



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos  
panaudojimas**  
Baigiamasis magistro projektas

---

**Eimantas Ozolas**  
Projekto autorius

**Doc. Egidijus Puida**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

# **Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas**

Baigiamasis magistro projektas  
TERMOINŽINERIJA (6211EX023)

---

**Eimantas Ozolas**  
Projekto autorius

**Doc. Egidijus Puida**  
Vadovas

**Prof. dr. Gintautas Miliauskas**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Eimantas Ozolas

## **Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, *Eimanto Ozolo*, baigiamasis projektas tema „*Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas*“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(Vardas, Pavardė įrašomi ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas  
Studijų programa – 6211EX023

## **Magistro studijų baigiamojo projekto užduotis**

**Studentui(-ei) – Eimantas Ozolas**

### **1. Baigiamojo projekto tema –**

Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas

*(Lietuvių kalba)*

The Utilization of Waste Heat from the Food Industry

*(Anglų kalba)*

### **2. Baigiamojo projekto tikslas ir uždaviniai –**

Išanalizuoti pasirinktos maisto gamybos pramonės įmonės energijos srautus, identifikuoti atliekinės šiluminės energijos nuo technologinių procesų ir įrengimų išsiskyrimus ir jų nuvedimus į aplinką, išanalizuoti galimybes ir technologijas, kurias būtų galima panaudoti atliekinės šilumos atgavimui. Įvertinti galimų panaudoti technologijų energetinius ir ekonominius skaičiavimus, atlikti jų panaudojimo tikslingumo analizę. Pateikti išvadas.

### **3. Pradiniai baigiamojo projekto duomenys –**

Baigiamajame projekte naudoti surinktus duomenis pasirinktoje maisto pramonės įmonėje, kurie taip pat buvo panaudoti tiriamųjų darbų medžiagoje.

### **4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –**

Baigiamasis projektas turi būti parengtas laikantis KTU metodinių nurodymų reikalavimų bei atsižvelgiant į galiojančių Lietuvoje teisės aktų reikalavimus.

Projekto autorius

Eimantas Ozolas

*(Vardas, Pavardė)*

*(parašas)*

*(data)*

Baigiamojo projekto vadovas

Egidijus Puida

*(Vardas, Pavardė)*

*(parašas)*

*(data)*

Krypties studijų programos vadovas

Algimantas Balčius

*(Vardas, Pavardė)*

*(parašas)*

*(data)*

Ozolas, Eimantas. Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Egidijus Puida; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų sritis (studijų krypčių grupė), studijų kryptis: Technologiniai mokslai, Termoinžinerija.

Reikšminiai žodžiai: atliekinė, šiluma, maisto, pramonė, energija, panaudojimas.

Kaunas, 2019. 44 p.

### **Santrauka**

Baigiamajame darbe aiškinamasi kaip pasirinkto maisto pramonės gamykla UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ gamybos ir energetinėse sistemose prarandama šiluma – mažo potencialo atliekinė šiluma. Siekiama ištirti potencialiai panaudojamus šilumos taškus ir parinkti tinkamas technologijas, kad šiluma būtų atgaunama kiek galima efektyviau. Nauja sistema projektuojama atsižvelgiant į darbo procesuose naudojamus fluidus ir jų būseną, galimas papildomas pašalines medžiagas, darbinių procesų eigą ir jų tvarką.

Darbe pateikiami atliekinės šilumos šaltinių analizės duomenys ir šilumos panaudojimo sprendimai. