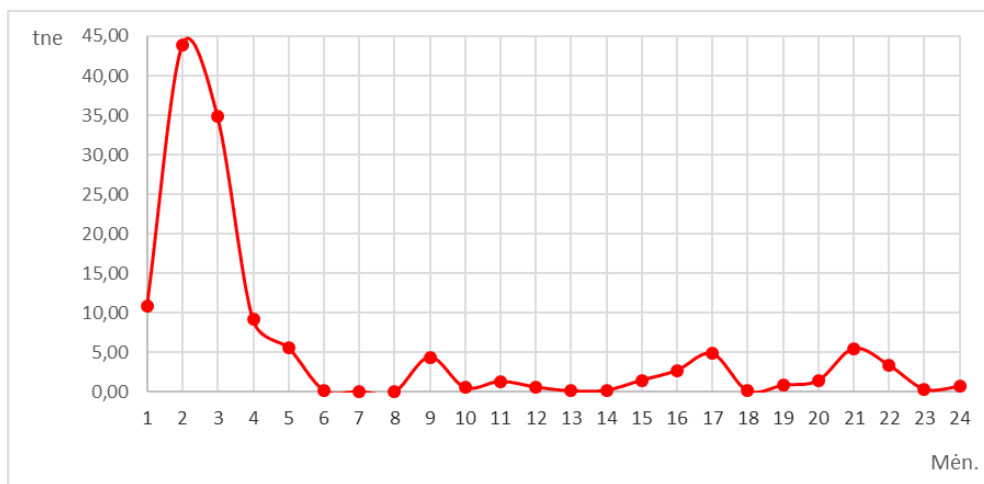
Kuro sunaudojimas garo katile priklauso nuo šilumos vartotojų. Šildymo sezono metu garo katilas apkraunamas pilna galia, taip generuojant maksimalų elektros energijos kiekį turbogeneratoriuje, perteklinę šilumą tiekiant šilumos vartotojams, o vasarą garo katilas apkraunamas pagal vartotojų šiluminį poreikį.



4.11 pav. Biokuro sąnaudos dviejų metų laikotarpyje.

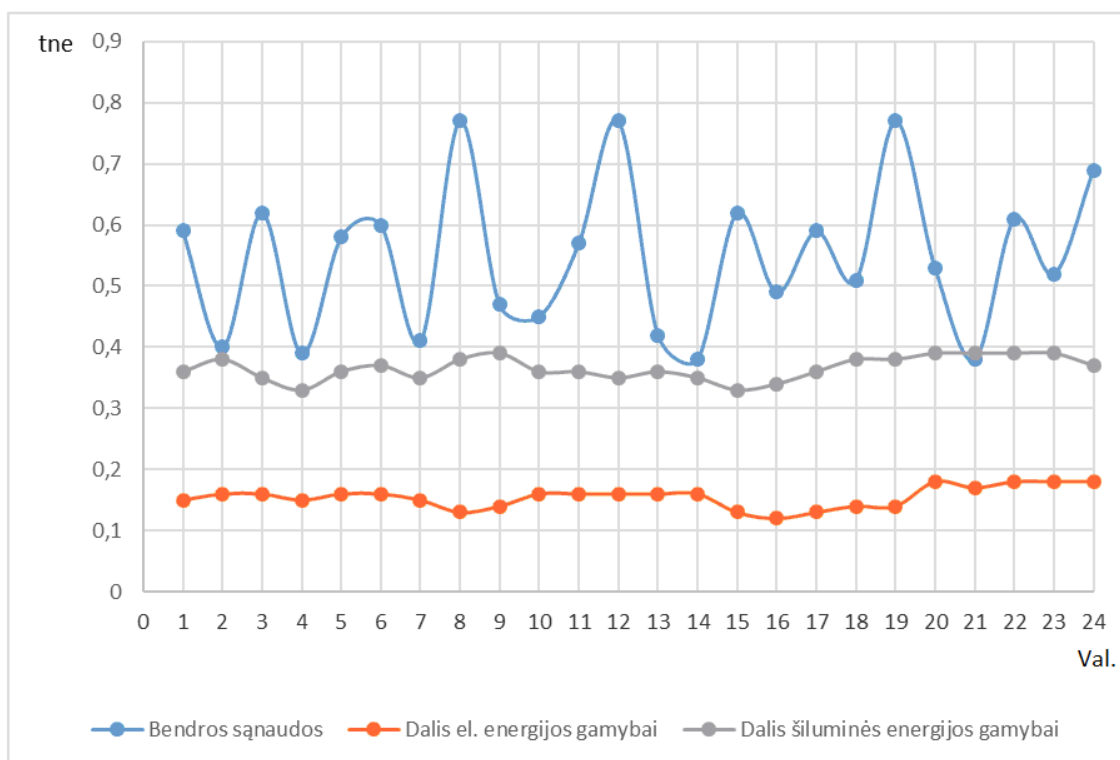
Iš grafiko pateikto 4.11 pav. matome, kad didžiausias biokuro sunaudojimas elektrinėje yra šildymo sezono metu, gruodžio ir sausio mėnesiais, kai garo turbina apkraunama pilna galia, o šiluma tiekama vartotojams. Biokuro sunaudojimas vasarą krenta du kartus. Tam didžiausią įtaką turi sumažėjęs šilumos vartotojų poreikis, pagal kurį reguliuojama garo katilo apkrova ir turbogeneratoriaus darbas. Dėl to sumažėja bendras ciklo efektyvumas ir pagaminama mažiau elektros energijos.

Tuo pačiu laikotarpiu į garo katilą tiekiamos gamtinės dujos, kurių sunaudojimas stipriai kintantis visame 24 mėn. duomenų registravimo laikotarpyje. Čia reiktų pabrėžti, jog dėl biokuro tiekėjų tiekiamo prasto, žemos kokybės biokuro, dviejų mėnesių dujų sąnaudos padidėjo 9 kartais.



4.12 pav. Gamtinių dujų sunaudojimas.

Kiekvienais metais, gegužės ir rugsėjo mėnesiais, biokuro termofikacinėje elektrinėje išauga gamtinių dujų sunaudojimas. Padidėjusio sunaudojimo priežastis yra kasmetiniai vykdomi hidrauliniai šilumos trasų bandymai Šiaulių mieste, kurių metu trasos išbandomos 2 MPa slėgiu. Taip tikrinamas šilumos trasų stiprumas pasibaigus šildymo sezonui ir prieš pradėdant šildymo sezoną. Atliekant šiuos bandymus, stabdomas šilumos ir elektros energijos generavimas biokuro termofikacinėje elektrinėje ir septynių dienų laikotarpyje atliekami būtiniausi eksploataciniai remontai ir įrangos atnaujinimai. Gamtinių dujų sunaudojimas sumažėja vasaros laikotarpiu, kai iš biokuro tiekėjų gaunamas sausesnis ir kaloringesnis biokuras, kurio degimas viso proceso metu išlieka stabilus ir mažai kintantis. Deginant prastos kokybės biokurą, katilas palaipsniui gęsta, tokiu atveju automatika gauna komandą didinti gamtinių dujų kiekį. Jei situacija nepasitaiso ir aukštesnis degimo laipsnis nepasiekiamas, automatika uždega gamtinių dujų degiklius pilna galia.

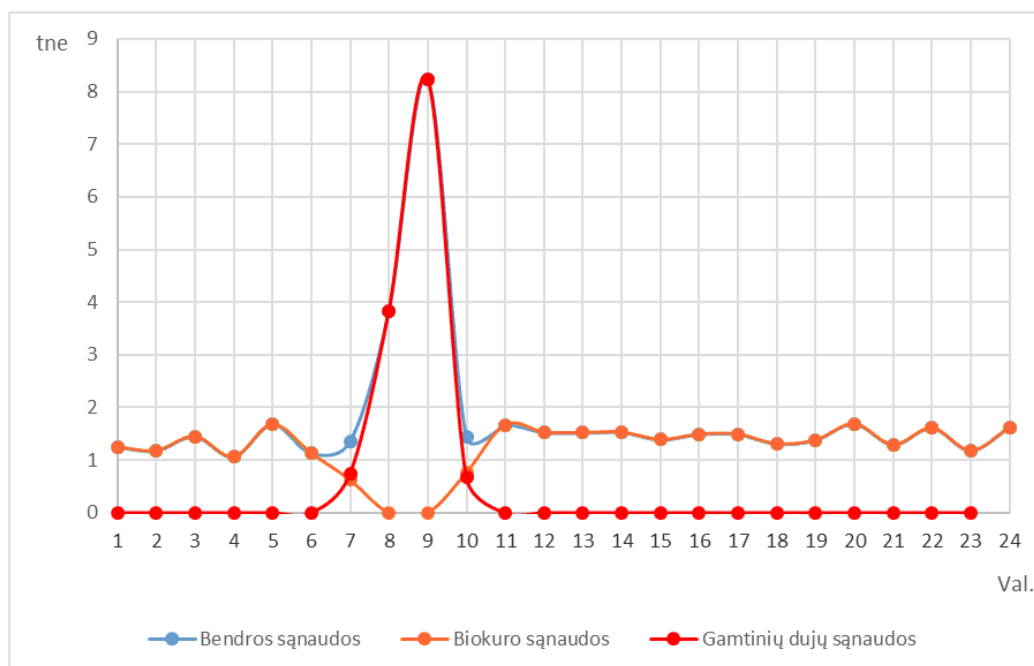


4.13 pav. Paros kuro sąnaudos biokuro termofikacinėje elektrinėje.

Grafike (žr. 4.13 pav.) nurodytos biokuro termofikacinės elektrinės vasaros laikotarpio biokuro sąnaudos. Elektrinė šiuo laiko tarpu dirba pagal vartotojų šilumos poreikius. Pagal bendrą kuro sunaudojimą elektrinėje matome, kad šilumos vartotojų poreikiai dienos eigoje yra nepastovūs ir svyruojantys, kas atitinkamai įtakoja ir bendras kuro sąnaudas biokuro termofikacinėje elektrinėje. Didžiausios kuro sąnaudų svyravimų amplitudės susidaro kiekvienos darbo dienos 7-8 val. ryte, kai dauguma šilumos vartotojų ruošiasi į darbą, mokyklas ir t.t., taip pat apie 12-13 val., kai namo grįžta dauguma moksleivių ir 18-19 val., kai gyventojai grįžta iš darbo. Šie fiziologiniai vartotojų poreikiai daro didžiausią įtaką eksploatuojant elektrinę vasaros laikotarpiu. Dėl to kintančia amplitudė destabilizuojama garo katilo apkrova, o garo turbinos



galia tampa nepastovi. Taip didėja įrangos dėvėjimasis, trumpėja elektrinės įrenginių numatytas eksploataavimo laikas, didėja išlaidos remontui.



4.14 pav. Kuro sąnaudų grafikas, sutrikus biokuro tiekimui.

Susidarius situacijoms, kai sutrinka biokuro tiekimasis į garo katilo pakuros tarpinį bunkerį ir biokuro tiekimui sumažėjus 10 %, elektrinės automatika atitinkamai pagal mažėjantį patenkančio biokuro kiekį į pakurą, užkuria gamtinių dujų degiklius, siekiant išlaikyti temperatūrinius parametrus garo katile. Biokuro tiekimui sumažėjus >50 %, stabdomas biokuro tiekimasis ir avariniu būdu nutraukiamas automatizuoto biokuro sandėlio darbas. Sustabdžius sandėlio darbą, automatika siunčia signalą gamtinių dujų degikliams dirbti pilna galia, kaip matoma aukščiau pateiktame grafike (žr. 4.14 pav.). Tokiais atvejais operatyvinis personalas siunčiamas rankiniu būdu pašalinti sutrikimus. Praktikoje dažniausiai pasitaikantys biokuro transporterių ir pakuros tarpinio bunkerio užsikimšimai. Šie sutrikimai pašalinami per 1-3 val. Dėl technologinių netobulumų, sutrikimai pasikartoja viena kartą per dvi savaites.

## 5. BIOKURO KOGENERACINĖS ELEKTRINĖS PLĖTOJIMAS

### 5.1 Šilumos akumulavimo sistema

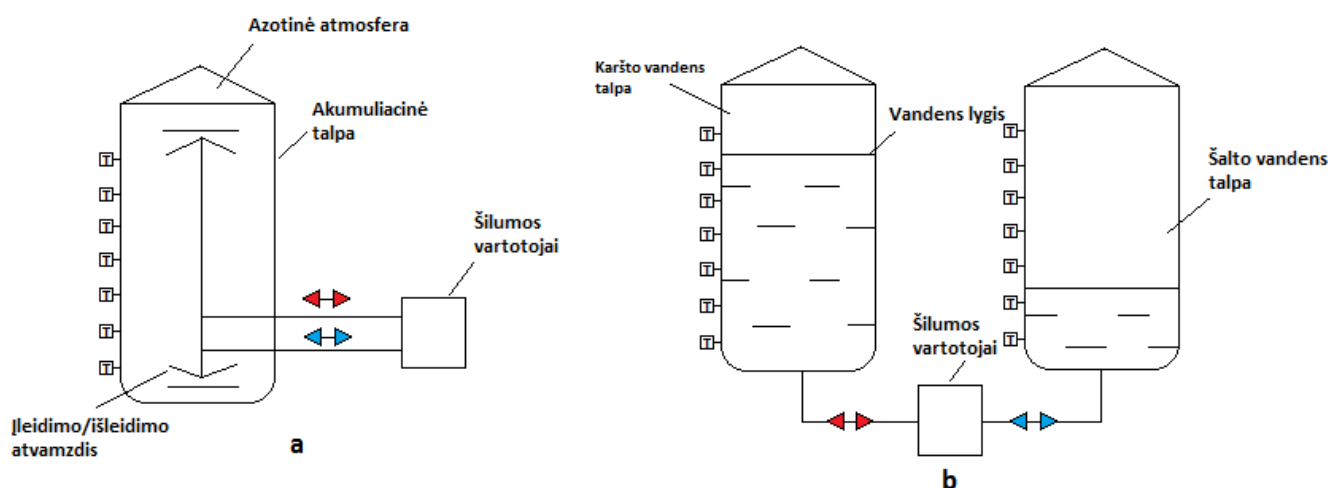
Šilumos akumulavimo sistemos plačiai paplitusios Skandinavijos šalyse, kur naudojamos kartu su centralizuoto šilumos tiekimo sistemomis. Integruotose šilumos akumulavimo talpose kaupiamas perteklinis šilumos kiekis, kuris panaudojamas šilumos energijos pikų dengimui bei taip pat jų pagalba sprendžiami dauguma kitų technologinių uždavinių, susijusių su šilumos ir elektros energijos generavimu. Šiuo atveju pagrindinės šilumos akumulavimo sistemų funkcijos yra:

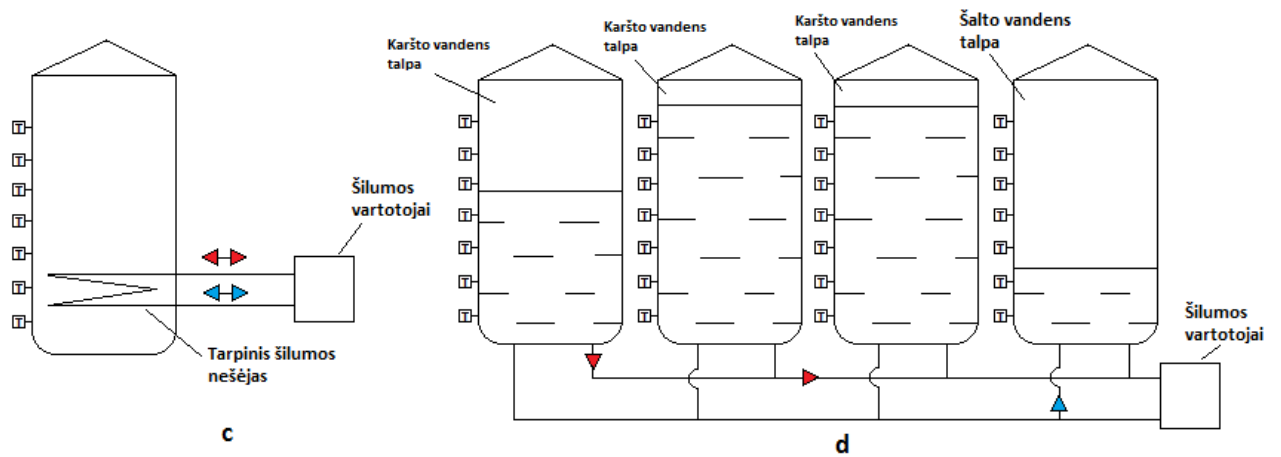
- šilumos poreikių svyravimų balansavimas;
- šiluminių trasų papildymas hidraulinių bandymu metu;
- šilumos pikų dengimas, papildomai nereguliuojant turbogeneratorių ir garo katilo apkrovos;
- vamzdynų statinio slėgio palaikymas.

Praktikoje naudojamos skirtingų konstrukcinių tipų akumuliacinės talpos. Pagal savo konstrukciją talpos skirstomos į:

- Dviejų kontūrų;
- Trijų ir daugiau kontūrų;
- Kintančios temperatūros;
- Atskirto srauto.

Dviejų kontūrų sistemose, karštas vanduo kaupiamas vienoje talpoje, o grįžtantis šaltas vanduo iš šilumos tiekimo tinklų – kitoje talpoje. Analogiškas veikimas ir trijų ar daugiau kontūrų turinčiose sistemose, kurių talpa priklauso nuo karšto ir šalto vandens kiekio. Kintančios temperatūros talpos pripildytos šilumą gebančios kaupti medžiagos su tankiai išdėstytais šilumokaičiais. Atskirto srauto talpose karštas vanduo kaupiamas viršutinėje talpos dalyje, o šaltas vanduo apatinėje.





5.1 pav. Principinės šilumos akumuliacijos talpų schemos. a – atskirto srauto, b – dviejų kontūrų, c- kintančios temperatūros, d – trijų ir daugiau kontūrų. [16]

Plačiausiai naudojamas akumuliacinių talpų tipas – atskirto srauto. Tokio tipo sistemose naudojama vieno korpuso talpa, kurioje maksimaliai sumažinamas reikalingas termofikacinio vandens tūris sistemos eksploatavimui. Tokio tipo akumuliacinėse talpose vykdant įkrovimą, karštas termofikacinis vanduo tiekiamas į talpos viršų, o šaltas vanduo iš apatinės talpos dalies paduodamas į grįžtančio termofikacinio vandens magistralę. Akumuliacinės talpos iškrovimo atveju, kai sukauptas šilumos kiekis atiduodamas šilumos vartotojams, karštas termofikacinis vanduo iš viršutinės talpos dalies paduodamas į tiekiamo karšto vandens magistralę vartotojams, tuo pačiu talpą prisipildant grįžtančiu, šaltu termofikaciniu vandeniu. Dėl skirtingo karšto ir šalto vandens tankio išvengiama skirtingų temperatūrų vandens persimaišymo talpos tūryje. Talpų efektyvumas krenta, kai susidaro dideli šilumos nuostoliai į aplinką per atitvaras. Kuo didesni šilumos nuostoliai į aplinką, tuo didesnis, skirtingų temperatūrų, vandens persimaišymas. Mažinant karšto termofikacinio vandens šilumos nuostolius dėl maišymosi su šalto vandens sluoksniu, naudojami srautą reguliuojantys įtaisai, kuriais mažinamas įtekančio ir ištekančio vandens greitis iki kelių metrų per sekundę, taip skystį paskirstant po visą akumuliacinės talpos skerspjūvį. Esant 0-100°C darbinei temperatūrai, vanduo yra efektyviausias skystis, naudojant akumuliacijos sistemas, tiek pagal savo fizikines ir šilumines savybes, tiek pagal prieinamumą. Tolimesnis darbinės temperatūros didinimas susijęs su reikšmingu slėgio augimu, kas padidina naudojamų konstrukcijų ir pačios akumuliacinės talpos kainą. [16]

Biokuro termofikacinės elektrinės su šilumos akumuliacijos talpa, techninis eskizas pateiktas A Priede.

### 5.1.1 Šilumos akumuliacijos sistemų įkrovos

Šilumos akumuliacijos talpose naudojamos skirtingo tipo šilumą akumuliuojančios įkrovos, priklausomai nuo akumuliacinės talpos tipo, reikalingo akumuliuojamo šilumos kiekio, sezoniško ir kitų duomenų. Supaprastintiems skaičiavimams pasirenkamos trys skirtingos įkrovos:

- Vanduo;
- Akmens skalda;
- Keraminės plytos.

Palyginimui pateikiamos šių medžiagų fizikinės savybės, kurios įtakoja šilumos akumuliacijos talpos efektyvumą, dydį, darbo režimus.

5.1 lentelė. Medžiagų fizikinės savybės.[1]

| Medžiaga         | Tankis, $\rho$    | Specifinė šiluma, $c_p$ | Šilumos laidumo koef., $\lambda$ |
|------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                  | kg/m <sup>3</sup> | kJ/(kg·K)               | W/(m·K)                          |
| Vanduo           | 1000              | 4,19                    | 0,551                            |
| Akmens skalda    | 2800              | 0,92                    | 3,5                              |
| Keraminės plytos | 1800              | 0,84                    | 0,88                             |

Pagal turimas medžiagų fizikines savybes, apskaičiuojamas šilumos kiekis, kurį galime akumuliuoti 1 m<sup>3</sup> įkrovos. Užsiduodame pradines, orientacines paduodamo ir grįžtamo termofikacinio vandens temperatūras:

- Paduodamo į šilumos akumuliacijos talpą termofikacinio vandens temperatūra  $t_2=70^\circ\text{C}$ ;
- Grįžtamo termofikacinio vandens temperatūra  $t_1=40^\circ\text{C}$ .

Pradinis skaičiavimas atliekamas pasinaudojant šilumos perdavimo lygtimi. Apskaičiuojamas šilumos kiekis akumuliuojamas vandens 1 m<sup>3</sup> įkrovoje:

$$Q_1 = c_p \cdot G \cdot (t_2 - t_1) = c_p \cdot V_1 \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1) = 4,19 \cdot 1,0 \cdot 976,6 \cdot (70 - 40) = 122758,62 \text{ kJ}; \quad (5.1)$$

Čia:

$Q$  – šilumos kiekis, kJ;

$c_p$  - specifinė šiluma, kJ/m<sup>3</sup>·K;

$t_2$  - paduodamo vandens temperatūra, K;

$t_1$  - įkrovos temperatūra, K;

$V_1$  - įkrovos tūris, m<sup>3</sup>;

$\rho$  - įkrovos tankis, m<sup>3</sup>/kg.

Gavus, jog 1 m<sup>3</sup> vandens įkrovoje galima akumuliuoti 122758,62 kJ šilumos energijos, vertė perskaičiuojama į kilovatvalandes ir apskaičiuojama, kokia vandens įkrova  $V_2$  reikalinga akumuliuoti  $Q_2 = 1 \text{ MWh}$  šilumos.

$$V_2 = \frac{3600 \cdot Q_2 \cdot V_1}{Q_1} = \frac{3600 \cdot 1000 \cdot 1,0}{122758,62} = 29,33 \text{ m}^3; \quad (5.2)$$

Iš gautų rezultatų galima teigti, kad naudojant vandenį, kaip šilumos įkrovą, įkrovos tūris, sukaupti 1 MWh šiluminės energijos, turėtų būti 29,33 m<sup>3</sup>. Šilumos akumuliacinio įkrovų skaičiavimų rezultatai, su skirtingomis įkrovos medžiagomis pateikiami tolimesnėje lentelėje.

5.2 lentelė. Šilumos akumuliacinio talpos įkrovų šiluminis potencialas.

| Medžiaga         | Šilumos kiekis<br>sukaupiamas 1m <sup>3</sup> įkrovos |       | Įkrovos tūris, 1MWh<br>šilumos sukaupti |
|------------------|---|-------|---|
|                  | kJ  | kWh   | m <sup>3</sup>                          |
| Vanduo           | 122758,62   | 34,10 | 29,33                                   |
| Akmens skalda    | 77280,00  | 21,47 | 46,58                                   |
| Keraminės plytos | 45360,00  | 12,60 | 79,36                                   |

Apskaičiavus šilumos akumuliacinio talpų įkrovų šiluminį potencialą, galime daryti prielaidą, jog efektyviausia šilumos įkrova būtų vanduo, dėl sekančių priežasčių:

- Palyginus su kitomis medžiagomis, reikalingas 2-3 kartus mažesnis įkrovos tūris, sukaupti 1 MWh šiluminės energijos;
- Mažesnis įkrovos tūris sumažina statybos kaštus ir ploto užstatymą;
- Praktiškas ir paprastas apsirūpinimas vandeniu bei didelis prieinamumas.

Šilumos akumuliacinio talpos tūris parenkamas įvertinant šilumos vartotojų poreikius žiemos ir vasaros sezono metu. Didžiausias šilumos poreikis fiksuojamas šalčiausių metų dieną. Tuomet biokuro termofikacinė elektrinė apkraunama pilna galia, o pagaminamos šiluminės energijos poreikis būna maksimalus ir siekia 40,44 MWh. Vidutinis metinis šiluminės energijos poreikis iš biokuro termofikacinės elektrinės - 35,00 MWh. Supaprastintu skaičiavimu, šilumos akumuliacinio talpos tūris, naudojant vandens įkrovą, apskaičiuojamas:

$$V_3 = Q_3 \cdot V_2 = 35,00 \cdot 29,33 = 1026,55 \text{ m}^3; \quad (5.3)$$

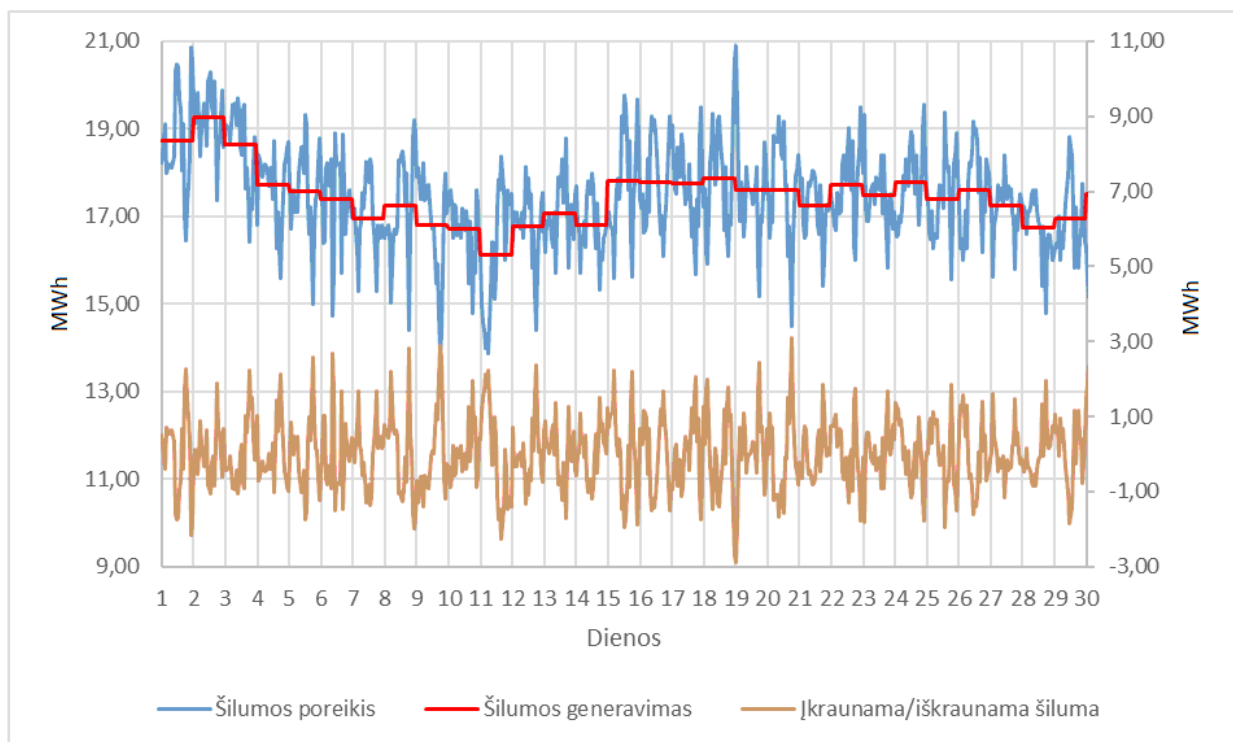
Tokiu atveju minimalus šilumos akumuliacinio talpos tūris, vertinant vandens įkrovos tūrį kaupiant 1 MWh šiluminės energijos ir metinius vidutinius šilumos poreikius iš biokuro termofikacinės elektrinės, turėtų būti nemažesnis už 1027m<sup>3</sup>. [23]

### 5.1.2 Kogeneracinės elektrinės su šilumos akumuliacinio talpa eksploatavimo vertinimas

Kintant šilumos vartotojų poreikiams, šilumos akumuliacinio sistemos sudaro sąlygas subalansuoti ir išlyginti šilumos generavimo įrenginių darbą. Priimamas režimas, kad kogeneracinės elektrinės garo katilas, turbina, ir kt. įrenginiai dirba pastoviu apkrovimu vasaros sezono metu, o šilumos akumuliacinio talpoje sukauptas šilumos kiekis pilnai išnaudojamas per vieną parą. Toks pasirinkimas atliktas tam, kad būtų kuo mažiau reguliuojama energetinių įrenginių galia, o elektros energijos generavimas taptų pastovus. Vertinimui pasirenkami 2014m. birželio mėn. elektrinės ir šilumos tinklų apkrovimo duomenys. Nustatomi tolimesni kriterijai, t.y. elektros energija generuojama pagal vartotojų šiluminės energijos poreikius ir stengiamasi

kuo ilgesnį laiko tarpą išlaikyti pastovų šilumos generavimo režimą. Šilumos generavimo, pritaikant šilumos akumuliacijos talpą, analizės supaprastintų skaičiavimų lentelė pateikiama D Priede.

Vartotojų valandiniai šilumos poreikiai vasaros sezono metu svyruoja apie 18-21 MWh, priklausomai nuo paros laiko. Vertinant šilumos akumuliacijos talpos darbo režimus, užsibrėžiama paros vidutinė galia, reikalinga vartotojų šiluminiais poreikiams padengti. Tokiu atveju perteklinis šilumos kiekis, esant minimaliam vartotojų poreikiui, tiekiamas į šilumos akumuliacijos talpą, o išaugus šilumos poreikiams, nekeičiant jėgainės apkrovos, šiluma tiekama iš akumuliacijos talpos. Iš 5.2 pav. matyti, kad biokuro termofikacinės elektrinės galia, šilumą generuojant pastoviu darbo režimu, kinta šuoliškai. Pakeitus jėgainės galią, ji nekeičiama artimiausias 24 valandas. Toks jėgainės galios kitimas sąlygoja energetinio garo katilo ilgaamžiškumą, mažina šilumos nuostolius dažnai keičiant katilo galią ir lengvina operatorių bei aptarnaujančio personalo darbą.



5.2 pav. Vasaros sezono (birželio mėn.) jėgainės šilumos generavimo režimai.

Kitų vasaros sezono mėnesių šilumos akumuliacijos talpos darbo režimai praktiškai identiški. Talpoje akumuliuojamas pastovus tam tikras šilumos kiekis ir jis iškraunamas arba papildomas priklausomai nuo šilumos poreikių. Šilumos akumuliacijos talpa pilnai iškraunama tuo atveju, jei stipriai padidėja šilumos poreikis. Jei akumuliacijos talpa pilnai neiškraunama, tuomet mažinamas kogeneracinėje elektrinėje generuojamas šilumos kiekis nakties metu, kad būtų pilnai išnaudota akumuliuota šiluma iš talpos.

Šilumos akumuliacijos talpos, naudojamos pertekliniam šilumos kiekiui kaupti, šilumos tiekimo sistemų patikimumo užtikrinimui ir katilų darbo svyravimų išlyginimui, yra netiesiogiai

atsiperkantis sprendimas. Vertinant tai, kad biokuro termofikacinėje elektrinėje įdiegus šilumos akumuliacijos talpą būtų išvengiama pastovaus, energetinio garo katilo našumo reguliavimo, dažno ir greito galios didinimo ir mažinimo ir gaunama papildomo termofikacinio vandens atsarga, techniniu požiūriu - talpa suteikia didelį privalumą prieš panašias energetines sistemas, eksploatuojamas be šilumos akumuliacijos talpos.

### 5.1.3 Mazuto rezervuarų panaudojimas akumuliuojant šiluminę energiją

Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės teritorijoje yra pastatyti 6 mazuto rezervuarai. Penki iš jų 2000 m<sup>3</sup>, vienas - 10000 m<sup>3</sup>. Visi rezervuarai iš plieno konstrukcijų su šilumine izoliacija, daugelį metų naudoti rezervinio kuro – mazuto laikymui. Dėl sumažėjusio dujomis ir mazutu kūrenamų katilų skaičiaus, kurį įtakojo mažėjantis šilumos poreikis ir biokuro termofikacinės elektrinės instaliavimas, ženkliai sumažėjo būtino laikyti mazuto kiekiai, kuris naudojamas kaip rezervinis kuras. Dėl šios priežasties du mazuto rezervuarai nebeeksploatuojami. Užkonservuoti vienas 2000 m<sup>3</sup> ir vienas 10000 m<sup>3</sup> rezervuarai. Rezervuarai buvo pilnai išvalyti nuo mazuto 2013m. ir užkonservuoti, paliekant juose esančius šilumokaičius, skirtus mazuto šildymui ir visą likusią armatūrą.



5.3 pav. Mazuto rezervuaro talpos.

Analizuojama galimybė mazuto rezervuarus panaudoti kaip akumuliacines šilumos talpas, kuriose būtų akumuliuojamas perteklinis šilumos kiekis iš termofikacinės elektrinės, įvertinant jų šilumines savybes, gebėjimą kaupti šiluminę energiją ir šilumos nuostolius į aplinką per atitvaras.

### 5.1.4 Mazuto rezervuarų šilumos nuostoliai

Nagrinėjamas 2000 m<sup>3</sup> talpos mazuto rezervuaras. Rezervuaras nebenaudojamas, pilnai išvalytas nuo mazuto likučių ir užkonservuotas be tolimesnės naudojimo paskirties. Rezervuaro plienines laikančiąsias konstrukcijas sudaro lakštinis plienas. Sienos sudarytos iš 64 atskirų lakštų, kurių vieno išmatavimai yra 6000x1500mm. Rezervuaro sienos aukštis suskirstytas į 8

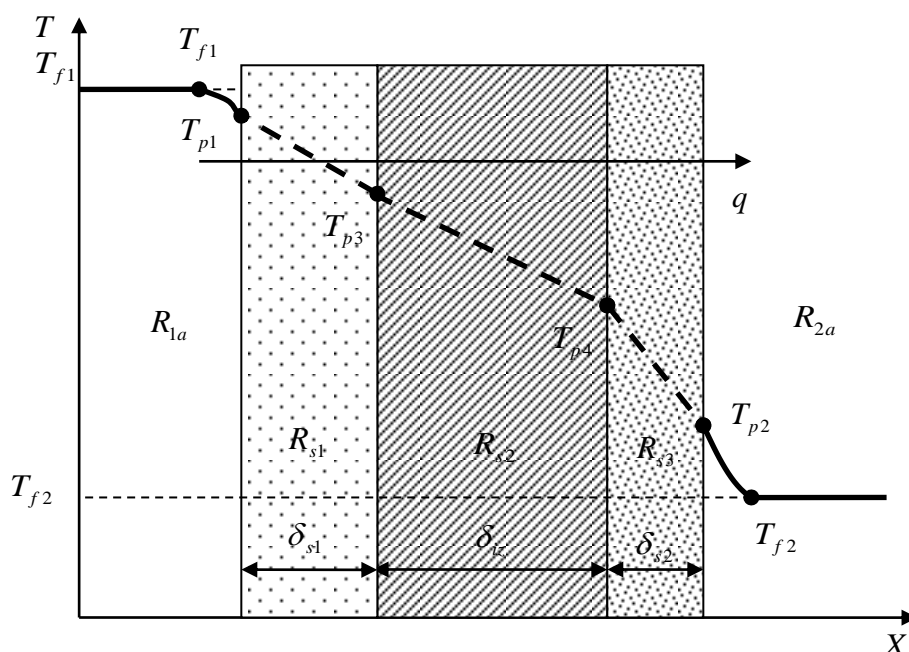
lygius. Dėl laikomo skysčio didelio tūrio ir susidarančios spaudimo jėgos žemiausiuose rezervuaro taškuose, atsiranda galimybė rezervuaro sienoms trūkti esant didesnei nei nustatytai sienelių apkrovos ribai.



5.4 pav. Rezervuaro siena.

Dėl šios priežasties pirmo ir antro lygių plieno plokštės yra 8mm storio, visų likusių šešių lygių plieno plokščių storis – 6mm. Stogo plieno plokščių storis – 6mm. Rezervuaro standumo ir stiprumo rėmas sumontuotas viduje. Visa konstrukcija apšiltinta 100mm storio akmens vata. Siekiant apsaugoti šiluminę izoliaciją nuo aplinkos poveikio, rezervuaras apskardintas 0,5 mm storio nerūdijančio plieno skarda, stogas - 0,7mm storio.

Siekiant įvertinti rezervuaro sienų terminę varžą, atliekami sekantys skaičiavimai. Nubraižomas izoliuotos rezervuaro sienos temperatūros lauko kitimo schematinis brėžinys, priimant, kad lauko temperatūra 10°C.



5.5 pav. Schematinis izoliuotos rezervuaro sienos temperatūros lauko kitimo brėžinys.



Priimant, kad plieno šilumos laidumo koeficientas  $\lambda_{s1} = 34,50 W / (m \cdot K)$  [17], akmens vatos -  $\lambda_{s2} = 0,039 W / (m \cdot K)$  [18], nerūdijančio plieno -  $\lambda_{s3} = 0,039 W / (m \cdot K)$  [19], apskaičiuojama rezervuaro sienos terminė varža:

$$R_{s1} = \frac{\delta_{s1}}{\lambda_{s1}} = \frac{0,008}{34,50} = 0,00023 \frac{m^2 \cdot K}{W}; \quad (5.4)$$

$$R_{s2} = \frac{\delta_{s2}}{\lambda_{s2}} = \frac{0,10}{0,039} = 2,56410 \frac{m^2 \cdot K}{W}; \quad (5.5)$$

$$R_{s3} = \frac{\delta_{s3}}{\lambda_{s3}} = \frac{0,0005}{16,00} = 0,000031 \frac{m^2 \cdot K}{W}; \quad (5.6)$$

$$R_{s\Sigma} = R_{s1} + R_{s2} + R_{s3} = 0,00023 + 2,56410 + 0,000014 = 2,5644 \frac{m^2 \cdot K}{W}. \quad (5.7)$$

Priimame, kad  $Pr_f / Pr_p = 1$ , o vidutinis metinis vėjo greitis Šiaulių rajone siekia  $W = 2,75 m / s$  [20]. Nustatomas tekėjimo režimas, priimant šoninį vėjo aptekėjimą:

$$Re = \frac{W \cdot l}{\nu} = \frac{2,75 \cdot 12}{14,16 \cdot 10^{-6}} = 2330508,47; \quad (5.8)$$

Esant turbulentiniam tekėjimui, kai  $Re > 10^5$ , Nu kriterijus apskaičiuojamas sekančiai:

$$\begin{aligned} Nu &= 0,037 \cdot Re_f^{0,8} \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_f}{Pr_p} \right)^{0,25} = \\ &= 0,037 \cdot 2330508,47^{0,8} \cdot 0,705^{0,43} \cdot \left( \frac{0,705}{0,705} \right)^{0,25} = 3952,607. \end{aligned} \quad (5.9)$$

Apskaičiuojame šilumos atidavimo koeficientą.

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \rightarrow \alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{3952,607 \cdot 2,512 \cdot 10^{-2}}{12} = 8,274 \frac{W}{m^2 \cdot K}. \quad (5.10)$$

Turėdami šilumos atidavimo koeficientą, galime apsiskaičiuoti terminę varžą.

$$R_{2a} = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{8,274} = 0,121 \frac{m^2 \cdot K}{W}; \quad (5.11)$$

Spėjant vidinės sienos temperatūrą.

$$T_{p1} = 343,145 K. \quad (5.12)$$

Ieškome Graskofo ir Railėjaus kriterijų.

$$T_m = \frac{T_{f1} + T_{p1}}{2} = \frac{343,15 + 343,145}{2} = 343,147 K; \quad (5.13)$$

$$\beta = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{342,147} = 0,002914; \quad (5.14)$$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3 \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{0,002914 \cdot 9,81 \cdot 12^3 \cdot 274,15}{(0,415 \cdot 10^{-6})^2} = 7,84 \cdot 10^{16}; \quad (5.15)$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = 7,84 \cdot 10^{16} \cdot 2,55 = 19,979 \cdot 10^{16}. \quad (5.16)$$

Parenkame b ir n reikšmes pagal dydžių lentelę (literatūra [1] 2.3 lentelė) ir apskaičiuojame Nu kriterijų.

$$b=0,135; \quad n=0.333;$$

$$Nu = b \cdot (Gr \cdot Pr)^n = 0,135 \cdot (7,84 \cdot 10^{16} \cdot 2,55)^{0.333} = 77880,5. \quad (5.17)$$

Apskaičiuojame šilumos atidavimo koeficientą ir terminę varžą  $R_{1a}$ .

$$\alpha_1 = \alpha_m = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{77880,5 \cdot 0,668}{12} = 4335,35 \frac{W}{m^2 \cdot K}; \quad (5.18)$$

$$R_{1a} = \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{4335,35} = 0,00023 \frac{m^2 \cdot K}{W}. \quad (5.19)$$

Turėdami šilumos atidavimo koeficientą, galime apskaičiuoti suminę terminę varžą.

$$R_{\Sigma} = R_{1a} + R_{s\Sigma} + R_{2a} = 0,00023 + 2,5644 + 0,121 = 2,686 \frac{m^2 \cdot K}{W}. \quad (5.20)$$

Šilumos nuostoliai per izoliuotą rezervuaro sieną.

$$q = \frac{\Delta T}{R_{\Sigma}} = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{R_{\Sigma}} = \frac{343,15 - 283,15}{2,686} = 22,341 \frac{W}{m^2}. \quad (5.21)$$

Randame paviršių temperatūras  $T_{p1}, T_{p3}, T_{p2}$ .

$$T_{p1} = T_{f1} - R_{1a} \cdot q = 343,150 - 0,00023 \cdot 22,341 = 343,145K; \quad (5.22)$$

$$T_{p3} = T_{p1} - R_{s1} \cdot q = 343,145 - 0,00023 \cdot 22,341 = 343,140K; \quad (5.23)$$

$$T_{p4} = T_{p3} - R_{s2} \cdot q = 343,140 - 2,5641 \cdot 22,341 = 285,854K; \quad (5.24)$$

$$T_{p2} = T_{p4} - R_{s3} \cdot q = 285,854 - 0,000031 \cdot 22,341 = 285,853K; \quad (5.25)$$

Kontrolė:

$$T_{p2} = T_{f2} + R_{2a} \cdot q = 283,15 + 0,121 \cdot 22,341 = 285,853K. \quad (5.26)$$

Lyginame užsiduotą ir apskaičiuotą  $T_{p1}$ :

$$T_{p1}^{\text{užsiduota}} = T_{p1}^{\text{apskaičiuota}};$$

$$343,145K = 343,145K.$$

Apskaičiuojame rezervuaro sienos plotą iš 8mm storio plieno, kai rezervuaro sienos išsklotinės ilgis  $l=42m$ , o aukštis  $h=12m$ .

$$F = l \cdot h = 42,0 \cdot 12,0 = 504,0m^2; \quad (5.27)$$

Randame šilumos nuostolius per apskaičiuotą sienos plotą.

$$Q = q \cdot F = 22,341 \cdot 504,0 = 11260,16W = 11,26kW. \quad (5.28)$$

5.3 lentelė. Rezervuaro šilumos nuostoliai per atitvaras.

| Siena              |                     |                      |                   |                       |                       |                    |                    |
|--------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| Atitvaros profilis |                     |                      | Paviršiaus plotas | Terminė sienos varža  | Suminė terminė varža  | Šilumos nuostoliai | Šilumos nuostoliai |
| Plienas            | Šiluminė izoliacija | Nerūdijantis plienas |                   |                       |                       |                    |                    |
| mm                 | mm                  | mm                   | m <sup>2</sup>    | (m <sup>2</sup> ·K)/W | (m <sup>2</sup> ·K)/W | W/m <sup>2</sup>   | kW                 |
| 8,0                | 100,0               | 0,5                  | 504,0             | 2,564                 | 2,686                 | 22,341             | 11,26              |
| Stogas             |                     |                      |                   |                       |                       |                    |                    |
| 6,0                | 100,0               | 0,7                  | 141,0             | 2,564                 | 2,672                 | 22,459             | 3,17               |
| Iš viso:           |                     |                      | 645,0             | 2,564                 | 2,679                 | 22,400             | 14,43              |

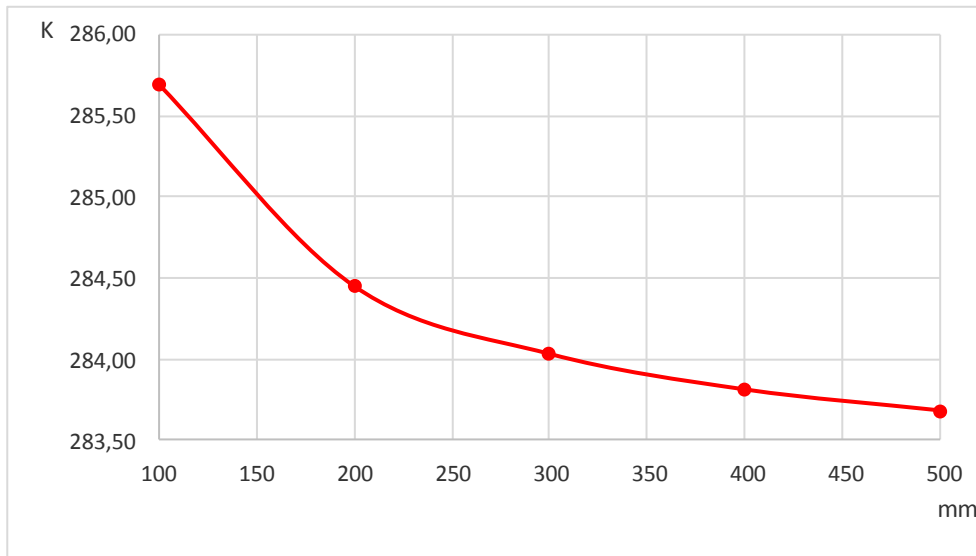
Įvertinus mazuto rezervuaro sienų šilumos nuostolius gauta, kad vidutiniai nuostoliai per rezervuaro sienas ir stogą siekia 22,40 W/m<sup>2</sup>, esant 10°C lauko temperatūrai ir 2,75 m/s vėjo aptekėjimo greičiui. Pagal šiuo metu galiojančius šilumos akumuliacijos talpų standartus, šiluminės izoliacijos storis turi būti ne mažesnis kaip 150-200 mm [21]. Dėl to mazuto rezervuaro šiluminė izoliacija neatitinka standartų, keliamų akumuliacinėms talpoms, todėl būtinos papildomos investicijos, siekiant sumažinti šilumos nuostolius į aplinką.

Siekiant didesnio rezervuaro efektyvumo, kaupiant perteklinį šilumos kiekį, apskaičiuojami, kokie šilumos nuostoliai į aplinką būtų gaunami, jei šiluminės izoliacijos storis būtų didesnis už 100mm, o rezervuaro plieninių sienų ir apskardinimo storiai išliktų tokie patys, nekeičiant pradinių storių ir konstrukcijų.

5.4 lentelė. Rezervuaro šilumos nuostoliai, esant skirtingam akmens vatos storiui.

| Šiluminės izoliacijos storis | Paviršiaus plotas | Terminė sienos varža  | Šilumos nuostoliai | Rezervuaro šilumos nuostoliai | Rezervuaro išorinės sienos temperatūra | Sienos temperatūrų skirtumas |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|--|------------------------------|
| mm                           | m <sup>2</sup>    | (m <sup>2</sup> ·K)/W | W/m <sup>2</sup>   | kW                            | K                                      | K                            |
| 100                          | 645               | 2,564                 | 22,40              | 14,43                         | 285,70                                 |                              |
| 200                          |                   | 5,128                 | 11,45              | 7,38                          | 284,45                                 | 1,25                         |
| 300                          |                   | 7,693                 | 7,686              | 4,96                          | 284,03                                 | 0,42                         |
| 400                          |                   | 10,257                | 5,785              | 3,73                          | 283,81                                 | 0,22                         |
| 500                          |                   | 12,821                | 4,639              | 2,99                          | 283,68                                 | 0,13                         |

Apskaičiavus akmens vatos izoliacijos storio įtaką rezervuaro šilumos nuostoliams per atitvaras, gauta, kad didinant šiluminės izoliacijos storį nuo šiuo metu esančio 100mm storio iki 200mm storio, šilumos nuostoliai į aplinką per atitvaras, kaupiant 70°C temperatūros termofikacinį vandenį, sumažinami dvigubai.



5.6 pav. Rezervuaro išorinės sienos temperatūros kitimas, kintant akmens vatos storiui.

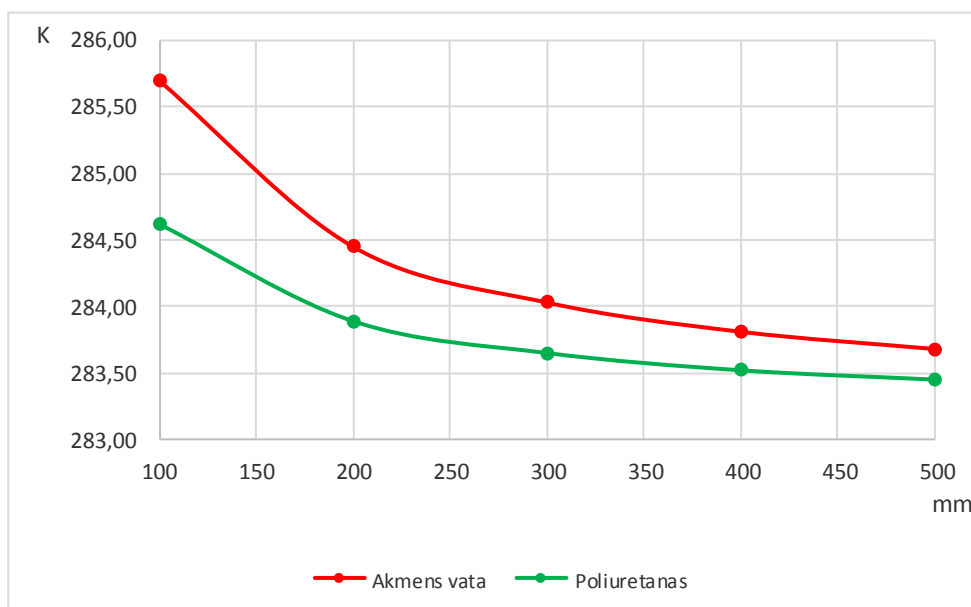
Pagal rezervuaro išorinės sienos temperatūros kitimo grafiką, daroma prielaida, jog efektyviausias šilumos nuostolių sumažinimas per atitvaras gaunamas, kai akmens vatos izoliacijos storis svyruoja apie 200-300 mm. Padidinus šiluminės izoliacijos storį nuo 100 mm iki 200 mm, išorinės rezervuaro sienos paviršiaus temperatūra krenta 1,25°C. Akmens vatos storį padidinus nuo 200 mm iki 300 mm, rezervuaro sienos paviršiaus temperatūra krenta dar papildomai 0,42°C. Toliau didinant šiluminės izoliacijos storį, šilumos nuostolių mažinimo efektas ženkliai mažėja, o išorinės rezervuaro sienos temperatūros kitimas gaunamas tik šimtosiomis dalimis. Todėl didinti šiluminės izoliacijos storį virš 300 mm būtų neracionalu, dėl didėjančios įrenginio kainos ir pastebimai mažesnių šiluminės energijos sutaupymų.

Standartinėse akumuliacinių talpų sistemose plačiausiai naudojama akmens vatos šiluminė izoliacija, galinti išlaikyti akumuliuojamos medžiagos šiluminės savybes iki 200°C temperatūros. Pasiekus šią temperatūrą akmens vatoje esantis rišiklis pradeda garuoti, mažindamas vatos stiprį gniuždymui [22]. Tačiau gaminant šilumos akumuliacinio talpas vis plačiau naudojama ir poliuretano šiluminė izoliacija [23]. Poliuretanai, tai izocianato ir poliolio polimerizacijos metu susidarantis putplastis. Deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas  $\lambda_p = 0,022 W / (m \cdot K)$  [17]. Pagrindinės savybės - gerai sukimba su metalo dangomis ir yra atsparus cheminiam poveikiui. Vertinant šilumos akumuliacinio talpos šiluminę izoliaciją, palyginamos akmens vatos ir poliuretano šiluminės izoliacijos ir jų įtaka šilumos nuostoliams per atitvaras. Skaičiavimai pateikiami E Priede.

5.5 lentelė. Akmens vatos ir poliuretano poveikis šilumos nuostoliams per atitvaras.

| Šiluminės izoliacijos storis | Akmens vata           |                    |  | Poliuretanai          |                    |  |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|--|-----------------------|--------------------|--|
|                              | Terminė sienos varža  | Šilumos nuostoliai | Rezervuaro išorinės sienos temperatūra | Terminė sienos varža  | Šilumos nuostoliai | Rezervuaro išorinės sienos temperatūra |
| mm                           | (m <sup>2</sup> ·K)/W | W/m <sup>2</sup>   | K                                      | (m <sup>2</sup> ·K)/W | W/m <sup>2</sup>   | K                                      |
| 100                          | 2,564                 | 22,40              | 285,70                                 | 4,546                 | 12,88              | 284,62                                 |
| 200                          | 5,128                 | 11,45              | 284,45                                 | 9,091                 | 6,52               | 283,89                                 |
| 300                          | 7,693                 | 7,69               | 284,03                                 | 13,637                | 4,36               | 283,65                                 |
| 400                          | 10,257                | 5,78               | 283,81                                 | 18,182                | 3,28               | 283,52                                 |
| 500                          | 12,821                | 4,64               | 283,68                                 | 22,727                | 2,63               | 283,45                                 |

Naudojant poliuretaną, kurio šilumos laidumo koeficientas už akmens vatos, mažesnis beveik dvigubai, šilumos nuostoliai per atitvaras esant identiškam šiluminės izoliacijos storiui, sumažėja 57%. Lyginant skirtingas šiluminės izoliacijas bei jų poveikį išorinei rezervuaro sienų paviršiaus temperatūrai, matoma, kad naudojant poliuretano izoliaciją, rezervuaro paviršiaus temperatūra, esant 100 mm storio izoliacijai, yra mažesnė 1,08°C nei naudojant akmens vatą. Mažesnė paviršiaus temperatūra, mažina šilumos nuostolius į aplinką ir akumuliuojamo termofikacinio vandens, skirtingų temperatūrų sluoksnių persimaišymą. Iš palyginamojo grafiko (žr. 5.7 pav.) matyti tendencija, kad naudojant akmens vatą arba poliuretaną, didinti šiluminės izoliacijos storį virš 300 mm, nepriklausomai nuo izoliacijos tipo, tampa neracionalu, dėl palyginti mažo poveikio mažinant šilumos nuostolius per atitvaras.



5.7 pav. Rezervuaro išorinės sienos temperatūros kitimas, esant skirtingai šiluminei izoliacijai.

Atlikus preliminarinius skaičiavimus, gauta, kad esantis nenaudojamas 2000 m<sup>3</sup> tūrio mazuto rezervuaras, gali būti naudojamas kaip šilumos akumuliacijos talpa, tačiau būtini papildomi kapitaliniai įdėjimai. Turi būti pakeista sienų šiluminė izoliacija iš 100 mm storio į 300 mm, viršutinėje talpos dalyje įrengta azotinė atmosfera, sumažinanti stogo konstrukcijų korozijos galimybes. Šios tarpinės atmosferos įrengimas taip pat sumažintų ir talpos tūrį. Taip

pat privalo būti pakeista vidinė rezervuaro armatūra, atliktas papildomas nuodugnus rezervuaro valymas ir papildomos armatūros instaliavimas šilumos akumuliacinio talpos prijungimui prie šilumos generavimo ir tiekimo tinklų [23].

## 5.2 Šilumos siurblio technologijos panaudojimas

Biokuro termofikacinėje elektrinėje kondensaciniais dūmų ekonomizeriais išgaunama apie 20-30 % šiluminės energijos iš išmetamųjų dūmų srauto, turinčio aukštą temperatūrinį potencialą. Iš šilumos vartotojų grįžtantis termofikacinis vanduo jų pagalba pašildomas iki 48-55°C. Po kondensacinio dūmų ekonomizerio susidarancios valytos nuotekos išleidžiamos į miesto nuotekų tinklus. Šios nuotekos turi gan aukštą šiluminį potencialą, o jų temperatūra vidutiniškai siekia apie 45°C, tačiau termofikacinio vandens pašildymui, ši temperatūra per žema. Šią šilumos dalį šilumos siurbliu galime transformuoti iki temperatūros, tenkinančios pašildyti termofikacinį vandenį po kondensacinio dūmų ekonomizerio, virš 55°C. Šiuo atveju reikalingi papildomi kapitaliniai įdėjimai ir elektros arba mechaninė energija.

5.6 lentelė. Kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų duomenys 2013-2014m. [36].

| Mėn. | 2013m.            |             | 2014m.            |             |
|------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
|      | Nuotekų srautas   | Temperatūra | Nuotekų srautas   | Temperatūra |
|      | m <sup>3</sup> /h | °C          | m <sup>3</sup> /h | °C          |
| 1    | 5,79              | 48          | 7,66              | 48          |
| 2    | 5,96              | 44          | 8,28              | 47          |
| 3    | 5,35              | 47          | 7,94              | 45          |
| 4    | 5,31              | 40          | 4,85              | 37          |
| 5    | 0,53              | 28          | 0,96              | 31          |
| 6    | 0,00              | 0           | 1,57              | 37          |
| 7    | 0,00              | 0           | 0,01              | 32          |
| 8    | 0,00              | 0           | 0,00              | 0           |
| 9    | 0,06              | 30          | 0,00              | 0           |
| 10   | 2,64              | 39          | 2,60              | 34          |
| 11   | 8,28              | 44          | 7,25              | 41          |
| 12   | 9,35              | 45          | 8,73              | 45          |

Iš dviejų pastarųjų metų duomenų matome, kad šilumos siurblio technologiją, panaudojant kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų šilumą, būtų galima naudoti visą šildymo sezono laikotarpį, kai elektrinės įrenginiai dirba didžiausia galia, tačiau vasaros sezono metu, nesudarant nuotekų iš kondensacinio dūmų ekonomizerio, šilumos siurblys nebūtų naudojamas. Biokuro termofikacinės elektrinės su šilumos siurbliu, techninis eskizas pateiktas A Priede.

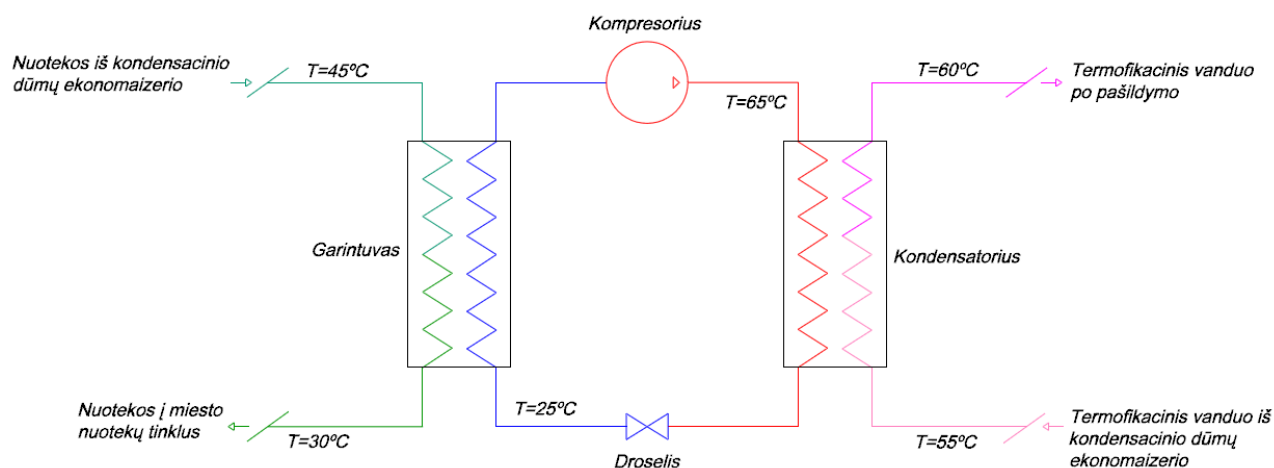
## 5.2.1 Biokuro termofikacinės elektrinės su šilumos siurbliu analizė

Analizuojant kombinuotą sistemą su šilumos siurbliu, svarbiausias dydis nusakantis bendrą ciklo efektyvumą yra šilumos transformavimo koeficientas - TRK. Šilumos siurblio efektyvumas priklauso nuo virimo ir kondensacijos temperatūrų, taip pat šilumos siurblio sistemos. Kombinuotos sistemos analizei pasirenkamas didžiausias kondensacinio dūmų ekonomizaizerio nuotekų srautas ir srauto atitinkama temperatūra:

- Nuotekų srautas – 9,35 m<sup>3</sup>/h;
- Nuotekų temperatūra - 45°C.

Maksimalūs dydžiai pasirinkti, siekiant optimaliai išnaudoti didžiausiame nuotekų sraute esančią šilumos energiją. Vertinant kombinuotą šilumos siurblio sistemą nustatomi tolimesni dydžiai:

- Nuotekų temperatūra po garintuvo 30°C;
- Šilumos agento virimo temperatūra 25°C;
- Nepilnos regeneracijos temperatūrų skirtumas  $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ ;
- Kondensacijos temperatūra 65°C;



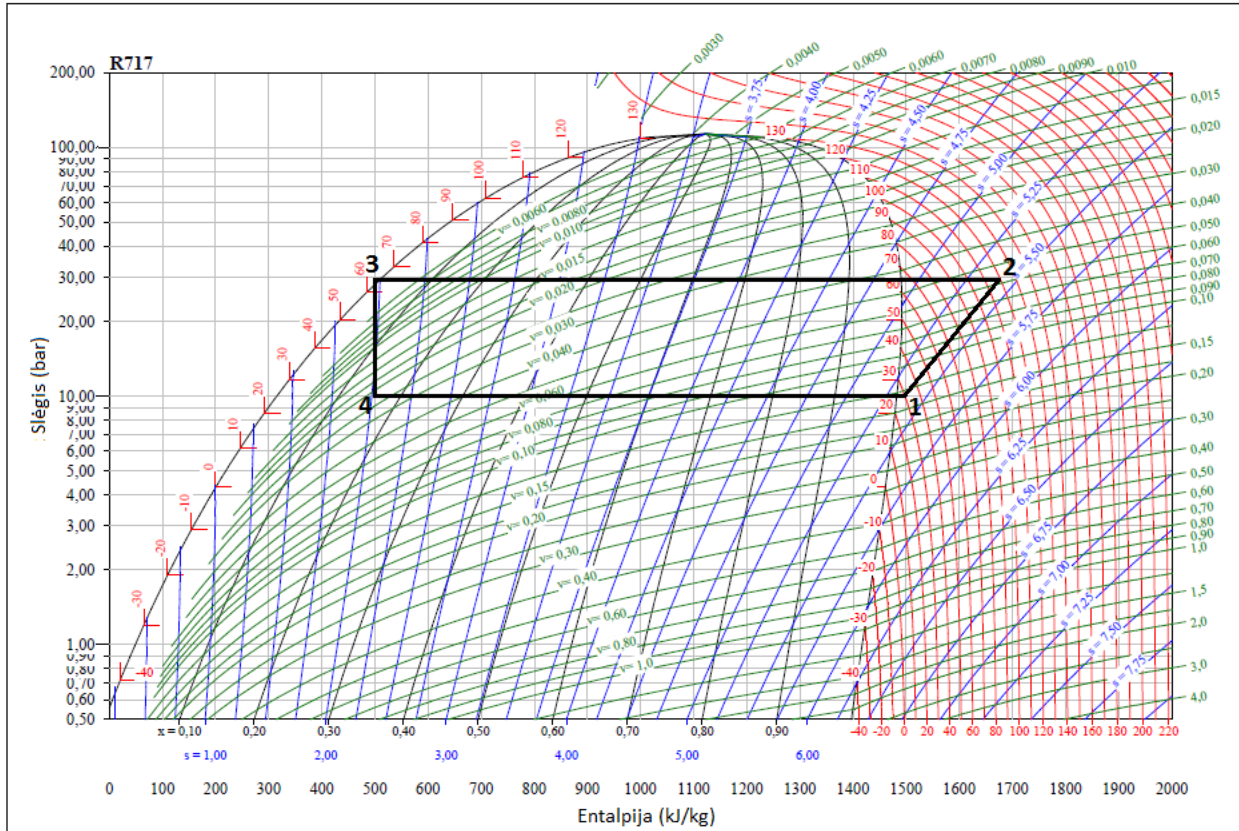
5.8 pav. Principinė šilumos siurblio sistemos schema.

Kondensacinio dūmų ekonomizaizerio nuotekos garintuve perduoda šilumą darbo agentui, vyksta garinimo procesas. Po garintuvo pašildyto darbo agento garai kompresoriuje suslegiami, didėja temperatūra ir slėgis. Tuomet aukšto šiluminio potencialo garai aušinami kondensatoriuje, kuriame šiluma, kondensacijos metu, atiduodama papildomai pašildyti termofikacinį vandenį iš kondensacinio dūmų ekonomizaizerio. Po kondensatoriaus žemo šiluminio potencialo darbo agento garų slėgis mažinamas droselyje ir tiekiamas į garintuvą.

Atliekami supaprastinti šilumos siurblio skaičiavimai, neįvertinant slėgio ir šilumos nuostolių sistemoje. Priimame, kad naudojamas darbo agentas - amoniakas R717. Perkaitinimo temperatūra 5°C, o peraušinimo 2°C. Šilumos siurblio garintuvo našumas apskaičiuojamas įvertinant nuotekų potencialą:

$$Q_e = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = \left( \frac{9350}{3600} \right) \cdot 4,174 \cdot (45 - 30) = 162,61 \text{ kW}; \quad (5.29)$$

Gavus šilumos siurblio garintuvo našumą, pasinaudojant programiniu paketu „CoolPack“, nubraižoma ciklo p-h diagrama ir apskaičiuojami ciklą sudarantys charakteringi taškai 1, 2, 3, 4.



5.9 pav. Šilumos siurblio, naudojančio R717 darbu agentą, p-h diagrama.

Taškas 1:

$$T_1 = 30^{\circ} \text{C};$$

$$p_1 = 10,031 \text{ bar};$$

$$v_1 = 0,132 \text{ m}^3 / \text{kg};$$

$$h_1 = 1497,37 \text{ kJ} / \text{kg};$$

$$s_1 = 5,365 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K});$$

Taškas 2:

$$T_2 = 119,34^{\circ} \text{C};$$

$$p_2 = 29,476 \text{ bar};$$

$$h_2 = 1675,30 \text{ kJ} / \text{kg};$$

$$s_2 = 5,411 \text{ kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K});$$

Taškas 3:



$$T_3 = 63^{\circ} C;$$

$$p_3 = 29,476 \text{ bar};$$

$$h_3 = 499,615 \text{ kJ/kg};$$

Taškas 4:

$$T_4 = 25^{\circ} C;$$

$$p_4 = 10,031 \text{ bar};$$

$$h_4 = 499,615 \text{ kJ/kg};$$

Apskaičiuojamas šilumos siurblio transformavimo koeficientas TRK, pagal gautus charakteringų taškų duomenis:

$$TRK = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{1675,30 - 499,62}{1675,30 - 1497,37} = \frac{1175,68}{177,93} = 6,61; \quad (5.30)$$

Gautas šilumos siurblio ciklo efektyvumo koeficientas parodo, kad naudojant darbo agentą R717, šilumos 1 kWh dedamoji yra 6,61 karto mažesnė už elektros arba mechaninės energijos dedamąją. Pagal gautus duomenis, naudojantis programiniu paketu „CoolPack“, šilumos siurblio garintuvo ir kondensatoriaus našumas:

- $Q_e = 162,62 \text{ kW};$
- $Q_k = 191,61 \text{ kW}.$

Naudojantis gautais savitaisiais dydžiais  $q_e$  ir  $q_k$ , kurie parodo kiek 1 kg darbo agento nuveda šilumos garintuve ir kiek šilumos nuo 1 kg darbo agento nuvedama kondensatoriuje, apskaičiuojamas šilumos siurblio kompresoriaus savitasis suslėgimo darbas:

$$q_{ss} = q_c - q_e = 1175,68 - 997,75 = 177,93 \text{ kJ/kg}. \quad (5.31)$$

Siekiant įvertinti savybes šilumos siurblio sistemos darbui, apskaičiuojamas šilumos siurblio efektyvumas panaudojant skirtingų cheminių ir fizikinių savybių darbo agentus, laikantis pradinių nustatytų sąlygų. Parenkami skirtingi darbo agentai:

- R290;
- R134a.

Amoniakas R717 – plačiai naudojamas darbo agentas įvairiose pramonės šakose. Pasižymi aukštu naudingumu, netoksiškas, nedegus ir priskiriamas prie natūralių darbo agentų, neprisidedančių prie šiltnamio efekto augimo.[47]

Propanas R290 – propano naudojimas sparčiai auga, dėl puikių termodinaminių savybių ir mažo neigiamo efekto aplinkai. Šio tipo darbo agentas yra netoksiškas ir priskiriamas prie natūralių darbo agentų, tačiau yra degus.[48]

R134a – plačiai naudojamas buitiniuose ir pramonės šaldymo bei šildymo įrenginiuose. Pakeitė tokius darbo agentus, kaip R12 ir R22. Priskiriamas prie nedegių ir netoksiškų.[47]

Atlikus šilumos siurblio sistemų skaičiavimus su „CoolPack“ programa, pasirinkus skirtingus šilumos agentus, duomenys pateikiami 5.7 lentelėje.

Skaičiavimų rezultatai ir p-h diagramos F Priede.

5.7 lentelė. Šilumos siurblio efektyvumas, naudojant skirtingus darbo agentus.

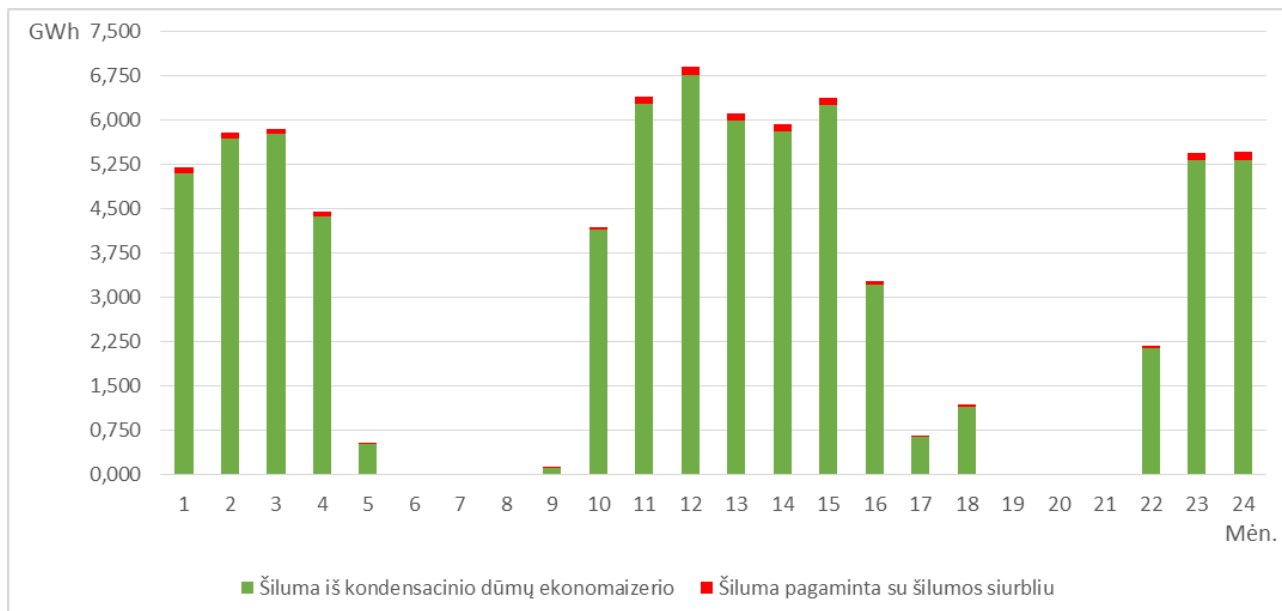
| Freonas | $q_e$ | $q_c$  | $Q_e$  | $Q_k$  | W      | TRK  |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|------|
|         | kJ/kg | kJ/kg  | kW     | kW     | kW     |      |
| R717    | 997,8 | 1175,7 | 162,61 | 191,61 | 29,00  | 6,61 |
| R290    | 234,7 | 282,0  | 162,61 | 195,33 | 32,718 | 5,97 |
| R134a   | 123,9 | 148,1  | 162,61 | 194,41 | 31,80  | 6,11 |

Gauname, kad didžiausias šilumos siurblio efektyvumas, konkrečiu atveju, yra naudojant amoniaką R717. Toliau, naudojant šilumos siurblio sistemą nuotekų šilumai panaudoti, analizuojama, kiek papildomai kuro tektų sudeginti, siekiant išgauti šilumos kiekį, kuris būtų išgaunamas šilumos siurblio sistema. Naudojami 2013 – 2014m. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės kuro ir šilumos generavimo apskaitos duomenys. Priima, kad biokuro termofikacinė elektrinė kūrenama pastovios drėgmės biokuru, kurio drėgmės kiekis neviršija 50 %.

5.8 lentelė. Pagamintos šiluminės energijos kiekiai.

| Mėn. | 2013m.            |                          |   |                                      | 2014m.            |                          |   |                                      |
|------|-------------------|--------------------------|---|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|---|--------------------------------------|
|      | Nuotekų srautas   | Suminė šiluminė energija | Šiluma iš kondensacinio dūmų ekonomizerio | Šiluma pagaminta su šilumos siurbliu | Nuotekų srautas   | Suminė šiluminė energija | Šiluma iš kondensacinio dūmų ekonomizerio | Šiluma pagaminta su šilumos siurbliu |
|      | m <sup>3</sup> /h | GWh                      | GWh                                       | GWh                                  | m <sup>3</sup> /h | GWh                      | GWh                                       | GWh                                  |
| 1    | 5,79              | 29,762                   | 5,107                                     | 0,088                                | 7,66              | 30,825                   | 5,991                                     | 0,117                                |
| 2    | 5,96              | 25,717                   | 5,685                                     | 0,091                                | 8,28              | 28,146                   | 5,810                                     | 0,126                                |
| 3    | 5,35              | 28,713                   | 5,767                                     | 0,082                                | 7,94              | 30,417                   | 6,260                                     | 0,121                                |
| 4    | 5,31              | 23,680                   | 4,367                                     | 0,081                                | 4,85              | 23,682                   | 3,209                                     | 0,074                                |
| 5    | 0,53              | 13,244                   | 0,511                                     | 0,008                                | 0,96              | 12,398                   | 0,648                                     | 0,015                                |
| 6    | 0,00              | 14,158                   | 0,000                                     | 0,000                                | 1,57              | 14,889                   | 1,154                                     | 0,024                                |
| 7    | 0,00              | 13,753                   | 0,000                                     | 0,000                                | 0,01              | 13,118                   | 0,000                                     | 0,000                                |
| 8    | 0,00              | 13,850                   | 0,000                                     | 0,000                                | 0                 | 13,255                   | 0,000                                     | 0,000                                |
| 9    | 0,06              | 14,159                   | 0,123                                     | 0,001                                | 0                 | 12,371                   | 0,000                                     | 0,000                                |
| 10   | 2,64              | 27,406                   | 4,143                                     | 0,040                                | 2,6               | 22,138                   | 2,134                                     | 0,040                                |
| 11   | 8,28              | 30,297                   | 6,262                                     | 0,126                                | 7,25              | 29,252                   | 5,322                                     | 0,111                                |
| 12   | 9,35              | 31,518                   | 6,750                                     | 0,143                                | 8,73              | 29,762                   | 5,319                                     | 0,133                                |

Per 2013m. biokuro termofikacinė elektrinė pagamino 266,26 GWh šiluminės energijos, iš kurių 38,72 GWh šilumos buvo gauta naudojantis kondensaciniu dūmų ekonomizeriu [36]. Panaudojant šilumos siurblio technologiją kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų šiluminiam potencialui išnaudoti, per metus papildomai būtų pagaminama 0,660 GWh šiluminės energijos tarpiniam termofikacinio vandens pašildymui. Atitinkamai analizuojant 2014m. duomenis ir pritaikant juos šilumos siurblio panaudojimo analizei, gaunama, jog šiuo laikotarpiu šilumos siurblio pagalba būtų pagaminama 0,760 GWh šiluminės energijos.



5.10 pav. Šilumos siurblio įtaka kondensacinio dūmų ekonomizaierio šilumos generavimui.

Pagal gautus rezultatus matyti, jog naudojant šilumos siurblio technologiją, didėja bendras kondensacinio dūmų ekonomizaierio generuojamos šilumos kiekis išnaudojant ne tik dūmuose esančią šiluminę energiją, bet taip pat panaudojant ir susidarančių nuotekų šilumą. Tokiu būdu kondensacinio dūmų ekonomizaierio šilumos generavimo efektyvumas padidėtų apie 1,91 %. Žvelgiant iš kuro sunaudojimo perspektyvos, šilumos siurbliu sugeneruojamas šilumos kiekis, papildomai nedeginant biokuro.

5.9 lentelė. Kuro sąnaudos.

| Mėn. | 2013m.        |                          |                 |                               | 2014m.        |                          |                 |                               |
|------|---------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|-------------------------------|
|      | Kuro sąnaudos | Suminė šiluminė energija | Kuro sutaupymas | Pagaminta su šilumos siurbliu | Kuro sąnaudos | Suminė šiluminė energija | Kuro sutaupymas | Pagaminta su šilumos siurbliu |
|      | t             | GWh                      | t               | GWh                           | t             | GWh                      | t               | GWh                           |
| 1    | 11938         | 29,762                   | 35,298          | 0,088                         | 14682         | 30,825                   | 55,727          | 0,117                         |
| 2    | 10951         | 25,717                   | 38,750          | 0,091                         | 12601         | 28,146                   | 56,410          | 0,126                         |
| 3    | 12746         | 28,713                   | 36,401          | 0,082                         | 13714         | 30,417                   | 54,555          | 0,121                         |
| 4    | 11122         | 23,68                    | 38,044          | 0,081                         | 10640         | 23,682                   | 33,247          | 0,074                         |
| 5    | 6630          | 13,244                   | 4,005           | 0,008                         | 5229          | 12,398                   | 6,326           | 0,015                         |
| 6    | 6997          | 14,158                   | 0,000           | 0,000                         | 5952          | 14,889                   | 9,594           | 0,024                         |
| 7    | 6198          | 13,753                   | 0,000           | 0,000                         | 5616          | 13,118                   | 0,000           | 0,000                         |
| 8    | 6637          | 13,85                    | 0,000           | 0,000                         | 5666          | 13,255                   | 0,000           | 0,000                         |
| 9    | 7372          | 14,159                   | 0,521           | 0,001                         | 5311          | 12,371                   | 0,000           | 0,000                         |
| 10   | 12069         | 27,406                   | 17,615          | 0,040                         | 9179          | 22,138                   | 16,585          | 0,040                         |
| 11   | 12607         | 30,297                   | 52,430          | 0,126                         | 11122         | 29,252                   | 42,204          | 0,111                         |
| 12   | 13945         | 31,518                   | 63,270          | 0,143                         | 11466         | 29,762                   | 51,239          | 0,133                         |

Gaminant šilumos kiekį, kurį sugeneruoja šilumos siurblys, būtų deginamas papildomas biokuro kiekis. Didžiausias kuro sunaudojimas vyktų šildymo sezono metu, gruodžio mėn., esant šiluminės energijos poreikio pikui, dėl fiksuojamos žemiausios lauko oro temperatūros. Tuo metu šilumos siurblio sugeneruotas šilumos kiekis siektų 0,143 GWh. Šiam šilumos kiekiui

pagaminti būtų reikalinga papildomai sunaudoti 63,27 t biokuro. Kadangi šilumos siurblys dirbtų tik tuo metu, kai vykėtų šilumos generavimas kondensaciniame dūmų ekonomizaizeryje, vasaros sezono metu kuro nebūtų sutaupoma, dėl atjungto kondensacinio dūmų ekonomizaizerio ir nesusidarančių nuotekų. Naudojant šilumos siurbli, per metus būtų sutaupoma 306 t biokuro. Remiantis 2014 m. miškų kirtimo urėdijose statistika, sutaupomo biokuro kiekis būtų atitinkamai lygus 4,6 ha plynų kirtimų plotui.[51] Ekologiniu požiūriu, naudojant šilumos siurblio technologiją, netiesiogiai sumažėtų ir kertamų miškų plotus.

Vykiant šilumos siurblio sistemos eksploatavimą, šiluminės energijos generavimui reikalinga elektros arba mechaninė energija. Kadangi biokuro termofikacinė elektrinė nenutrūkstamai gamina elektros energiją, o elektros energijos savikaina yra ženkliai mažesnė už kitus elektros ar mechaninės energijos generavimo būdus ir parduodamą elektros energiją skirstomuosiuose elektros energijos tinkluose, priimama, jog šilumos siurblys naudotų elektrą iš biokuro termofikacinės elektrinės.

5.10 lentelė. Šilumos siurblio elektros energijos sąnaudos.

| Mėn. | 2013m.                     |                   | 2014m.                     |                   |
|------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
|      | Pagaminta šilumos energija | Elektros energija | Pagaminta šilumos energija | Elektros energija |
|      | GWh                        | GWh               | GWh                        | GWh               |
| 1    | 0,088                      | 0,013             | 0,117                      | 0,018             |
| 2    | 0,091                      | 0,014             | 0,126                      | 0,019             |
| 3    | 0,082                      | 0,012             | 0,121                      | 0,018             |
| 4    | 0,081                      | 0,012             | 0,074                      | 0,011             |
| 5    | 0,008                      | 0,001             | 0,015                      | 0,002             |
| 6    | 0,000                      | 0,000             | 0,024                      | 0,004             |
| 7    | 0,000                      | 0,000             | 0,000                      | 0,000             |
| 8    | 0,000                      | 0,000             | 0,000                      | 0,000             |
| 9    | 0,001                      | 0,000             | 0,000                      | 0,000             |
| 10   | 0,040                      | 0,006             | 0,040                      | 0,006             |
| 11   | 0,126                      | 0,019             | 0,111                      | 0,017             |
| 12   | 0,143                      | 0,022             | 0,133                      | 0,020             |

Generuojant šiluminę energiją su šilumos siurbliu, elektros energijos sąnaudos šilumos siurblio eksploatavimui per metus siektų 0,107 GWh. Šis kiekis bus naudojamas kompresoriaus darbui, suslegiant cirkuliuojantį darbo agentą.

## 6. EKOLOGINIS, EKONOMIMIS VERTINIMAS

Ekspluatuojant energetinius objektus ir investuojant į naujų technologijų vystymą bei panaudojimą, svarbiausi faktoriai nulemiantys planuojamas investicijas – technologijos poveikis aplinkai ir atsipirkimo laikas. Šiame skyriuje vertinamas Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės poveikis aplinkai, atsižvelgiant į teorinius ir praktinius susidarančių toksogenų kiekius bei jų reglamentavimą. Analizuojamos pradinės investicijos ir galimas investicijų atsipirkimo laikas tarpinei biokuro rūšiavimo aikštelei, šilumos akumuliacijos talpos šiluminei izoliacijai ir šilumos siurblio technologijai. Atsipirkimo laiko vertinimas atliekamas atsižvelgiant į palūkanų normas, technologijų įkainius bei eksploatacinius kaštus, taip pat galimus palūkanų normų didėjimus ir mažėjimus.

### 6.1 Išmetamų toksogenų kiekių skaičiavimas

Šiaulių biokuro termofikacinė elektrinė gali deginti įvairų kurą, tačiau daugiausiai naudojamas biokuras ir gamtinės dujos. Vertinant ekologiniu požiūriu, svarbiausia deginamo kuro charakteristika yra degimo metu susidarančių ir į atmosferą išmetamų teršalų kiekiai. Toliau apskaičiuojami kogeracinės elektrinės išmetamų į atmosferą toksogenų teoriniai kiekiai, priimant, kad naudojamas 50 % drėgmės kiekį turintis biokuras, kurio kaloringumas 8120 kJ/kg. Naudojami 2014m. sunaudoto biokuro ir gamtinių dujų kiekių faktiniai duomenys.

Metinis susidarančių anglies monoksidų kiekis:

$$M_{CO} = 0,001 \cdot c_{CO} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = 0,001 \cdot 2,004 \cdot 170110,00 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) = 339,196 \text{ t/met}; \quad (6.1)$$

$$c_{CO} = \frac{q_3 \cdot R \cdot Q_a^n}{1013} = \frac{0,25 \cdot 1 \cdot 8120}{1013} = 2,004 \text{ kg/t}; \quad (6.2)$$

Čia:

$c_{CO}$  – anglies monoksido kiekis, susidarantis deginant kietąjį, skystąjį ar dujinį kurą, kg/t, kg/tūkst.m<sup>3</sup>.

$B$  – metinis kuro sunaudojimas, t/met, tūkst.m<sup>3</sup>/met.

$Q_a^n$  – kuro kaloringumas, kJ/kg, kJ/m<sup>3</sup>.

$q_3$  – šilumos nuostoliai dėl nevisiško cheminio sudegimo, %.

$q_4$  – šilumos nuostoliai dėl nevisiško mechaninio sudegimo, %.

$R$  – šilumos nuostolius įvertinantis koeficientas.

Metinis išmetamų azoto oksidų kiekis:

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot K \cdot B \cdot Q_a^n \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 =$$

$$= 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 0,812 \cdot 170110,00 \cdot 8120 \cdot \left(1 - \frac{0,5}{100}\right) \cdot 1 \cdot (1 - 0 \cdot 0) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 37,944 \text{ t/met};$$
(6.3)

Čia:

$K$  – oksidų kiekio susidarymą įvertinantis koeficientas, kg/t.

$\beta_1$  – azoto kiekį kure įvertinantis koeficientas.

$\beta_2$  – degiklių konstrukciją įvertinantis koeficientas.

$\beta_3$  – būdą, šalinant šlaką, įvertinantis koeficientas.

$\varepsilon_1$  – recirkuliuojamų dūmų poveikį įvertinantis koeficientas.

$\varepsilon_2$  – daugialapsnį deginimą įvertinantis koeficientas.

$r$  – recirkuliuojamų dūmų dalis nuo išmetamų dūmų.

Metinis išmetamų pelenų kiekis į atmosferą:

$$M_p = 0,01 \cdot B \left( \alpha_{isn} \cdot A^n + q_4^{isn} \cdot \frac{Q_a^n}{32680} \right) \cdot (1 - \eta) =$$

$$= 0,01 \cdot 170110,00 \cdot \left( 1,0 \cdot 0,5 + 0,0034 \cdot \frac{8120}{32680} \right) \cdot (1 - 0,995) \cdot (1 - 0,5) = 2,130 \text{ t/met};$$
(6.4)

Čia:

$\alpha_{isn}$  – išmetamuose dūmuose esanti pelenų dalis.

$A^n$  – kuro peleningumas, %.

$q_4^{isn}$  – šilumos nuostoliai dėl pelenuose esančių nepilno mechaninio sudegimo produktų, %.

$\eta$  – koeficientas, įvertinantis šlako gaudytuvų darbo efektyvumą.

6.1 lentelė. Teoriniai metinių išmetamų teršalų kiekiai

| Eil. Nr. | Kuro rūšis     | Sunaudojamo kuro kiekis, t/met | Išsiskyre teršalai, t/met |                 |                 |                                 |                             |
|----------|----------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|
|          |                |                                | CO                        | NO <sub>x</sub> | SO <sub>2</sub> | Kietosios dalelės, prieš valymą | Kietosios dalelės po valymo |
| 1.       | Biokuras       | 108971,00                      | 339,20                    | 37,94           | 0,0             | 851,99                          | 2,13                        |
| 2.       | Gamtinės dujos | 27,42                          | 0,10                      | 0,07            | 0,0001          | 0,0                             | 0,0                         |
| Suma:    |                | 108998,42                      | 339,30                    | 38,01           | 0,0001          | 851,99                          | 2,13                        |

Nenaudojant gamtinių dujų, per metus papildomai susidarytų 0,21 t kietųjų dalelių prieš dūmų valymo įrengimus, o išmetamų į aplinką kietųjų dalelių kiekis per metus padidėtų neženkliai. Lyginant apskaičiuotus kietųjų dalelių kiekius su praktiniais susidarančių kietųjų dalelių kiekiais, kurių susidaro 4410 t/metus, galima teigti, kad apskaičiuotų kietųjų dalelių kiekis

yra 4 kartus mažesnis, nei praktinis. Tai susidaro dėl gautuose rezultatuose neįvertinamų kietųjų priemaišų, patenkančių į kūryklą kartu su deginamu biokuru, taip pat biokuro sudėties įvairovės, dėl kurios intensyviai kinta kietųjų dalelių kiekis ir koncentracija. Dėl to apskaičiuotas kietųjų dalelių kiekis ženkliai skiriasi nuo gaunamų praktikoje.

## **6.2 Praktinis susidarančių pelenų ekologinis vertinimas**

Biokuro termofikacinėje elektrinėje per 2014 m. susidarė 4410 t pelenų. Iš šio kiekio elektrostatiu filtru surinkta 2460 t sausų pelenų, o likusį kiekį sudarė šlapi pelenai, surenkami po kurykla įrengtu šlapio tipo pelenų transporteriu. Pagal išmetamų toksogenų kiekių supaprastintą skaičiavimą gauta, jog nenaudojant gamtinių dujų, kietųjų dalelių kiekis išaugtų 12 %. Galima teigti, jog realiu atveju nenaudojant gamtinių dujų, susidarančių pelenų kiekis biokuro termofikacinėje elektrinėje padidėtų iki 4940 t per metus. Todėl vienas svarbiausių kriterijų, surenkant didelius kiekius pelenų yra antrinis pelenų panaudojimas, mažinant kaupiamus jų kiekius.

Surenkant pelenus dūmų valymo sistemomis susiduriama su ypač svarbia problema, tai yra tinkamai nereglamentuota pelenų utilizavimo tvarka. Iki 2011 m. biokurą deginančios, šilumos generavimo įmonės, medienos kuro pelenus galėdavo atiduoti ūkininkams, fiziniams asmenims ir įmonėms, neribojant pelenų atidavimo kiekių. 2011 m. įvesti apribojimai, leidžiantys medienos pelenus naudoti asmeninėms reikmėms, netaikant medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių, jei atiduodamų pelenų kiekis nedidesnis nei 10 t per metus.[45] Atiduodant didesnius kiekius pelenų, naudojamosi taisyklėse nustatyta dirvožemių ištyrimo tvarka prieš ir po pelenų naudojimo. 2014 m. panaikintas punktas, suteikiantis teisę asmeniui naudoti per metus atiduoti iki 10 t pelenų, netaikant taisyklių reikalavimų. Įvesti pelenų atitikimo šalutiniams produktams ir priskyrimo atliekoms, reglamentuojantys punktai, nurodantys pelenų utilizavimo tvarką. Pelenai pagal savo sudėtį priskiriami šalutiniams produktams, gali būti saugojami pelenų saugojimo aikštelėse neilgiau nei 1 metus, o praėjus šiam laikotarpiui, privalo būti utilizuoti išvežant į sąvartynus. Pelenai, kurie nepriskiriami šalutiniams produktams ir yra priskiriami atliekoms, negali būti saugojami pelenų saugojimo aikštelėse ir privalo būti utilizuojami išvežant į artimiausius sąvartynus.[46]

Dėl griežtos pelenų panaudojimo tvarkos ir reikalingos dokumentacijos bei tyrimų, stambūs ūkininkai atsisako naudoti biokuro pelenus, o urėdijos nesutinka naudoti didesnius kiekius pelenų miškuose. Pagal 2015 m. gautus duomenis iš Šiaulių rajono urėdijos, nustatytas pelenų panaudojimo potencialas Šiaulių rajono urėdijose siekia ne daugiau nei 20 t per metus. Šis kiekis pelenų Šiaulių biokuro termofikacinėje elektrinėje surenkamas per 3-4 dienas. Tolimesnis pelenų panaudojimas kelių tiesime, statyboje ir pramonės šakose nėra reglamentuotas įstatymais. Dėl to šilumos generavimo įmonės yra priverstos kaupti, o po to utilizuoti ypač

didelius kiekius pelenų, investuojant į teritorijų ir sklypų pirkimą, uždengtų pelenų saugojimo aikštelių įrengimą, pelenų išvežimą į sąvartynus, jų sutvarkymą ir visus reikiamus pelenų tyrimus, kurie privalo būti atliekami kas 200 t. [46] Per metus vien pelenų utilizavimui Šiaulių biokuro termofikacinėje skiriama 450000,00 Eur. Įmonei AB „Šiaulių energija“ 2015 m. įvedus į eksploataciją papildomą 20,00 MW biokuro katilinę, planuojamos surenkamų pelenų utilizavimo išlaidos gali siekti 680000,00 Eur per metus. Utilizuojant pelenus į Šiaulių Aukštųjų sąvartyną, kaupiamų atliekų kiekis išauga 10 % per metus, o sąvartyno bendras eksplotavimo laikas sutrumpėja 2 metais.

Dideli susidarančių pelenų kiekiai didina biokuro kūrenamų elektrinių ir katilinių eksploataavimo kaštus, o šiuo metu įvestos pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės nereglamentuoja tolimesnio pelenų panaudojimo įvairiose kitose srityse išskyrus žemės ūkį ir miškininkystę, dėl ko gali būti susiduriama su sąvartynų perpildymu pelenais ir didėjančiais pelenų tvarkymo į kainiais, kas sudaro palankias sąlygas iš to pelnytis tretiesiems asmenims.

### 6.3 Ekonominis tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės vertinimas

Lietuvoje biokuro sunaudojimas energetikos sektoriuje pastebimai išaugo ir ši tendencija artimiausiu metu ne tik kad nemažės, bet ir didės, dėl akivaizdžiai pigesnės generuojamos energijos lyginant su iškastiniu kuru. Tačiau dideli energetiniai objektai, biokurą degina ypač dideliais kiekiais, kas sudaro sąlygas biokuro tiekėjams nesilaikyti biokuro kokybės minimalių reikalavimų, siekiant didesnių pajamų su mažesnėmis sąnaudomis. Įrengiant tarpinę biokuro rūšiavimo aikštelę, panaikinama galimybė biokuro tiekėjams manipuluoti kuro kokybe, taip pat panaikinama galimybė panaudoti netinkamos kokybės biokurą energetiniuose įrenginiuose, dėl pailgėjusio laiko termino tarp biokuro kokybės nustatymo ir kuro sunaudojimo.

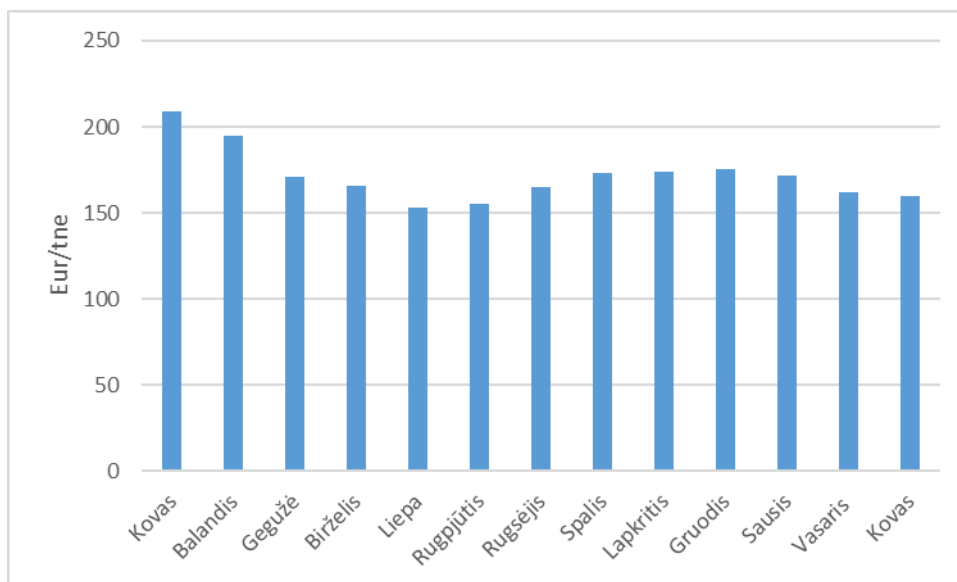
Pagal Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės atvežamo ir sunaudojamo biokuro kiekius, nustatytos tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės charakteristikos, remiantis kieto kuro aikštelių įrengimo taisyklėmis. Aikštelės duomenys pateikiami 6.1 lentelėje.

6.2 lentelė. Pagrindinės tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės charakteristikos.

| Eil. Nr. | Pavadinimas               | Matavimo vienetai | Rodiklis |
|----------|---------------------------|-------------------|----------|
| 1.       | Naudingas plotas          | m <sup>2</sup>    | ≤1000    |
| 2.       | Atstumas nuo elektrinės   | m                 | ≤150     |
| 3.       | Supiltinės biokuro krūvos | m <sup>3</sup>    | 85-90    |
| 4.       | Priimamų vilkikų kiekis   | vnt./dieną        | ≤30      |

Vertinant investicijas tarpinei biokuro rūšiavimo aikštei ir jų įtaką deginamo biokuro kokybei, remiasi biokuro biržos „Baltpool“ 2014-2015 m. biokuro kainų statistika. Biokuro kainos palygintos 6.1 pav.





6.1 pav. Biokuro kaina 2014-2015 m. [24].

Kaip matoma iš grafiko (žr. 6.1 pav.), biokuro kaina kinta priklausomai nuo sezoniškumo. Šildymo sezono metu biokuro kaina 12 % didesnė nei vasaros sezono metu. Tai įtakoja drastiškai sumažėjantis biokuro sunaudojimas centralizuoto šilumos tiekimo įmonėse dėl mažesnių šilumos poreikių. 2015 m. kovo mėn. duomenimis, biokuro kaina Šiaulių rajone siekė 173 Eur/tne [24], o gamtinių dujų - 285,70 Eur/tne [25]. Apskaičiuojama antrinės energijos MWh kaina, naudojant skirtingos drėgmės biokurą ir biokuro su gamtinėmis dujomis mišinį.

6.3 lentelė. Deginamo biokuro ir kuro mišinio įvertinimas generuojant 1 MWh antrinės energijos.

| Eil. Nr. | Kuro rūšis     | Kuro mišiniai |                             | Energijos kaina |                             |
|----------|----------------|---------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
|          |                | Biokuras      | Biokuras ir gamtinės dujos* | Biokuras        | Biokuras ir gamtinės dujos* |
|          | Drėgmės kiekis | kg/MWh        |                             | Eur/MWh         |                             |
| 1.       | 30%            | 329,89        | 329,89                      | 13,90           | 13,90                       |
| 2.       | 40%            | 397,96        | 397,96                      | 16,76           | 16,76                       |
| 3.       | 50%            | 503,14        | 516,30                      | 21,19           | 25,55                       |
| 4.       | 60%            | 677,26        | 700,08                      | 28,53           | 35,88                       |
| 5.       | 70%            | 1050,51       | 1090,77                     | 44,25           | 57,33                       |
| 6.       | 80%            | 2315,17       | 2373,13                     | 97,52           | 116,32                      |

\* - kiekiai perskaičiuoti naudojant tiekiamų gamtinių dujų tankį  $q_d = 0,6855 \text{ kg/m}^3$ . [38]

Priimame, kad per metus biokuro termofikacinė elektrinė sudegins 20667,0 tne biokuro, kurio drėgmė svyruoja tarp 30-45 %. Pagal šiuo metu galiojančias biokuro kainas, šio kuro vertė siekia 3,6 mln. Eur. Biokuro nerūšiuojant tarpinėje biokuro aikštelėje, pagal biokuro termofikacinės elektrinės sukauptus duomenis, per metus sudeginama 25238,0 tne biokuro [36], kurio drėgmė svyruoja tarp 30-80 %. Pagal šiuo metu vyraujančias biokuro saugojimo aikštelių ir sandėlių statybos kainas, priimama, kad 1m<sup>2</sup> ploto biokuro saugojimo aikštelės su stogine ir

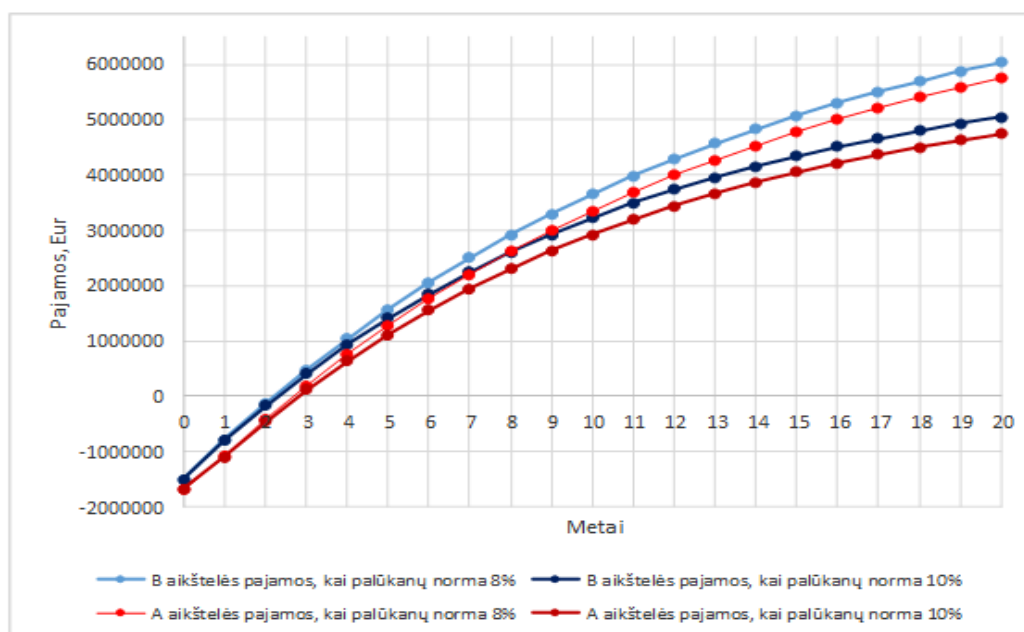
juostiniais biokuro transporteriais, įrengimas kainuoja apytiksliai 1500,00 Eur [43]. Skaičiuojant tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės investicijų atsipirkimo laiką, priimamos 8 % ir 10 % palūkanų normos.

6.4 lentelė. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės atsipirkimo laikas.

| Metai | Palūkanų norma 8% | Išlaidos   | Pajamos     | Palūkanų norma 10% | Išlaidos   | Pajamos     |
|-------|-------------------|------------|-------------|--------------------|------------|-------------|
|       |                   | Eur        | Eur         |                    | Eur        | Eur         |
| 0     | 1                 | 1500000,00 | -1500000,00 | 1                  | 1500000,00 | -1500000,00 |
| 1     | 0,9259            | 711353,23  | -788647,00  | 0,9091             | 698446,08  | -801553,92  |
| 2     | 0,8573            | 658649,02  | -129998,00  | 0,8264             | 634909,07  | -166644,85  |
| 3     | 0,7938            | 609863,05  | 479865,00   | 0,7513             | 577211,02  | 410566,16   |

Atlikus tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės investicijų atsipirkimo laiko skaičiavimus, įvertinant kasmetines eksploatacines aikštelės išlaidas, pradinės investicijas aikštelės įrengimui ir kuro sutaupymas, naudojant kokybiškesnį kurą, gaunama, kad tarpinė rūšiavimo aikštelė atsipirktų po 3 metų. Tačiau įvertinant tai, kad deginant kokybiškesnį kurą būtų išvengiama greitesnio įrangos dėvėjimosi ir už nekokybišką atvežtą biokurą tiekėjai privalėtų mokėti kompensacijas [12], darau prielaidą, kad tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės atsipirkimo laikotarpis sumažėtų iki 2 metų.

Lyginant dviejų skirtingų tipų tarpinės biokuro rūšiavimo aikšteles, priimama, kad 1 m<sup>2</sup> ploto biokuro saugojimo aikštelės su stogine įrengimas kainuoja apytiksliai 1300,00 Eur [43]. Aikštelei, kurios darbas vyktų be juostinių transporterių, o pasinaudojant auto krautuvais, reikalingos papildomos investicijos į auto techniką. Frontalinio ratinio krautuvo, kurio kaušo talpa iki 9,2 m<sup>3</sup>, kaina 192000,00 Eur [26]. Papildomų darbuotojų atlyginimui reiktų 25200,00 Eur, priimant, kad vairuotojo mėnesinė alga atskaičius mokesčius siektų 520,00 Eur. Gauti rezultatai lyginami 6.2 pav. pateiktame grafike. Išlaidų ir pajamų skaičiuotinių verčių lentelės pateikiamos G Priede.



6.2 pav. Pajamų kitimas, naudojant A ir B aikštelių alternatyvas.

Kaip matome iš grafiko (žr. 6.2 pav.), neautomatizuotos B alternatyvios tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės atsipirkimo laikas ilgesnis už A alternatyvos, tačiau abiem atvejais biokuro termofikacinė elektrinė ženkliai sumažintų nuostolius, patiriamus dėl nekokybiško biokuro deginimo.

#### 6.4 Ekonominis šilumos akumuliacijos talpos vertinimas

Šiaulių mieste kiekvienais metais nuo centralizuoto šilumos tiekimo sistemų atsijungia apie 15 vartotojų.[36] Didėjant renovuojamų gyvenamųjų namų skaičiui ir mažėjant šilumos poreikiams, darnus Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės eksploatavimas vasaros sezonu, gali tapti vis labiau komplikuoju. Dėl šios priežasties šilumos akumuliacijos talpos panaudojimas taps neišvengiamas, siekiant stabilų šilumos ir elektros energijos generavimo parametrų.

Tačiau kylant statybinių medžiagų kainoms, būtų neracionalu statyti naujas šilumos akumuliacijos talpas, neišnaudojant esamų, nenaudojamų rezervuavų ir jų konstrukcijų, kas ženkliai sumažintų reikalingas pradines investicijas. Nenaudojamo rezervuaro duomenys, pateikiami 6.4 lentelėje.

6.5 lentelė. Pagrindinės šilumos akumuliacijos talpos charakteristikos.

| Eil. Nr. | Pavadinimas                  | Matavimo vienetai | Rodiklis |
|----------|------------------------------|-------------------|----------|
| 1.       | Tūris                        | m <sup>3</sup>    | 2000,0   |
| 2.       | Paviršiaus plotas            | m <sup>2</sup>    | 645,0    |
| 3.       | Šiluminės izoliacijos storis | mm                | 100      |

Eksploatuojant šilumos akumuliacijos talpą, su šiuo metu esančia 100 mm storio šilumine izoliacija, per metus, dėl šilumos nuostolių į aplinką, būtų prarandama 6863,89 Eur apyvartinių lėšų. Papildomai izoliuojant buvusio rezervuaro sienas, naudojama akmens vata arba poliuretanas. 300mm storio akmens vatos plokščių kaina  $p_{Aiz} = 34,75 \text{ Eur/m}^2$  [27], 300mm storio uždarytų porų poliuretano kaina  $p_{Piz} = 48,18 \text{ Eur/m}^2$  [28]. Investiciniai kaštai šiluminei izoliacijai:

1) Akmens vata:

$$K_{Aiz} = F \cdot p_{Aiz} = 646,00 \cdot 34,75 = 22448,50 \text{ Eur}; \quad (6.5)$$

2) Poliuretanas:

$$K_{Piz} = F \cdot p_{Piz} = 646,00 \cdot 48,18 = 31124,28 \text{ Eur}. \quad (6.6)$$

Šiluminės izoliacijos montavimo darbų kaina  $p_m = 3,50 \text{ Eur./m}^2$  [30], talpos apskardinimo darbų kaina  $p_s = 7,00 \text{ Eur/m}^2$  [29]. Investiciniai kaštai izoliuojant talpos sienas:

1) Akmens vata:

$$K_A = K_{Aiz} + F \cdot (p_m + p_s) = 22448,50 + 646,00 \cdot (3,50 + 7,00) = 29231,50 \text{ Eur}; \quad (6.7)$$

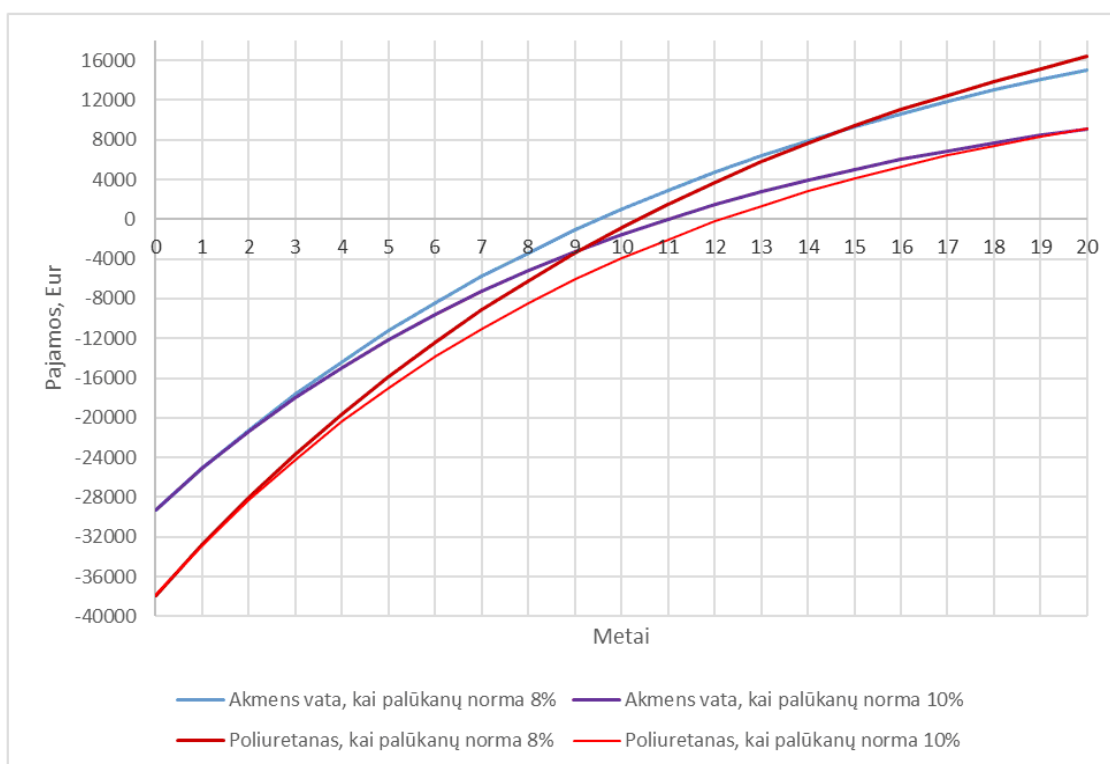
2) Poliuretano:

$$K_p = K_{Piz} + F \cdot (p_m + p_s) = 31124,28 + 646,00 \cdot (3,50 + 7,00) = 37907,28 \text{ Eur}; \quad (6.8)$$

6.6 lentelė. Investicijų įtaka šilumos nuostoliams pro talpos sienas.

| Eil. Nr. | Šiluminė izoliacija | Investicijos | Šilumos energijos nuostoliai prieš investicijas |         | Šilumos energijos nuostoliai po investicijų |         |
|----------|---------------------|--------------|---|---------|---|---------|
|          |                     | Eur          | kWh   | Eur     | kWh   | Eur     |
| 1.       | Akmens vata         | 29231,50     | 126407  | 6863,89 | 43450                                       | 2359,31 |
| 2.       | Poliuretanas        | 37907,28     |   |         | 24616                                       | 1336,65 |

Naudojant poliuretano šiluminę izoliaciją, šilumos nuostoliai per talpos sienas sumažėtų 18834 kWh, kas per metus padėtų sutaupyti 1022,68 Eur apyvartinių lėšų, lyginant su akmens vatos šilumine izoliacija. Skaičiuojant šiluminės izoliacijos investicijų atsipirkimo laiką, naudojant skirtingas šilumines izoliacijas, priimamos 8% ir 10% palūkanų normos.



6.3 pav. Pajamų kitimas, naudojant skirtingas šilumines izoliacijas.

Apskaičiavus išlaidas ir pajamas lyginant šilumos izoliaciją poliuretaną ir akmens vatą, gautos vertės, dvidešimties metų laikotarpyje, pateiktos 6.3 pav. Naudojant poliuretaną, pradinės investicijos, mažinant šilumos nuostolius per talpos sienas, būtų didesnės už akmens vatos, tačiau dėl gaunamos didesnės terminės sienos varžos, gaunami mažesni šilumos nuostoliai į aplinką. Lyginant poliuretano ir akmens vatos investicijas ir sutaupomos šilumos kiekius, gaunama, kad naudojant poliuretaną, investicijų atsipirkimo laikas apie vienuolika metų, o akmens vatos – apie dešimt. Tai sąlygoja didesnės pradinės investicijos naudojant poliuretano šiluminę izoliaciją. Tačiau eksploatuojant akumuliacinę talpą, izoliuotą poliuretano, dvidešimties

metų laikotarpyje, didesni lėšų sutaupymai gaunami po penkioliktų eksploataavimo metų. Išlaidų ir pajamų skaičiuotinių verčių lentelės pateikiamos G Priede.

## 6.5 Ekonominis šilumos siurblio vertinimas

Panaudojant šilumos siurblio technologiją tarpiniam termofikacinio vandens pašildymui, naudojant kondensacinio dūmų ekonomazerio nuotekose esančią šiluminę energiją, sugeneruojamas papildomas šilumos kiekis, nenaudojant kuro. Taip maksimaliai padidinamas deginamo kuro energetinis išnaudojimas. Šilumos siurblio, naudojančio R717 darbo agentą, charakteristikos pateikiamos 6.6 lentelėje.

6.7 lentelė. Pagrindiniai techniniai šilumos siurblio rodikliai.

| Eil. Nr. | Pavadinimas                             | Matavimo vienetai | Rodiklis |
|----------|---|-------------------|----------|
| 1.       | Šilumos siurblio galia                  | MW                | 0,192    |
| 2.       | Šilumos siurblio TRK                    | -                 | 6,61     |
| 3.       | Metinė šilumos gamyba                   | GWh/met           | 0,710    |
| 4.       | Metinis elektros energijos sunaudojimas | GWh/met           | 0,107    |

Šilumos siurblio kapitalinės investicijos sieks  $c = 580,00$  Eur/kW [31]. Bendri šilumos siurblio investiciniai kaštai:

$$K = Q_{\text{š}} \cdot c = 192,00 \cdot 580,00 = 111360,00 \text{ Eur}; \quad (6.9)$$

Per metus šilumos siurbliu pagaminta šilumos energija  $W_{\text{š}} = 1,288 \cdot 10^6$  kWh. Priimu, kad šilumos energija gyventojams parduodama po  $c = 5,43$  euro ct/kWh.[32] Tuomet metinės įplaukos už pagamintą šilumos energiją:[42]

$$S_{\text{š}} = W_{\text{š}} \cdot c = 0,710 \cdot 10^6 \cdot 0,0543 = 38553,00 \text{ Eur}; \quad (6.10)$$

Šilumos siurblio kompresorius, generuojant šilumos energiją, per metus sunaudoja  $W_E = 0,207 \cdot 10^6$  kWh elektros energijos. Elektros energijos, pagamintos biokuro termofikacinėje elektrinėje kaina  $c = 8,69$  euro ct/kWh.[36] Metinės išlaidos sunaudojamai elektros energijai :

$$S_E = W_E \cdot c = 0,107 \cdot 10^6 \cdot 0,0869 = 9298,30 \text{ Eur}; \quad (6.11)$$

Per metus techniniai šilumos siurblio sistemos priežiūrai skiriama iki 3000,00 Eur [33]. Šią sumą sudaro šilumos siurblio priežiūra, reikalingos armatūros ir detalių pirkimas ir keitimas, sistemos papildymas freonu ir kitos išlaidos, susijusios su šilumos siurblio sistemos eksploatavimu.

Pagal šiuo metu taikomas palūkanų normas, apskaičiuojamas šilumos siurblio sistemos atsipirkimo laikas, priimant 8% ir 10% palūkanų normas.

6.8 lentelė. Šilumos siurblio išlaidos ir gaunamos pajamos.

| Metai | Diskonto norma<br>8% | Diskontuotos išlaidos | Pajamos | Diskonto norma<br>10% | Diskontuotos išlaidos | Pajamos |
|-------|----------------------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|---------|
|       |                      | Eur.                  | Eur.    |                       | Eur.                  | Eur.    |
| 0     | 1                    | 111360                | -111360 | 1                     | 111360                | -111360 |
| 1     | 0,9259               | 24310                 | -87050  | 0,9091                | 23868                 | -87492  |
| 2     | 0,8573               | 22508                 | -64542  | 0,8264                | 21697                 | -65794  |
| 3     | 0,7938               | 20841                 | -43701  | 0,7513                | 19725                 | -46069  |
| 4     | 0,7350               | 19297                 | -24403  | 0,6830                | 17932                 | -28137  |
| 5     | 0,6806               | 17869                 | -6534   | 0,6209                | 16302                 | -11835  |
| 6     | 0,6302               | 16546                 | 10012   | 0,5645                | 14821                 | 2986    |
| 7     | 0,5835               | 15320                 | 25331   | 0,5132                | 13474                 | 16460   |
| 8     | 0,5403               | 14186                 | 39517   | 0,4665                | 12248                 | 28708   |
| 9     | 0,5002               | 13133                 | 52650   | 0,4241                | 11135                 | 39843   |
| 10    | 0,4632               | 12161                 | 64811   | 0,3855                | 10121                 | 49964   |

Atlikus išlaidų ir pajamų verčių skaičiavimą, gautos vertės pateiktos 6.7 lentelėje. Skaičiavimai atlikti atsižvelgus į planuojamą metinį šilumos generavimą, elektros ir šilumos kainas, eksploatacines išlaidas ir kapitalines investicijas. Gautu apytiksliau skaičiavimu, šilumos siurblio sistemos atsipirkimo laikotarpis nedidesnis nei 6 metai. Kadangi projektui įgyvendinti būtų naudojamos įmonės lėšos ir bankų teikiamų paskolų nereikėtų, darau prielaidą, jog sistemos atsipirkimo laikas sutrumpėtų iki 5,5 metų.

## IŠVADOS

- Skirtingo drėgnumo kuro degimo produktų skaičiavimo pagrindu nustatyti teoriniai ir praktiniai susidarančių dūmų, degimo procesui reikalingo oro kiekiai, dūmų entalpijos ir įvertinta drėgno įtaka kuro sąnaudoms, generuojant antrinę energiją.
- Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės paleidimo, stabdymo technologinių režimų eksploatacinių charakteristikų pagrindu įvertinta apkrovimo kaita paros ir sezonų eigoje, įvertintos sąlygos potencialiems technologinio proceso tobulinimo būdams.
- Ilgalaikių elektrinės eksploatacinių duomenų analizės pagrindu nustatyti esminiai trūkumai, susiję su naudojamu biokuro kokybe, sandėliavimo spragomis, nepanaudotu kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų šiluminiu potencialu ir vasaros sezono metu susiduriamu galios svyravimu.
- Atsižvelgiant į Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės sklypo užstatymą, parinktos dvi alternatyvios vietos tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės įrengimui, naudojant skirtingo tipo kuro tiekimą.
- Įvertintos galimybės panaudoti šilumos akumuliacinio talpą ir šilumos siurblio technologiją. Gauta, jog su šilumos siurbliu kiekvienais metais būtų pagaminama 0,710 GWh šiluminės energijos, naudojant tik elektros energiją iš termofikacinės elektrinės, o su šilumos akumuliacinio talpa sumažinamas elektrinės įrenginių valandinis galios reguliavimas ir gaunama papildomo termofikacinio vandens atsarga.
- Įvertinus teorinius susidarančių toksogenų kiekius ir praktinius kietųjų dalelių kiekius, gauta, kad tinkamai nereglamentuojant antrinio pelenų panaudojimo, vien Šiaulių mieste, sąvartynuose kaupiamų atliekų kiekis išauga 10 %, o bendras sąvartyno eksploataavimo laikas sutrumpėja 2 metais.
- Atliktas ekonominis termofikacinės elektrinės vertinimas, panaudojant papildomas šilumos generavimo ir akumuliacinio technologijas. Iš skaičiavimų gauta, jog tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės atsipirkimo laikas siektų du metus, šilumos siurblio technologija atsipirktų po šešių metų, o šilumos akumuliacinio talpai naudojant brangesnę šiluminę izoliaciją, gaunami didesni šiluminės energijos ir apyvartinių lėšų sutaupymai, todėl naujų technologijų panaudojimas pasiteisintų ir yra naudingas.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Gimbutis, G., Kajutis, K. ir kt. Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas, 1993.
2. Europos aplinkosaugos agentūros kombinuoto šilumos ir elektros energijos generavimo ataskaita 2012m. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/combined-heat-and-power-chp-1/combined-heat-and-power-chp-2> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-05-06).
3. Europos aplinkosaugos agentūros kombinuoto šilumos ir elektros energijos generavimo ataskaita 2010m. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/combined-heat-and-power-chp-1/combined-heat-and-power-chp-1> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-05-06).
4. Lietuvos Respublikos ataskaita apie pastangų padidinti didelio efektyvumo kogeneracijos dalį rezultatų pirmąjį įvertinimą. [http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos\\_kryptys/elektra\\_ir\\_siluma/Ataskaita\\_EU\\_CHP.pdf](http://www.enmin.lt/lt/activity/veiklos_kryptys/elektra_ir_siluma/Ataskaita_EU_CHP.pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2014-06-11).
5. Nacionalinė atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategija 2010-2015m. [http://www.lrv.lt/Posed\\_medz/2010/100621/58.pdf](http://www.lrv.lt/Posed_medz/2010/100621/58.pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2014-06-12).
6. Biokuro kogeneracija Lietuvoje. [http://www.lsta.lt/files/events/2013-10-10\\_Vastybes%20konf/19\\_Giedrius\\_VaitkeviciusAxis.pdf](http://www.lsta.lt/files/events/2013-10-10_Vastybes%20konf/19_Giedrius_VaitkeviciusAxis.pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2014-06-12).
7. Lietuvos Respublikos energijos išteklių rinkos įstatymas. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A516DE6B7EC2/uxLbfeLHbO> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-02).
8. Biokuro biržos prekybos biokuro produktais sąlygos 2015m. [http://www.baltpool.lt/uploads/files/20150423%201015%20Prekybos%20salygos%20\(nuo%2020150427\).pdf](http://www.baltpool.lt/uploads/files/20150423%201015%20Prekybos%20salygos%20(nuo%2020150427).pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-07).
9. V. Vars, U. Kask, P. Muiste, T. Pihu, S. Soosaar. Biokuro naudotojo žinynas, Vilnius: Žara, 2007.
10. Iš atliekų gaminamo kuro deginimas. <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/atliekutvarkymas/26.htm> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-11-21).
11. Šiaudai ir jų charakteristikos. <http://www.agroakademija.lt/inzinerija/energetika/?sid=1183> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-11-25).
12. Biokuro biržos, biokuro tiekimo tipinės sąlygos. [http://www.baltpool.lt/uploads/files/20150423%200950%20Tiekimo%20salygos%20\(nuo%2020150427\).pdf](http://www.baltpool.lt/uploads/files/20150423%200950%20Tiekimo%20salygos%20(nuo%2020150427).pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-04-20).
13. Biokuro transportavimo puspriekabės. <http://www.dominga.lt/lt/misko-technika/skiedroveziai-knapien/> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-12-02).



14. Šiluminių elektrinių statinių įrengimo taisyklės (1 priedas).  
<http://www3.lrs.lt/pls/inter3/oldsearch.preps2?Condition1=249211&Condition2=>  
(paskutinį kartą žiūrėta 2014-12-05).
15. Katilinių įrenginių įrengimo taisyklės.  
<http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/474/1/0/1/article/14263/katiliniu-irenginiu-irengimo-taisykles> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-12-05).
16. В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем Аккумуляирование тепла. Киев: Техника, 1991.
17. Poliuretano šiluminės izoliacijos fizikinės savybės. <http://termolitas.lt/siltinimo-sistemas-termolitas-silumine-varza-ir-kuo-skiriasi-atviru-ir-uzdaru-poru-ppu> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-21).
18. Akmens vatos šiluminės izoliacijos fizikinės savybės.  
<http://www.paroc.lt/~media/Files/Solutions%20and%20Products/thermal-resistance-table-INT.ashx> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-26).
19. Įvairių medžiagų šiluminio laidumo vertės. <http://www.de2.lt/naudinga-informacija/lentel%C4%97s/773-med%C5%BEiag%C5%B3-%C5%A1iluminis-laidumas> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-28).
20. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, vidutinės metinis vėjo greitis.  
<http://www.meteo.lt/klim.lt/klimatas.php?tipas=vejas> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-02).
21. Danish gas technology centre, Denmark/Heat storages for CHP optimisation.  
[http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/C0702\\_heat\\_storage\\_chp.pdf](http://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/C0702_heat_storage_chp.pdf)  
(paskutinį kartą žiūrėta 2015-01-12).
22. Akmens vatos gaminiai ir informacija. <http://www.paroc.lt/gaminiai-ir-sprendimai/gaminiai/pages/universalios-plokstes/paroc-extra-plus> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-01).
23. Tyndall centre of climate change research / The potential for thermal storage to reduce the overall carbon emissions from district heating systems.  
<http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/twp157.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-04-14).
24. Biokuro biržos „Baltpool“ prekybos apžvalga 2015m. kovo mėn.  
<http://www.baltpool.lt/lt/general/uploadAjax/download/id/828> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-14).
25. Vidutinė gamtinių dujų kaina, energetinių išteklių biržoje.  
[https://e.baltpool.lt/gas/?page\\_id=137](https://e.baltpool.lt/gas/?page_id=137) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-20).

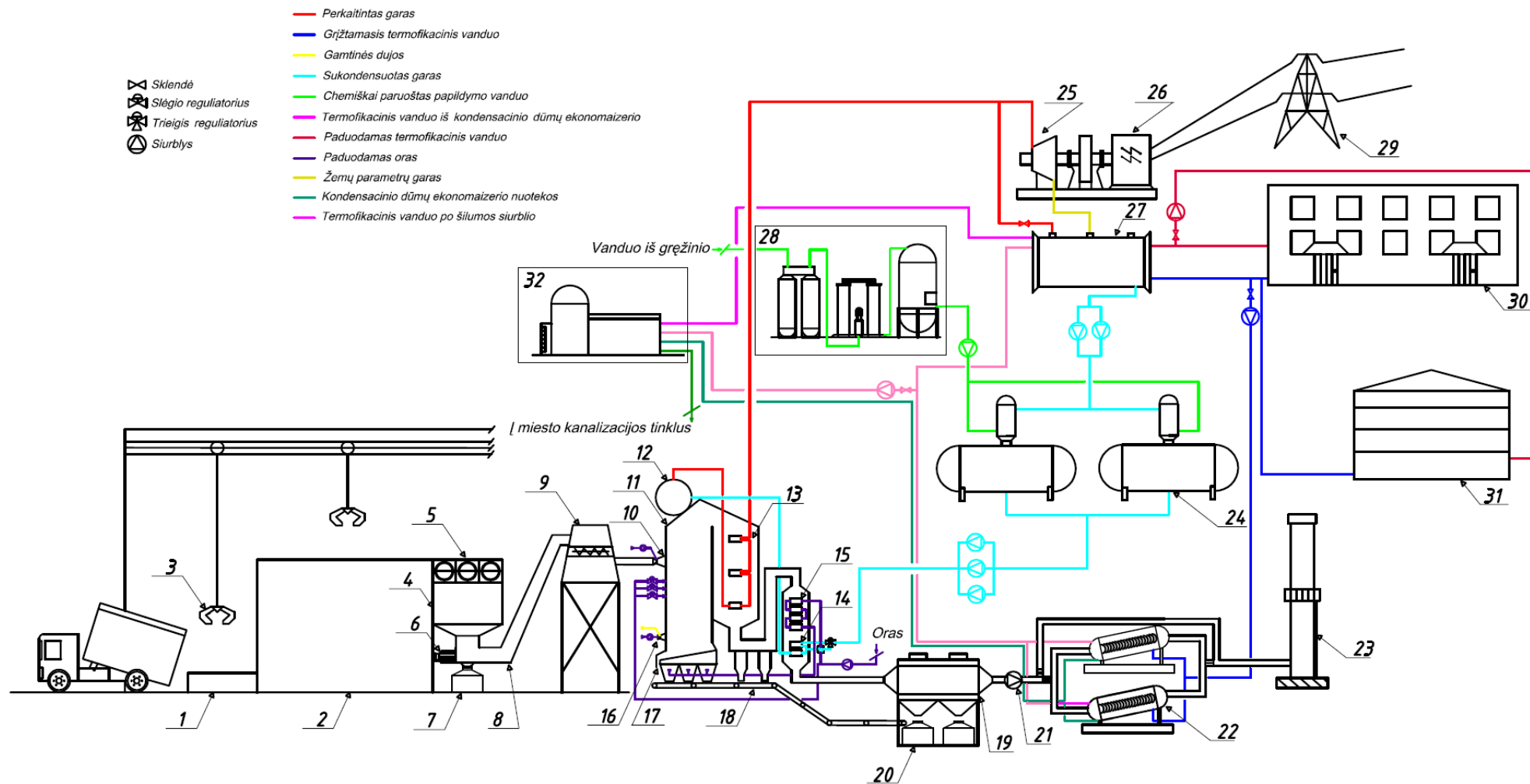
26. Frontalinių ratinių krautuvų kainų skaičiuoklė.  
<http://www.costowl.com/b2b/construction-equipment-cat-wheel-loaders-cost.html>  
(paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-11).
27. Paroc akmens vatos gaminių kainynas. [http://www.paroc.lt/tools-and-documents/~media/Files/Brochures/Lithuania/BI\\_Pricelist\\_full\\_2014-04\\_LT.ashx](http://www.paroc.lt/tools-and-documents/~media/Files/Brochures/Lithuania/BI_Pricelist_full_2014-04_LT.ashx)  
(paskutinį kartą žiūrėta 2015-04-23).
28. Poliuretano gaminių kainynas. <http://www.renlex.eu/kiem-kainuoja-poliuretanaspolistirolas-vata-apsiltinti-nama-sienas-poliuretano-kaina> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-03).
29. Skardinimo darbų kainynas. <http://www.stogudengimas-remontas.lt/stogo-darb371-kainininkas.html> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-03).
30. Apšiltinimo darbų kainynas.  
[http://www.fasaduapsiltinimas.lt/fasado\\_apsiltinimo\\_kaina74197-1-32.html](http://www.fasaduapsiltinimas.lt/fasado_apsiltinimo_kaina74197-1-32.html) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-05).
31. European Copper Institute / Industrial heat pumps. <http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/Cu0118%20-%20Industrial%20Heat%20Pumps%20-%20v2.pdf> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-02-12).
32. Šiaulių miesto karšto vandens kaina 2015m. gegužės mėn.  
<http://www.senergija.lt/Kaina/Silumos-energijos-ir-karsto-vandens-kaina> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-17).
33. Šilumos siurblių remonto ir eksploatavimo įkainiai.  
<http://www.heatpumppriceguides.com/repair-costs/> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-02-19).
34. Erdvinio-sluoksninio kuro deginimo garo katilo principinė schema.  
<http://www.babcock.com/PublishingImages/Fossil%20Energy%20Images/Process%20Recovery%20Boiler%20Illustration.jpg> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-09-26).
35. Nuožulnaus kondensacinis dūmų ekonomizeris. <http://www.axis.lt/get.php?i.146:w.190>  
(paskutinį kartą žiūrėta 2014-10-06).
36. AB „Šiaulių energija“ vidinės apskaitos internetinis puslapis „PepsManager“, puslapis konfidencialus (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-19).
37. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės baigiamasis projektas, Šiauliai: 2011.
38. AB „Lietuvos dujos“. Informacija apie gamtinių dujų kokybę 2013 m. Vilnius: Centrinė kalibravimo ir bandymų laboratorija, 2013.
39. Biomasės ir biokuro savybės. [http://www.asu.lt/nm/1-projektas/Atsinaujinantys\\_agrariniai/16.htm](http://www.asu.lt/nm/1-projektas/Atsinaujinantys_agrariniai/16.htm). (paskutinį kartą žiūrėta 2014-12-03).

40. Elektrostatinis filtras.  
[http://www.babcock.com/products/Documents/dryESP\\_illustration.jpg](http://www.babcock.com/products/Documents/dryESP_illustration.jpg) (paskutinį kartą žiūrėta 2014-10-13).
41. Garo turbina. <http://www.sumtp.lt/garo-turbina/> (paskutinį kartą žiūrėta 2014-10-19).
42. Česonis, V. Inžinerijos ekonomika: Finansiniai – ekonominiai sprendimai  
Kaunas: Technologija, 1992
43. Statybos įmonės UAB „Limega“ technologiniai patarimai ir įkainių formulavimas.
44. „Scheuch GmbH“ Dry electrostatic precipitators for flue gas dedusting.  
[http://www.scheuch.com/assets/folders/sprachen/Elektrofilter\\_englisch.pdf](http://www.scheuch.com/assets/folders/sprachen/Elektrofilter_englisch.pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-21).
45. Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės, patvirtintos 2011 m. sausio 5 d. Nr. D1-14 įsakymu.  
[http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc\\_l?p\\_id=390822&p\\_query=&p\\_tr2=](http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=390822&p_query=&p_tr2=)  
(paskutinį kartą žiūrėta 2015-03-02).
46. Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių pakeitimas, patvirtintas 2014 m. birželio 25 d. Nr. D1-572 įsakymu. <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/44122c00fc7d11e39cfacd978b6fd9bb> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-04).
47. Refrigerants for industrial heat pumps.  
[http://www.industrialheatpumps.nl/en/how\\_it\\_works/refrigerants/](http://www.industrialheatpumps.nl/en/how_it_works/refrigerants/) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-02-26).
48. Natural refrigerants. [http://www.linde-gas.com/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/natural\\_refrigerants/R290\\_propane/index.html](http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/R290_propane/index.html) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-02-26).
49. Biokuras ir centralizuotas šilumos tiekimas Lietuvoje.  
[http://www.lsta.lt/files/seminarai/091217\\_LEI%20seminaras/Stasiunai.pdf](http://www.lsta.lt/files/seminarai/091217_LEI%20seminaras/Stasiunai.pdf) (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-06)
50. Garo turbinos principinė schema. [http://www.totalizm.pl/14/14\\_k09b.gif](http://www.totalizm.pl/14/14_k09b.gif) (paskutinį kartą žiūrėta (2015-04-25)).
51. Valstybinė miškų tarnyba.  
<http://www.amvmt.lt/Naujienos/NewsDetails.aspx?&ID=692&MID=0> (paskutinį kartą žiūrėta 2015-05-14).

**PRIEDAI**

**A PRIEDAS**

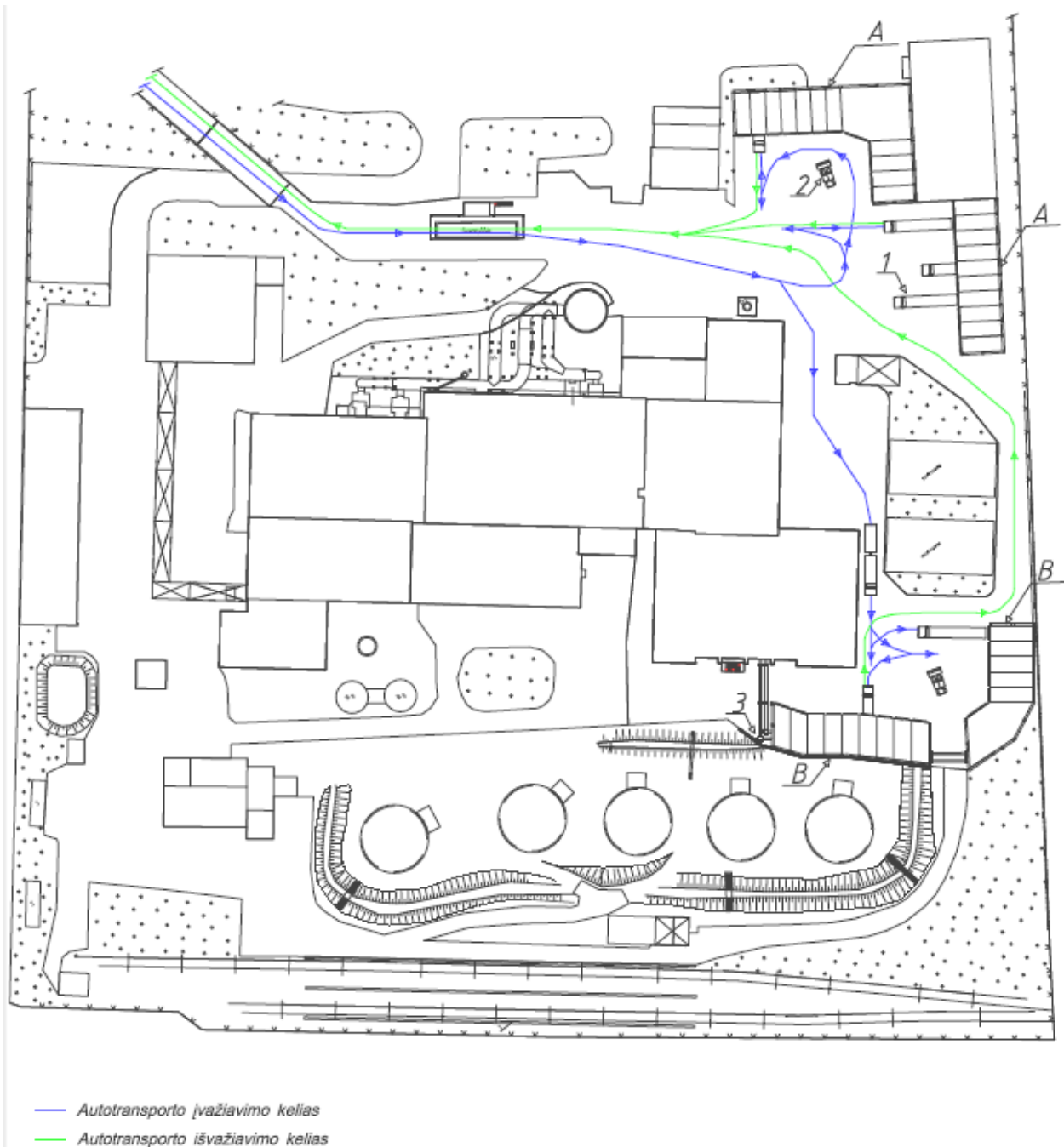
Technologinė biokuro termofikacinės elektrinės schema



A.1 pav. Biokuro termofikacinės elektrinės technologinė schema: 1 –kuro išpylimo prieduobė; 2 –kuro sandėlis; 3 – greiferiniai kranai; 4 –tarpinis kuro bunkeris ; 5- sraigtiniai transporteriai; 6 – kuro rūšiuotuvai; 7 – netinkamos frakcijos kuro konteineris; 8 – grandikliniai transporteriai; 9 – pakuros kuro bunkeris; 10 – pneumatiniai kuro skirstytuvai; 11 – garo katilas; 12 – garo katilo būgnas ; 13 – garo perkaitintuvai; 14 – tarpinis vandens pašildymas; 15 – tiekiamo oro pašildytuvai; 16 – gamtinių dujų degikliai; 17 – ardynas; 18 – pakuros pelenų transporteris; 19 – elektrosstatiniai filtrai; 20 – pelenų konteineriai; 21 – dūmsiurbė; 22 – kondensaciniai dūmų ekonomaižeriai; 23 – kaminas; 24 – deaeratoriai; 25 – garo turbina; 26 – elektros generatorius; 27 – garo kondensatorius; 28 – chemiškai valyto vandens paruošimo įranga; 29 – elektros skirstomieji tinklai; 30 – šilumos vartotojai; 31 – šilumos akumuliavimo talpa; 32 – šilumos siurblys.

## **B PRIEDAS**

Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės planas



A.1 pav. Tarpinės biokuro rūšiavimo aikštelės ir transporto judėjimo kelių planas įmonės AB „Šiaulių energija“ generaliniame sklypo plane. A – alternatyvi neautomatizuota tarpinė biokuro rūšiavimo aikštelė; B – alternatyvi automatizuota tarpinė biokuro rūšiavimo aikštelė; 1 – autovilkikas; 2 – frontalinis ratinis kuro krautuvas; 3 – juostiniai transporteriai.

## **C PRIEDAS**

Biokuro degimo procesų parametru skaičiavimai



C.1 lentelė. Biokuro elementinės sudėties perskaičiavimo rezultatai.

| Kuro rūšis | $C^n$ | $H^n$ | $S_d^n$ | $O^n$ | $N^n$ | $A^n$ | $W^n$ | $Q_a^n$ | Lakiosios medžiagos |
|------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|---------------------|
|            | %     |       |         |       |       |       |       | kJ/kg   | %                   |
| Biokuras   | 35,35 | 4,2   | -       | 29,33 | 0,42  | 0,7   | 30    | 12384   | 85                  |
|            | 30,3  | 3,6   | -       | 25,1  | 0,4   | 0,6   | 40    | 10262   |                     |
|            | 25,2  | 3     | -       | 20,9  | 0,3   | 0,5   | 50    | 8120    |                     |
|            | 20,18 | 2,42  | -       | 16,74 | 0,26  | 0,4   | 60    | 6021    |                     |
|            | 15,14 | 1,8   | -       | 12,58 | 0,18  | 0,3   | 70    | 3874    |                     |
|            | 10,08 | 1,2   | -       | 8,38  | 0,14  | 0,2   | 80    | 1746    |                     |

C.2 lentelė. Skirtingos drėgmės biokuro degimo proceso parametrų skaičiavimo rezultatai

| Biokuro drėgmė, % | $M_{O_2}$ | $V_0^t$            | $V_0$              | $V_{RO_2}$         | $V_{N_2}^t$        | $V_{H_2O}^t$       | $V_d$              | $V_{sd}^t$         | $V_{N_2}$          | $V_{H_2O}$         | $V_{sd}$           | $V_d$              |
|-------------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                   | kg        | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg |
| 30                | 0,983     | 3,620              | 5,068              | 0,660              | 2,863              | 0,562              | 4,085              | 3,523              | 4,007              | 0,585              | 4,971              | 5,556              |
| 40                | 0,843     | 3,105              | 4,347              | 0,565              | 2,456              | 0,945              | 3,967              | 3,021              | 3,437              | 0,966              | 4,263              | 5,229              |
| 50                | 0,701     | 2,357              | 3,230              | 0,470              | 1,864              | 0,991              | 3,325              | 2,334              | 2,631              | 1,006              | 3,277              | 4,283              |
| 60                | 0,563     | 2,073              | 2,902              | 0,376              | 1,640              | 1,046              | 3,062              | 2,016              | 2,295              | 1,059              | 2,845              | 3,904              |
| 70                | 0,421     | 1,550              | 2,170              | 0,283              | 1,226              | 1,093              | 2,602              | 1,509              | 1,716              | 1,103              | 2,129              | 3,232              |
| 80                | 0,28      | 1,031              | 1,443              | 0,188              | 0,816              | 1,142              | 2,146              | 1,004              | 1,141              | 1,148              | 1,416              | 2,564              |

C.3 lentelė. Skirtingos drėgmės biokuro sąnaudų, disponuojamos šiluminės energijos ir dūmų entalpijų skaičiavimų rezultatai.

| Biokuro drėgmė,<br>% | $Q_o$   | $Q_{disp}$ | $B$      | $V_o^{ns}$          | $V_o^{rs}$         | $H_d^t, 760^\circ\text{C}$ | $H_d, 760^\circ\text{C}$ | $H_d^t, 142^\circ\text{C}$ | $H_d, 142^\circ\text{C}$ | $H_d^t, 46^\circ\text{C}$ | $H_d, 46^\circ\text{C}$ |
|----------------------|---------|------------|----------|---------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                      | kJ/kg   | kJ/kg      | kg/h     | Nm <sup>3</sup> /kg | m <sup>3</sup> /kg | kJ/kg                      | kJ/kg                    | kJ/kg                      | kJ/kg                    | kJ/kg                     | kJ/kg                   |
| 30                   | 130,653 | 12514,65   | 13340,69 | 67610,63            | 72561,07           | 4774,09                    | 4814,00                  | 824,70                     | 862,46                   | 263,72                    | 301,16                  |
| 40                   | 112,066 | 10374,07   | 16093,41 | 69958,07            | 75080,39           | 4678,60                    | 4764,17                  | 806,35                     | 838,74                   | 257,76                    | 289,88                  |
| 50                   | 85,069  | 8205,07    | 20347,20 | 65721,46            | 70533,58           | 3961,88                    | 3987,86                  | 680,97                     | 705,56                   | 216,52                    | 240,90                  |
| 60                   | 74,819  | 6095,82    | 27388,30 | 79480,85            | 85300,42           | 3646,61                    | 3669,46                  | 627,04                     | 648,66                   | 200,36                    | 221,80                  |
| 70                   | 55,943  | 3929,94    | 42482,58 | 92187,20            | 98937,13           | 3122,21                    | 3139,30                  | 535,89                     | 552,06                   | 171,18                    | 187,21                  |
| 80                   | 37,211  | 1783,21    | 93625,56 | 135101,68           | 144993,80          | 2601,42                    | 2612,79                  | 445,41                     | 456,16                   | 142,22                    | 152,88                  |

## **D PRIEDAS**

Šilumos generavimo, pritaikant šilumos akumuliacijos talpą, vertinimo duomenys

| Val. | 2014.06.01            |                               |                           |                                    | 2014.06.02            |                               |                           |                                    |
|------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
|      | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia |
|      | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 |
| 9    | 18,22                 | 18,71                         | 18,72                     | 0,50                               | 19,69                 | 19,26                         | 19,26                     | -0,24                              |
| 10   | 18,38                 |                               | 18,72                     | 0,34                               | 19,13                 |                               | 19,26                     | 0,14                               |
| 11   | 18,78                 |                               | 18,72                     | -0,06                              | 19,38                 |                               | 19,26                     | -0,11                              |
| 12   | 19,13                 |                               | 18,72                     | -0,41                              | 19,81                 |                               | 19,26                     | -0,55                              |
| 13   | 18,00                 |                               | 18,72                     | 0,72                               | 19,22                 |                               | 19,26                     | 0,04                               |
| 14   | 18,09                 |                               | 18,72                     | 0,63                               | 18,38                 |                               | 19,26                     | 0,89                               |
| 15   | 18,19                 |                               | 18,72                     | 0,53                               | 19,03                 |                               | 19,26                     | 0,23                               |
| 16   | 18,13                 |                               | 18,72                     | 0,59                               | 19,28                 |                               | 19,26                     | -0,02                              |
| 17   | 18,09                 |                               | 18,72                     | 0,63                               | 19,59                 |                               | 19,26                     | -0,33                              |
| 18   | 18,38                 |                               | 18,72                     | 0,34                               | 19,19                 |                               | 19,26                     | 0,07                               |
| 19   | 20,34                 |                               | 18,72                     | -1,62                              | 18,63                 |                               | 19,26                     | 0,64                               |
| 20   | 20,47                 |                               | 18,72                     | -1,75                              | 20,09                 |                               | 19,26                     | -0,83                              |
| 21   | 20,41                 |                               | 18,72                     | -1,69                              | 20,19                 |                               | 19,26                     | -0,93                              |
| 22   | 19,69                 |                               | 18,72                     | -0,97                              | 20,31                 |                               | 19,26                     | -1,05                              |
| 23   | 19,44                 |                               | 18,72                     | -0,72                              | 19,50                 |                               | 19,26                     | -0,24                              |
| 24   | 18,06                 |                               | 18,72                     | 0,66                               | 19,31                 |                               | 19,26                     | -0,05                              |
| 1    | 19,13                 |                               | 18,72                     | -0,41                              | 20,09                 |                               | 19,26                     | -0,83                              |
| 2    | 16,97                 |                               | 18,72                     | 1,75                               | 19,00                 |                               | 19,26                     | 0,26                               |
| 3    | 16,44                 |                               | 18,72                     | 2,28                               | 17,38                 |                               | 19,26                     | 1,89                               |
| 4    | 17,28                 |                               | 18,72                     | 1,44                               | 18,63                 |                               | 19,26                     | 0,64                               |
| 5    | 17,72                 |                               | 18,72                     | 1,00                               | 18,69                 |                               | 19,26                     | 0,57                               |
| 6    | 18,41                 |                               | 18,72                     | 0,31                               | 19,31                 |                               | 19,26                     | -0,05                              |
| 7    | 20,88                 |                               | 18,72                     | -2,16                              | 19,88                 |                               | 19,26                     | -0,61                              |
| 8    | 20,50                 |                               | 18,72                     | -1,78                              | 18,59                 |                               | 19,26                     | 0,67                               |
| Val. | 2014.06.03            |                               |                           |                                    | 2014.06.04            |                               |                           |                                    |
|      | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia |
|      | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 |
| 9    | 19,13                 | 18,65                         | 18,65                     | -0,33                              | 16,81                 | 17,71                         | 17,71                     | 1,02                               |
| 10   | 19,09                 |                               | 18,65                     | -0,44                              | 18,41                 |                               | 17,71                     | -0,70                              |
| 11   | 19,00                 |                               | 18,65                     | -0,35                              | 18,28                 |                               | 17,71                     | -0,57                              |
| 12   | 18,69                 |                               | 18,65                     | -0,04                              | 18,09                 |                               | 17,71                     | -0,38                              |

|      |                       |                               |                           |                                    |                       |                               |                           |                                    |  |
|------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| 13   | 19,13                 |                               | 18,65                     | -0,48                              | 17,91                 |                               | 17,71                     | -0,20                              |  |
| 14   | 19,56                 |                               | 18,65                     | -0,91                              | 18,09                 |                               | 17,71                     | -0,38                              |  |
| 15   | 19,53                 |                               | 18,65                     | -0,88                              | 18,19                 |                               | 17,71                     | -0,48                              |  |
| 16   | 19,59                 |                               | 18,65                     | -0,94                              | 18,13                 |                               | 17,71                     | -0,41                              |  |
| 17   | 19,09                 |                               | 18,65                     | -0,44                              | 18,00                 |                               | 17,71                     | -0,29                              |  |
| 18   | 19,72                 |                               | 18,65                     | -1,07                              | 17,69                 |                               | 17,71                     | 0,02                               |  |
| 19   | 19,38                 |                               | 18,65                     | -0,73                              | 18,09                 |                               | 17,71                     | -0,38                              |  |
| 20   | 18,59                 |                               | 18,65                     | 0,06                               | 18,09                 |                               | 17,71                     | -0,38                              |  |
| 21   | 18,41                 |                               | 18,65                     | 0,24                               | 17,41                 |                               | 17,71                     | 0,30                               |  |
| 22   | 19,44                 |                               | 18,65                     | -0,79                              | 18,72                 |                               | 17,71                     | -1,01                              |  |
| 23   | 19,56                 |                               | 18,65                     | -0,91                              | 17,50                 |                               | 17,71                     | 0,21                               |  |
| 24   | 17,63                 |                               | 18,65                     | 1,03                               | 16,28                 |                               | 17,71                     | 1,43                               |  |
| 1    | 18,09                 |                               | 18,65                     | 0,56                               | 17,09                 |                               | 17,71                     | 0,62                               |  |
| 2    | 17,50                 |                               | 18,65                     | 1,15                               | 16,22                 |                               | 17,71                     | 1,49                               |  |
| 3    | 16,41                 |                               | 18,65                     | 2,24                               | 15,59                 |                               | 17,71                     | 2,12                               |  |
| 4    | 17,41                 |                               | 18,65                     | 1,24                               | 16,72                 |                               | 17,71                     | 0,99                               |  |
| 5    | 17,16                 |                               | 18,65                     | 1,49                               | 18,19                 |                               | 17,71                     | -0,48                              |  |
| 6    | 18,22                 |                               | 18,65                     | 0,43                               | 18,31                 |                               | 17,71                     | -0,60                              |  |
| 7    | 18,81                 |                               | 18,65                     | -0,16                              | 18,59                 |                               | 17,71                     | -0,88                              |  |
| 8    | 18,50                 |                               | 18,65                     | 0,15                               | 18,69                 |                               | 17,71                     | -0,98                              |  |
|      |                       | 2014.06.05                    |                           |                                    |                       | 2014.06.06                    |                           |                                    |  |
| Val. | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia |  |
|      | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 |  |
| 9    | 17,78                 | 17,57                         | 17,57                     | -0,15                              | 18,13                 | 17,41                         | 17,41                     | -0,56                              |  |
| 10   | 16,72                 |                               | 17,57                     | 0,85                               | 17,50                 |                               | 17,41                     | -0,09                              |  |
| 11   | 17,31                 |                               | 17,57                     | 0,26                               | 16,38                 |                               | 17,41                     | 1,04                               |  |
| 12   | 17,59                 |                               | 17,57                     | -0,02                              | 16,41                 |                               | 17,41                     | 1,00                               |  |
| 13   | 17,09                 |                               | 17,57                     | 0,48                               | 18,09                 |                               | 17,41                     | -0,68                              |  |
| 14   | 17,31                 |                               | 17,57                     | 0,26                               | 18,22                 |                               | 17,41                     | -0,81                              |  |
| 15   | 17,09                 |                               | 17,57                     | 0,48                               | 17,88                 |                               | 17,41                     | -0,47                              |  |
| 16   | 18,00                 |                               | 17,57                     | -0,43                              | 17,69                 |                               | 17,41                     | -0,28                              |  |
| 17   | 18,31                 |                               | 17,57                     | -0,74                              | 18,31                 |                               | 17,41                     | -0,90                              |  |
| 18   | 18,59                 |                               | 17,57                     | -1,02                              | 14,72                 |                               | 17,41                     | 2,69                               |  |
| 19   | 18,59                 |                               | 17,57                     | -1,02                              | 15,69                 |                               | 17,41                     | 1,72                               |  |
| 20   | 18,00                 |                               | 17,57                     | -0,43                              | 18,91                 |                               | 17,41                     | -1,50                              |  |
| 21   | 19,31                 |                               | 17,57                     | -1,74                              | 18,22                 |                               | 17,41                     | -0,81                              |  |
| 22   | 19,09                 |                               | 17,57                     | -1,52                              | 18,16                 |                               | 17,41                     | -0,75                              |  |
| 23   | 17,28                 |                               | 17,57                     | 0,29                               | 18,22                 |                               | 17,41                     | -0,81                              |  |

|      |                       |                               |                           |                                    |                       |                               |                           |                                    |  |
|------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--|
| 24   | 16,59                 |                               | 17,57                     | 0,98                               | 15,72                 |                               | 17,41                     | 1,69                               |  |
| 1    | 17,22                 |                               | 17,57                     | 0,35                               | 18,88                 |                               | 17,41                     | -1,47                              |  |
| 2    | 16,09                 |                               | 17,57                     | 1,48                               | 17,72                 |                               | 17,41                     | -0,31                              |  |
| 3    | 15,00                 |                               | 17,57                     | 2,57                               | 16,59                 |                               | 17,41                     | 0,82                               |  |
| 4    | 16,69                 |                               | 17,57                     | 0,88                               | 17,22                 |                               | 17,41                     | 0,19                               |  |
| 5    | 17,41                 |                               | 17,57                     | 0,16                               | 17,41                 |                               | 17,41                     | 0,00                               |  |
| 6    | 17,50                 |                               | 17,57                     | 0,07                               | 17,59                 |                               | 17,41                     | -0,18                              |  |
| 7    | 18,22                 |                               | 17,57                     | -0,65                              | 17,19                 |                               | 17,41                     | 0,22                               |  |
| 8    | 18,78                 |                               | 17,57                     | -1,21                              | 16,97                 |                               | 17,41                     | 0,44                               |  |
|      |                       |                               | 2014.06.07                |                                    |                       | 2014.06.08                    |                           |                                    |  |
| Val. | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia | Suminė šiluminė galia | Vidutinė paros šiluminė galia | Elektrinės šiluminė galia | Šilumos akumuliacijos talpos galia |  |
|      | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 | MW                    | MW                            | MW                        | MW                                 |  |
| 9    | 17,03                 |                               | 16,96                     | 0,14                               | 16,500                |                               | 17,23                     | 0,77                               |  |
| 10   | 17,19                 |                               | 16,96                     | -0,23                              | 16,718                |                               | 17,23                     | 0,52                               |  |
| 11   | 16,63                 |                               | 16,96                     | 0,34                               | 16,594                |                               | 17,23                     | 0,65                               |  |
| 12   | 16,19                 |                               | 16,96                     | 0,77                               | 16,813                |                               | 17,23                     | 0,43                               |  |
| 13   | 15,28                 |                               | 16,96                     | 1,68                               | 16,562                |                               | 17,23                     | 0,68                               |  |
| 14   | 16,72                 |                               | 16,96                     | 0,24                               | 15,031                |                               | 17,23                     | 2,21                               |  |
| 15   | 16,88                 |                               | 16,96                     | 0,09                               | 16,594                |                               | 17,23                     | 0,65                               |  |
| 16   | 17,53                 |                               | 16,96                     | -0,57                              | 16,719                |                               | 17,23                     | 0,52                               |  |
| 17   | 17,19                 |                               | 16,96                     | -0,23                              | 16,594                |                               | 17,23                     | 0,65                               |  |
| 18   | 17,63                 |                               | 16,96                     | -0,66                              | 16,781                |                               | 17,23                     | 0,46                               |  |
| 19   | 18,25                 |                               | 16,96                     | -1,29                              | 18,281                |                               | 17,23                     | -1,04                              |  |
| 20   | 18,13                 |                               | 16,96                     | -1,17                              | 18,219                |                               | 17,23                     | -0,98                              |  |
| 21   | 17,78                 | 16,97                         | 16,96                     | -0,82                              | 18,406                | 17,22                         | 17,23                     | -1,17                              |  |
| 22   | 18,31                 |                               | 16,96                     | -1,35                              | 18,500                |                               | 17,23                     | -1,26                              |  |
| 23   | 18,13                 |                               | 16,96                     | -1,17                              | 18,188                |                               | 17,23                     | -0,95                              |  |
| 24   | 16,97                 |                               | 16,96                     | -0,01                              | 17,312                |                               | 17,23                     | -0,07                              |  |
| 1    | 16,63                 |                               | 16,96                     | 0,34                               | 18,000                |                               | 17,23                     | -0,76                              |  |
| 2    | 16,09                 |                               | 16,96                     | 0,87                               | 16,313                |                               | 17,23                     | 0,93                               |  |
| 3    | 15,28                 |                               | 16,96                     | 1,68                               | 14,406                |                               | 17,23                     | 2,83                               |  |
| 4    | 16,81                 |                               | 16,96                     | 0,15                               | 16,750                |                               | 17,23                     | 0,49                               |  |
| 5    | 16,59                 |                               | 16,96                     | 0,37                               | 17,219                |                               | 17,23                     | 0,02                               |  |
| 6    | 16,50                 |                               | 16,96                     | 0,46                               | 18,812                |                               | 17,23                     | -1,57                              |  |
| 7    | 16,81                 |                               | 16,96                     | 0,15                               | 19,219                |                               | 17,23                     | -1,98                              |  |
| 8    | 16,69                 |                               | 16,96                     | 0,27                               | 18,875                |                               | 17,23                     | -1,64                              |  |

## **E PRIEDAS**

Rezervuaro atitvarų terminių varžų ir šilumos nuostolių skaičiavimai

E.1 lentelė. Rezervuaro sienų terminių varžų skaičiavimų rezultatai, naudojant akmenis vatą.

| Šiluminės izoliacijos storis | $R_{s1}$          | $R_{s2}$          | $R_{s3}$          | $R_{s\Sigma}$     | $R_{2a}$          | $T_{f1}$ | $T_{f2}$ | $R_{1a}$          | $R_{\Sigma}$      |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| mm                           | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | K        | K        | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ |
| 100                          | 0,00023           | 2,5641            | 0,000031          | 2,5644            | 0,121             | 343,15   | 283,15   | 0,00023           | 2,686             |
| 200                          |                   | 5,1282            |                   | 5,1284            |                   |          |          |                   | 5,2497            |
| 300                          |                   | 7,6923            |                   | 7,6926            |                   |          |          |                   | 7,8138            |
| 400                          |                   | 10,2564           |                   | 10,256            |                   |          |          |                   | 10,3779           |
| 500                          |                   | 12,8205           |                   | 12,8208           |                   |          |          |                   | 12,9419           |

E.2 lentelė. Rezervuaro sienų temperatūrų kitimo ir šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai, naudojant akmenis vatą.

| Šiluminės izoliacijos storis | q       | $T_{p1}$ | $T_{p3}$ | $T_{p4}$ | $T_{p2}$ | Q     |
|------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|-------|
| mm                           | $W/m^2$ | K        | K        | K        | K        | kW    |
| 100                          | 22,341  | 343,145  | 343,14   | 285,854  | 285,853  | 11,26 |
| 200                          | 11,4293 | 343,147  | 343,145  | 285,533  | 284,532  | 5,76  |
| 300                          | 7,6787  | 343,148  | 343,146  | 284,079  | 284,079  | 3,87  |
| 400                          | 5,7815  | 343,149  | 343,147  | 283,85   | 283,85   | 2,91  |
| 500                          | 4,6361  | 343,149  | 343,148  | 283,711  | 283,711  | 2,34  |

E.3 lentelė. Rezervuaro stogo terminių varžų skaičiavimų rezultatai, naudojant akmenis vatą.

| Šiluminės izoliacijos storis | $R_{s1}$          | $R_{s2}$          | $R_{s3}$          | $R_{s\Sigma}$     | $R_{2a}$          | $T_{f1}$ | $T_{f2}$ | $R_{1a}$          | $R_{\Sigma}$      |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| mm                           | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | K        | K        | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ |
| 100                          | 0,00017           | 2,5641            | 0,000044          | 2,564             | 0,107             | 343,15   | 283,15   | 0,00023           | 2,672             |
| 200                          |                   | 5,1282            |                   | 5,128             |                   |          |          |                   | 5,236             |
| 300                          |                   | 7,6923            |                   | 7,693             |                   |          |          |                   | 7,800             |
| 400                          |                   | 10,2564           |                   | 10,257            |                   |          |          |                   | 10,364            |
| 500                          |                   | 12,8205           |                   | 12,821            |                   |          |          |                   | 12,928            |

E.4 lentelė. Rezervuaro stogo temperatūrų kitimo ir šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai, naudojant akmenis vatą.

| Šiluminės izoliacijos storis | q       | $T_{p1}$ | $T_{p3}$ | $T_{p4}$ | $T_{p2}$ | Q    |
|------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|------|
| mm                           | $W/m^2$ | K        | K        | K        | K        | kW   |
| 100                          | 22,459  | 343,145  | 343,141  | 285,554  | 285,553  | 3,17 |
| 200                          | 11,46   | 343,147  | 343,145  | 284,376  | 284,376  | 1,62 |
| 300                          | 7,693   | 343,148  | 343,147  | 283,973  | 283,973  | 1,09 |
| 400                          | 5,7894  | 343,149  | 343,148  | 283,77   | 283,77   | 0,82 |
| 500                          | 4,641   | 343,149  | 343,148  | 283,647  | 283,647  | 0,65 |



E.5 lentelė. Rezervuaro sienų terminių varžų skaičiavimų rezultatai, naudojant poliuretana.

| Šiluminės izoliacijos storis | $R_{s1}$          | $R_{s2}$          | $R_{s3}$          | $R_{s\Sigma}$     | $R_{2a}$          | $T_{f1}$ | $T_{f2}$ | $R_{1a}$          | $R_{\Sigma}$      |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| mm                           | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | K        | K        | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ |
| 100                          | 0,00023           | 4,5454            | 0,000031          | 4,546             | 0,121             | 343,15   | 283,15   | 0,00023           | 4,667             |
| 200                          |                   | 9,0909            |                   | 9,091             |                   |          |          |                   | 9,212             |
| 300                          |                   | 13,6364           |                   | 13,637            |                   |          |          |                   | 13,758            |
| 400                          |                   | 18,1818           |                   | 18,182            |                   |          |          |                   | 18,303            |
| 500                          |                   | 22,7275           |                   | 22,728            |                   |          |          |                   | 22,849            |

E.6 lentelė. Rezervuaro sienų temperatūrų kitimo ir šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai, naudojant poliuretana.

| Šiluminės izoliacijos storis | q       | $T_{p1}$ | $T_{p3}$ | $T_{p4}$ | $T_{p2}$ | Q    |
|------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|------|
| mm                           | $W/m^2$ | K        | K        | K        | K        | kW   |
| 100                          | 12,8564 | 343,147  | 343,144  | 284,706  | 284,706  | 6,5  |
| 200                          | 6,513   | 343,148  | 343,147  | 283,938  | 283,938  | 3,28 |
| 300                          | 4,3611  | 343,149  | 343,148  | 283,678  | 283,678  | 2,2  |
| 400                          | 3,2781  | 343,149  | 343,148  | 283,547  | 283,547  | 1,65 |
| 500                          | 2,626   | 343,149  | 343,149  | 283,468  | 283,468  | 1,32 |

E.7 lentelė. Rezervuaro stogo terminių varžų skaičiavimų rezultatai, naudojant poliuretana.

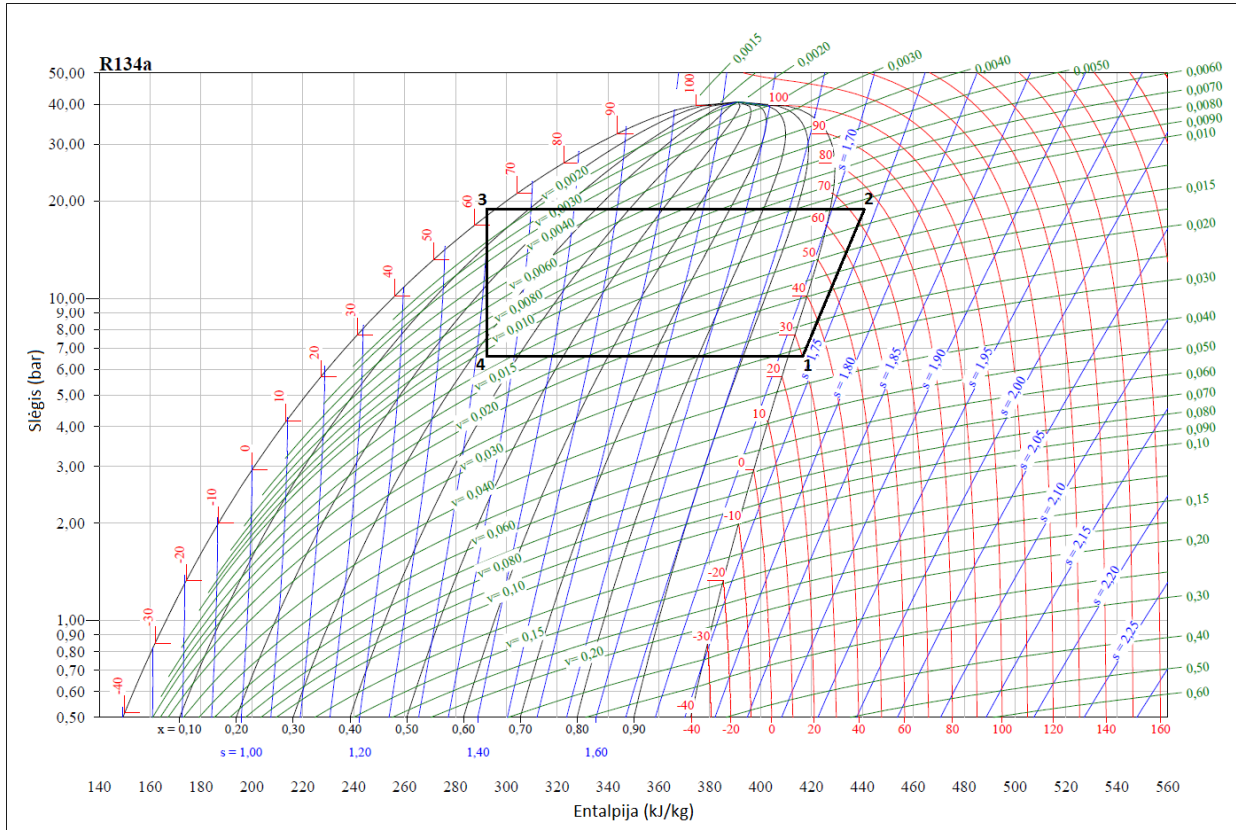
| Šiluminės izoliacijos storis | $R_{s1}$          | $R_{s2}$          | $R_{s3}$          | $R_{s\Sigma}$     | $R_{2a}$          | $T_{f1}$ | $T_{f2}$ | $R_{1a}$          | $R_{\Sigma}$      |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-------------------|-------------------|
| mm                           | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ | K        | K        | $(m^2 \cdot K)/W$ | $(m^2 \cdot K)/W$ |
| 100                          | 0,00017           | 4,5454            | 0,000044          | 4,546             | 0,107             | 343,15   | 283,15   | 0,00023           | 4,653             |
| 200                          |                   | 9,0909            |                   | 9,091             |                   |          |          |                   | 9,198             |
| 300                          |                   | 13,6364           |                   | 13,637            |                   |          |          |                   | 13,744            |
| 400                          |                   | 18,1818           |                   | 18,182            |                   |          |          |                   | 18,289            |
| 500                          |                   | 22,7275           |                   | 22,728            |                   |          |          |                   | 22,835            |

E.8 lentelė. Rezervuaro stogo temperatūrų kitimo ir šilumos nuostolių skaičiavimų rezultatai, naudojant poliuretana.

| Šiluminės izoliacijos storis | q       | $T_{p1}$ | $T_{p3}$ | $T_{p4}$ | $T_{p2}$ | Q    |
|------------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|------|
| mm                           | $W/m^2$ | K        | K        | K        | K        | kW   |
| 100                          | 12,8952 | 343,147  | 343,145  | 284,53   | 284,529  | 1,82 |
| 200                          | 6,5229  | 343,148  | 343,147  | 283,848  | 283,848  | 0,92 |
| 300                          | 4,3656  | 343,149  | 343,148  | 283,617  | 283,617  | 0,62 |
| 400                          | 3,2806  | 343,149  | 343,148  | 283,501  | 283,501  | 0,42 |
| 500                          | 2,6276  | 343,149  | 343,149  | 283,431  | 283,431  | 0,37 |

## **F PRIEDAS**

Šilumos siurblio ciklai



F.1 pav. Šilumos siurblio ciklas, kai darbo agentas R134a.

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R134a

Select cycle number:

Values:

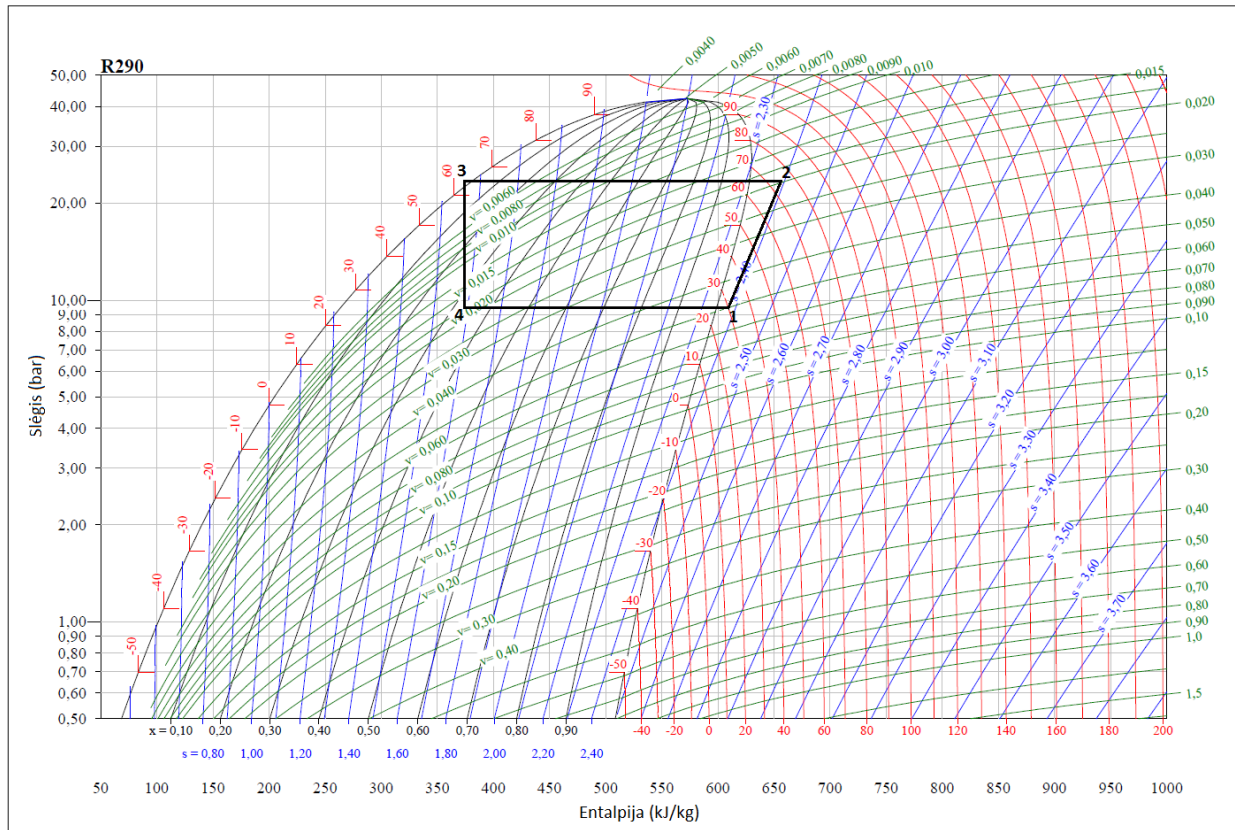
|                               |       |                              |       |
|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| Evaporating temperature [°C]: | 25,00 | Condensing temperature [°C]: | 65,00 |
| Superheat [K]:                | 5,00  | Subcooling [K]:              | 2,00  |
| Dp evaporator [bar]:          | 0,00  | Dp condenser [bar]:          | 0,00  |
| Dp suction line [bar]:        | 0,00  | Dp liquid line [bar]:        | 0,00  |
| Dp discharge line [bar]:      | 0,00  |                              |       |
| Isentropic efficiency [0-1]:  | 0,90  |                              |       |

Delete cycle

|                           |                                 |                                     |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Calculated:               | Dimensioning:                   | Volumetric efficiency:              |
| Qe [kJ/kg]: 123,884       | Qe [kW]: 162,610                | n <sub>vot</sub> : 0,00             |
| Qc [kJ/kg]: 148,111       | Qc [kW]: 194,410                | Displacement [m <sup>3</sup> /h]: 0 |
| CDP: 5,11                 | m [kg/s]: 1,31259459            |                                     |
| W [kJ/kg]: 24,227         | V [m <sup>3</sup> /h]: 149,7209 |                                     |
| Pressure ratio [-]: 2,840 | W [kW]: 31,800                  |                                     |
|                           | Q loss [kW]: 0,000              |                                     |

OK    Coordinates of points...    Print    Copy    Update    Help

F.2 pav. Šilumos siurblio duomenys, naudojant R134a darbo agentą.



F.3 pav. Šilumos siurblio ciklas, kai darbo agentas R290.

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R290

Select cycle number:

Delete cycle

Values:

|                               |       |                              |       |
|-------------------------------|-------|------------------------------|-------|
| Evaporating temperature [°C]: | 25,00 | Condensing temperature [°C]: | 65,00 |
| Superheat [K]:                | 5,00  | Subcooling [K]:              | 2,00  |
| Dp evaporator [bar]:          | 0,00  | Dp condenser [bar]:          | 0,00  |
| Dp suction line [bar]:        | 0,00  | Dp liquid line [bar]:        | 0,00  |
| Dp discharge line [bar]:      | 0,00  |                              |       |
| Isentropic efficiency [0-1]:  | 0,90  |                              |       |

Calculated:

|                     |         |
|---------------------|---------|
| Qe [kJ/kg]:         | 234,731 |
| Qc [kJ/kg]:         | 281,960 |
| COP:                | 4,97    |
| W [kJ/kg]:          | 47,229  |
| Pressure ratio [-]: | 2,475   |

Dimensioning:

|                        |            |
|------------------------|------------|
| Qe [kW]:               | 162,610    |
| Qc [kW]:               | 195,328    |
| m [kg/s]:              | 0,69275182 |
| V [m <sup>3</sup> /h]: | 124,5754   |
| W [kW]:                | 32,718     |
| Q loss [kW]:           | 0,000      |

Volumetric efficiency

n\_vol:

Displacement [m<sup>3</sup>/h]:

OK    Cordinates of points...    Print    Copy    Update    Help

F.4 pav. Šilumos siurblio duomenys, naudojant R290a darbo agentą.

## **G PRIEDAS**

Ekonominiai atsipirkimo skaičiavimai

G.1 lentelė. Tarpinės biokuro aikštelės atsipirkimo laikas, investuojant į alternatyvą B:

| Metai | Palūkanų norma 8% | Išlaidos   | Pajamos  | Palūkanų norma 10% | Išlaidos   | Pajamos     |
|-------|-------------------|------------|----------|--------------------|------------|-------------|
|       |                   | Eur        | Eur      |                    | Eur        | Eur         |
| 0     | 1                 | 1500000,00 | -1500000 | 1                  | 1500000,00 | -1500000,00 |
| 1     | 0,9259            | 711353,23  | -788647  | 0,9091             | 698446,08  | -801553,92  |
| 2     | 0,8573            | 658649,02  | -129998  | 0,8264             | 634909,07  | -166644,85  |
| 3     | 0,7938            | 609863,05  | 479865   | 0,7513             | 577211,02  | 410566,16   |
| 4     | 0,735             | 564688,01  | 1044553  | 0,683              | 524737,29  | 935303,45   |
| 5     | 0,6806            | 522893,41  | 1567447  | 0,6209             | 477026,91  | 1412330,37  |
| 6     | 0,6302            | 484171,95  | 2051619  | 0,5645             | 433695,75  | 1846026,12  |
| 7     | 0,5835            | 448293,13  | 2499912  | 0,5132             | 394282,84  | 2240308,96  |
| 8     | 0,5403            | 415103,30  | 2915015  | 0,4665             | 358404,02  | 2598712,98  |
| 9     | 0,5002            | 384295,16  | 3299310  | 0,4241             | 325828,82  | 2924541,80  |
| 10    | 0,4632            | 355868,69  | 3655179  | 0,3855             | 296173,10  | 3220714,89  |
| 11    | 0,4289            | 329516,58  | 3984696  | 0,3505             | 269283,19  | 3489998,09  |
| 12    | 0,3971            | 305085,18  | 4289781  | 0,3186             | 244774,96  | 3734773,05  |
| 13    | 0,3677            | 282497,66  | 4572278  | 0,2897             | 222571,59  | 3957344,63  |
| 14    | 0,3405            | 261600,36  | 4833879  | 0,2633             | 202288,91  | 4159633,55  |
| 15    | 0,3152            | 242162,80  | 5076042  | 0,2394             | 183926,95  | 4343560,50  |
| 16    | 0,2919            | 224261,81  | 5300303  | 0,2176             | 167178,38  | 4510738,88  |
| 17    | 0,2703            | 207666,89  | 5507970  | 0,1978             | 151966,38  | 4662705,26  |
| 18    | 0,2502            | 192224,41  | 5700195  | 0,1799             | 138214,11  | 4800919,37  |
| 19    | 0,2317            | 178011,17  | 5878206  | 0,1635             | 125614,27  | 4926533,64  |
| 20    | 0,2145            | 164796,70  | 6043002  | 0,1486             | 114166,85  | 5040700,49  |

G.2 lentelė. Tarpinės biokuro aikštelės atsipirkimo laikas, investuojant į alternatyvą A:

| Metai | Palūkanų norma 8% | Išlaidos   | Pajamos     | Palūkanų norma 10% | Išlaidos   | Pajamos     |
|-------|-------------------|------------|-------------|--------------------|------------|-------------|
|       |                   | Eur        | Eur         |                    | Eur        | Eur         |
| 0     | 1                 | 1684000,00 | -1684000,00 | 1                  | 1684000,00 | -1684000,00 |
| 1     | 0,9259            | 597745,30  | -1086255    | 0,9091             | 586899,51  | -1097100,49 |
| 2     | 0,8573            | 658649,02  | -427606     | 0,8264             | 634909,07  | -462191,42  |
| 3     | 0,7938            | 609863,05  | 182257      | 0,7513             | 577211,02  | 115019,59   |
| 4     | 0,735             | 564688,01  | 746945      | 0,683              | 524737,29  | 639756,88   |
| 5     | 0,6806            | 522893,41  | 1269839     | 0,6209             | 477026,91  | 1116783,80  |
| 6     | 0,6302            | 484171,95  | 1754011     | 0,5645             | 433695,75  | 1550479,55  |
| 7     | 0,5835            | 448293,13  | 2202304     | 0,5132             | 394282,84  | 1944762,39  |
| 8     | 0,5403            | 415103,30  | 2617407     | 0,4665             | 358404,02  | 2303166,41  |
| 9     | 0,5002            | 384295,16  | 3001702     | 0,4241             | 325828,82  | 2628995,23  |
| 10    | 0,4632            | 355868,69  | 3357571     | 0,3855             | 296173,10  | 2925168,32  |
| 11    | 0,4289            | 329516,58  | 3687088     | 0,3505             | 269283,19  | 3194451,52  |
| 12    | 0,3971            | 305085,18  | 3992173     | 0,3186             | 244774,96  | 3439226,48  |
| 13    | 0,3677            | 282497,66  | 4274670     | 0,2897             | 222571,59  | 3661798,06  |
| 14    | 0,3405            | 261600,36  | 4536271     | 0,2633             | 202288,91  | 3864086,98  |
| 15    | 0,3152            | 242162,80  | 4778434     | 0,2394             | 183926,95  | 4048013,93  |
| 16    | 0,2919            | 224261,81  | 5002695     | 0,2176             | 167178,38  | 4215192,31  |
| 17    | 0,2703            | 207666,89  | 5210362     | 0,1978             | 151966,38  | 4367158,69  |
| 18    | 0,2502            | 192224,41  | 5402587     | 0,1799             | 138214,11  | 4505372,80  |
| 19    | 0,2317            | 178011,17  | 5580598     | 0,1635             | 125614,27  | 4630987,07  |
| 20    | 0,2145            | 164796,70  | 5745395     | 0,1486             | 114166,85  | 4745153,92  |

G.3 lentelē. Akmens vatos naudojimo atsipirkimo laikas, apšiltinant rezervuarą:

| Metai | Palūkanų norma 8% | Išlaidos | Pajamos | Palūkanų norma 10% | Išlaidos | Pajamos   |
|-------|-------------------|----------|---------|--------------------|----------|-----------|
|       |                   | Eur      | Eur     |                    | Eur      | Eur       |
| 0     | 1                 | 29231,50 | -29232  | 1                  | 29231,50 | -29231,50 |
| 1     | 0,9259            | 4170,79  | -25061  | 0,9091             | 4095,11  | -25136,39 |
| 2     | 0,8573            | 3861,78  | -21199  | 0,8264             | 3722,58  | -21413,80 |
| 3     | 0,7938            | 3575,74  | -17623  | 0,7513             | 3384,29  | -18029,51 |
| 4     | 0,735             | 3310,87  | -14312  | 0,683              | 3076,63  | -14952,88 |
| 5     | 0,6806            | 3065,82  | -11247  | 0,6209             | 2796,89  | -12155,99 |
| 6     | 0,6302            | 2838,79  | -8408   | 0,5645             | 2542,84  | -9613,15  |
| 7     | 0,5835            | 2628,42  | -5779   | 0,5132             | 2311,75  | -7301,40  |
| 8     | 0,5403            | 2433,82  | -3345   | 0,4665             | 2101,39  | -5200,02  |
| 9     | 0,5002            | 2253,19  | -1092   | 0,4241             | 1910,39  | -3289,62  |
| 10    | 0,4632            | 2086,52  | 994     | 0,3855             | 1736,52  | -1553,11  |
| 11    | 0,4289            | 1932,01  | 2926    | 0,3505             | 1578,86  | 25,75     |
| 12    | 0,3971            | 1788,77  | 4715    | 0,3186             | 1435,16  | 1460,91   |
| 13    | 0,3677            | 1656,33  | 6371    | 0,2897             | 1304,98  | 2765,88   |
| 14    | 0,3405            | 1533,81  | 7905    | 0,2633             | 1186,06  | 3951,94   |
| 15    | 0,3152            | 1419,84  | 9325    | 0,2394             | 1078,40  | 5030,34   |
| 16    | 0,2919            | 1314,89  | 10640   | 0,2176             | 980,20   | 6010,53   |
| 17    | 0,2703            | 1217,59  | 11857   | 0,1978             | 891,01   | 6901,54   |
| 18    | 0,2502            | 1127,05  | 12985   | 0,1799             | 810,37   | 7711,91   |
| 19    | 0,2317            | 1043,71  | 14028   | 0,1635             | 736,50   | 8448,41   |
| 20    | 0,2145            | 966,23   | 14994   | 0,1486             | 669,38   | 9117,79   |

G.4 lentelē. Poliuretano naudojimo atsipirkimo laikas, apšiltinant rezervuarą:

| Metai | Palūkanų norma 8% | Išlaidos | Pajamos   | Palūkanų norma 10% | Išlaidos | Pajamos   |
|-------|-------------------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|
|       |                   | Eur      | Eur       |                    | Eur      | Eur       |
| 0     | 1                 | 37907,28 | -37907,28 | 1                  | 37907,28 | -37907,28 |
| 1     | 0,9259            | 5117,67  | -32789,61 | 0,9091             | 5024,81  | -32882,47 |
| 2     | 0,8573            | 4738,50  | -28051,11 | 0,8264             | 4567,71  | -28314,75 |
| 3     | 0,7938            | 4387,52  | -23663,58 | 0,7513             | 4152,62  | -24162,14 |
| 4     | 0,735             | 4062,52  | -19601,06 | 0,683              | 3775,10  | -20387,03 |
| 5     | 0,6806            | 3761,84  | -15839,22 | 0,6209             | 3431,86  | -16955,17 |
| 6     | 0,6302            | 3483,27  | -12355,95 | 0,5645             | 3120,13  | -13835,04 |
| 7     | 0,5835            | 3225,14  | -9130,81  | 0,5132             | 2836,58  | -10998,46 |
| 8     | 0,5403            | 2986,37  | -6144,44  | 0,4665             | 2578,46  | -8420,01  |
| 9     | 0,5002            | 2764,73  | -3379,72  | 0,4241             | 2344,10  | -6075,90  |
| 10    | 0,4632            | 2560,22  | -819,50   | 0,3855             | 2130,75  | -3945,15  |
| 11    | 0,4289            | 2370,63  | 1551,13   | 0,3505             | 1937,30  | -2007,86  |
| 12    | 0,3971            | 2194,87  | 3746,00   | 0,3186             | 1760,98  | -246,88   |
| 13    | 0,3677            | 2032,37  | 5778,37   | 0,2897             | 1601,24  | 1354,36   |
| 14    | 0,3405            | 1882,03  | 7660,39   | 0,2633             | 1455,32  | 2809,69   |
| 15    | 0,3152            | 1742,19  | 9402,58   | 0,2394             | 1323,22  | 4132,91   |
| 16    | 0,2919            | 1613,40  | 11015,98  | 0,2176             | 1202,73  | 5335,63   |
| 17    | 0,2703            | 1494,01  | 12509,99  | 0,1978             | 1093,29  | 6428,92   |
| 18    | 0,2502            | 1382,92  | 13892,91  | 0,1799             | 994,35   | 7423,27   |
| 19    | 0,2317            | 1280,66  | 15173,57  | 0,1635             | 903,70   | 8326,98   |
| 20    | 0,2145            | 1185,59  | 16359,16  | 0,1486             | 821,35   | 9148,33   |

## **H PRIEDAS**

Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės eksploataavimo parametrai 2013-2014 m.



H.1 lentelė. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės kuro sunaudojimo ir šilumos generavimo duomenys 2013-2014 m.

| Mėnesis | Biokuro suvartojimas 2013-2014 m. |         | Gamtinių dujų suvartojimas 2013-2014 m. |       | Šilumos kiekis į tinklus | Šilumos kiekis iš kondensacinio dūmų ekonomizerio | Šilumos kiekis iš kondensacinio dūmų ekonomizerio nuotekų |
|---------|-----------------------------------|---------|---|-------|--------------------------|---|---|
|         | t                                 | tne     | m <sup>3</sup>                          | tne   | MWh                      | MWh   | MWh   |
| 1       | 11937,79                          | 2264,06 | 13462,50                                | 10,82 | 23155,80                 | 5106,80   | 185,78  |
| 2       | 10972,64                          | 2081,02 | 54641,94                                | 43,93 | 21720,80                 | 5685,10   | 159,14  |
| 3       | 12745,77                          | 2417,30 | 43306,72                                | 34,82 | 24250,50                 | 5766,60   | 169,36  |
| 4       | 11121,85                          | 2109,32 | 11368,50                                | 9,14  | 19999,81                 | 4367,20   | 151,63  |
| 5       | 6630,12                           | 1257,44 | 7020,63                                 | 5,64  | 11186,09                 | 511,30  | 15,77   |
| 6       | 6996,90                           | 1327,00 | 291,75                                  | 0,23  | 11958,09                 | 0,00  | 0,00  |
| 7       | 6198,42                           | 1175,56 | 71,38                                   | 0,06  | 11616,12                 | 0,00  | 0,00  |
| 8       | 6637,26                           | 1258,79 | 0,00                                    | 0,00  | 11697,78                 | 0,00  | 0,00  |
| 9       | 7371,67                           | 1398,08 | 5495,00                                 | 4,42  | 11959,02                 | 123,20  | 1,52  |
| 10      | 12068,72                          | 2288,90 | 700,87                                  | 0,56  | 23146,58                 | 4142,70   | 78,65   |
| 11      | 12607,20                          | 2391,02 | 1684,12                                 | 1,35  | 25588,44                 | 6262,20   | 232,70  |
| 12      | 13944,62                          | 2644,67 | 780,50                                  | 0,63  | 26619,97                 | 6750,40   | 276,70  |
| 13      | 14681,57                          | 2784,44 | 186,12                                  | 0,15  | 26034,91                 | 5990,80   | 242,48  |
| 14      | 12594,76                          | 2388,66 | 279,75                                  | 0,22  | 23771,62                 | 5809,80   | 234,35  |
| 15      | 13176,53                          | 2499,00 | 1862,37                                 | 1,50  | 25690,31                 | 6259,80   | 242,32  |
| 16      | 10637,55                          | 2017,47 | 3405,42                                 | 2,74  | 20001,28                 | 3208,50   | 138,79  |
| 17      | 5223,39                           | 990,64  | 6042,78                                 | 4,86  | 10471,10                 | 647,50  | 29,21   |
| 18      | 5952,44                           | 1128,91 | 168,70                                  | 0,14  | 12575,28                 | 1154,00   | 44,74   |
| 19      | 5616,45                           | 1065,19 | 1064,26                                 | 0,86  | 11079,03                 | 5,10  | 6,20  |
| 20      | 5666,37                           | 1074,66 | 1816,86                                 | 1,46  | 11195,19                 | 0,00  | 0,00  |
| 21      | 5311,48                           | 1007,35 | 6846,69                                 | 5,50  | 10448,09                 | 0,00  | 0,00  |
| 22      | 9178,54                           | 1740,76 | 4244,76                                 | 3,41  | 18697,41                 | 2133,60   | 71,32   |
| 23      | 11122,12                          | 2109,37 | 452,06                                  | 0,36  | 24705,91                 | 5322,10   | 191,33  |
| 24      | 11465,74                          | 2174,54 | 852,27                                  | 0,69  | 25136,41                 | 5318,89   | 199,94  |

H.2 lentelė. Šiaulių biokuro termofikacinės elektrinės garo katilo užkūrimas ir stabdymas, sunaudojamo kuro atžvilgiu.

| Val. | Katilo užkūrimas |                |          |                | Katilo stabdymas |                |          |                |
|------|------------------|----------------|----------|----------------|------------------|----------------|----------|----------------|
|      | Biokuras         | Gamtinės dujos | Biokuras | Gamtinės dujos | Biokuras         | Gamtinės dujos | Biokuras | Gamtinės dujos |
|      | t                | m <sup>3</sup> | tne      | tne            | t                | m <sup>3</sup> | tne      | tne            |
| 0    | 0,00             | 0,00           | 0,000    | 0,000          | 11428,000        | 0,000          | 2,167    | 0,000          |
| 1    | 0,00             | 71,50          | 0,000    | 0,057          | 10220,000        | 0,000          | 1,938    | 0,000          |
| 2    | 0,00             | 143,63         | 0,000    | 0,115          | 9928,000         | 0,000          | 1,883    | 0,000          |
| 3    | 0,00             | 195,63         | 0,000    | 0,157          | 8932,000         | 0,000          | 1,694    | 0,000          |
| 4    | 2082,00          | 240,75         | 0,395    | 0,194          | 9546,000         | 0,000          | 1,810    | 0,000          |
| 5    | 5426,00          | 312,38         | 1,029    | 0,251          | 8830,000         | 0,000          | 1,675    | 0,000          |
| 6    | 0,00             | 360,00         | 0,000    | 0,289          | 8780,000         | 0,000          | 1,665    | 0,000          |
| 7    | 0,00             | 486,13         | 0,000    | 0,391          | 8862,000         | 0,000          | 1,681    | 0,000          |
| 8    | 0,00             | 488,75         | 0,000    | 0,393          | 6500,000         | 0,000          | 1,233    | 0,000          |
| 9    | 0,00             | 508,00         | 0,000    | 0,408          | 9156,000         | 0,000          | 1,736    | 0,000          |
| 10   | 0,00             | 585,13         | 0,000    | 0,470          | 9934,000         | 0,000          | 1,884    | 0,000          |
| 11   | 0,00             | 304,50         | 0,000    | 0,245          | 4360,000         | 24,537         | 0,827    | 0,020          |
| 12   | 4774,00          | 135,88         | 0,905    | 0,109          | 0,000            | 241,494        | 0,000    | 0,194          |
| 12   | 7988,00          | 0,00           | 1,515    | 0,000          | 0,000            | 415,336        | 0,000    | 0,334          |
| 14   | 7974,00          | 0,00           | 1,512    | 0,000          | 0,000            | 0,000          | 0,000    | 0,000          |

H.3 lentelė. Vartotojų šilumos poreikiai darbo dienomis.

| Vartotojų šilumos poreikiai |                          |                          |                          |                          |                          |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Val.                        | 2014.05.04               | 2014.06.08               | 2014.07.06               | 2014.08.03               | 2014.09.07               |
|                             | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija |
|                             | MWh                      | MWh                      | MWh                      | MWh                      | MWh                      |
| 0                           | 20,625                   | 17,312                   | 14,625                   | 13,000                   | 18,312                   |
| 1                           | 22,219                   | 18,000                   | 15,188                   | 13,906                   | 19,782                   |
| 2                           | 20,468                   | 16,313                   | 14,687                   | 12,688                   | 18,625                   |
| 3                           | 19,094                   | 14,406                   | 13,532                   | 12,093                   | 15,687                   |
| 4                           | 19,813                   | 16,750                   | 14,687                   | 13,032                   | 16,875                   |
| 5                           | 19,218                   | 17,219                   | 16,188                   | 13,593                   | 18,406                   |
| 6                           | 21,782                   | 18,812                   | 16,000                   | 14,407                   | 18,219                   |
| 7                           | 22,093                   | 19,219                   | 16,500                   | 13,281                   | 17,781                   |
| 8                           | 20,532                   | 18,875                   | 16,312                   | 12,906                   | 16,719                   |
| 9                           | 19,125                   | 16,500                   | 15,781                   | 13,000                   | 14,125                   |
| 10                          | 18,907                   | 16,718                   | 14,813                   | 12,687                   | 14,000                   |
| 11                          | 19,468                   | 16,594                   | 15,031                   | 12,906                   | 14,094                   |
| 12                          | 18,594                   | 16,813                   | 15,906                   | 13,032                   | 14,406                   |
| 13                          | 18,125                   | 16,562                   | 15,469                   | 12,562                   | 14,000                   |
| 14                          | 19,000                   | 15,031                   | 15,000                   | 12,938                   | 12,375                   |
| 15                          | 17,813                   | 16,594                   | 15,219                   | 13,093                   | 14,313                   |
| 16                          | 19,000                   | 16,719                   | 15,187                   | 12,782                   | 15,719                   |
| 17                          | 21,468                   | 16,594                   | 14,969                   | 12,906                   | 16,000                   |
| 18                          | 21,719                   | 16,781                   | 15,719                   | 12,281                   | 15,781                   |
| 19                          | 22,688                   | 18,281                   | 16,531                   | 12,531                   | 16,406                   |
| 20                          | 23,218                   | 18,219                   | 16,375                   | 13,594                   | 17,594                   |
| 21                          | 24,407                   | 18,406                   | 16,406                   | 13,594                   | 18,406                   |
| 22                          | 23,375                   | 18,500                   | 16,906                   | 13,687                   | 18,219                   |
| 23                          | 21,281                   | 18,188                   | 14,875                   | 13,313                   | 18,375                   |
| 24                          | 20,625                   | 17,312                   | 14,625                   | 13,000                   | 18,312                   |

H.4 lentelė. Vartotojų šilumos poreikiai šeštadieniais ir sekmadieniais

| Val. | Vartotojų šilumos poreikiai šeštadieniais |                          |                          |                          | Vartotojų šilumos poreikiai sekmadieniais |                          |                          |                          |
|------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|      | Suminė šiluminė energija                  | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija                  | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija | Suminė šiluminė energija |
|      | MW  | MW                       | MW                       | MW                       | MW  | MW                       | MW                       | MW                       |
| 1    | 15,781                                    | 15,188                   | 15,406                   | 14,906                   | 16,500                                    | 13,969                   | 14,688                   | 13,906                   |
| 2    | 14,719                                    | 14,000                   | 15,688                   | 14,313                   | 15,812                                    | 13,687                   | 12,375                   | 12,688                   |
| 3    | 14,000                                    | 13,219                   | 15,031                   | 13,500                   | 13,875                                    | 12,907                   | 11,344                   | 12,500                   |
| 4    | 15,687                                    | 13,093                   | 15,750                   | 13,812                   | 14,907                                    | 13,500                   | 13,781                   | 13,094                   |
| 5    | 15,407                                    | 14,563                   | 15,719                   | 13,500                   | 15,718                                    | 13,687                   | 14,125                   | 13,000                   |
| 6    | 16,312                                    | 15,719                   | 15,594                   | 13,188                   | 16,000                                    | 12,250                   | 14,250                   | 13,312                   |
| 7    | 16,500                                    | 15,906                   | 15,531                   | 14,000                   | 15,594                                    | 13,781                   | 14,531                   | 14,500                   |
| 8    | 16,000                                    | 15,594                   | 15,469                   | 14,406                   | 15,594                                    | 14,313                   | 14,594                   | 12,000                   |
| 9    | 17,781                                    | 16,000                   | 13,781                   | 12,000                   | 16,875                                    | 15,531                   | 15,812                   | 13,500                   |
| 10   | 18,500                                    | 16,093                   | 13,407                   | 12,375                   | 15,531                                    | 15,562                   | 14,594                   | 12,813                   |
| 11   | 17,125                                    | 15,719                   | 12,562                   | 12,312                   | 16,282                                    | 15,219                   | 14,125                   | 12,875                   |
| 12   | 16,563                                    | 15,375                   | 13,531                   | 11,219                   | 17,000                                    | 15,500                   | 14,469                   | 13,187                   |
| 13   | 17,312                                    | 15,594                   | 14,375                   | 12,781                   | 16,687                                    | 16,094                   | 13,718                   | 12,719                   |
| 14   | 17,219                                    | 15,281                   | 14,500                   | 10,188                   | 16,250                                    | 15,781                   | 13,594                   | 13,219                   |
| 15   | 16,813                                    | 14,625                   | 14,313                   | 12,406                   | 16,188                                    | 15,438                   | 14,813                   | 13,187                   |
| 16   | 17,781                                    | 16,000                   | 16,094                   | 13,094                   | 16,468                                    | 16,281                   | 14,593                   | 12,875                   |
| 17   | 17,187                                    | 15,781                   | 16,718                   | 13,218                   | 16,313                                    | 14,812                   | 15,094                   | 13,219                   |
| 18   | 17,594                                    | 15,719                   | 16,000                   | 13,782                   | 16,719                                    | 15,875                   | 14,969                   | 13,094                   |
| 19   | 17,500                                    | 14,813                   | 16,500                   | 14,312                   | 17,187                                    | 15,813                   | 15,125                   | 11,906                   |
| 20   | 18,031                                    | 15,500                   | 17,000                   | 14,875                   | 17,406                                    | 15,625                   | 15,000                   | 13,687                   |
| 21   | 16,688                                    | 15,187                   | 16,594                   | 14,125                   | 16,000                                    | 15,469                   | 14,312                   | 14,032                   |
| 22   | 17,094                                    | 14,688                   | 16,188                   | 15,094                   | 17,094                                    | 14,718                   | 14,907                   | 13,875                   |
| 23   | 17,000                                    | 15,000                   | 16,093                   | 14,687                   | 17,094                                    | 14,407                   | 14,687                   | 13,500                   |
| 24   | 16,406                                    | 14,218                   | 14,219                   | 13,594                   | 16,000                                    | 12,812                   | 13,406                   | 13,312                   |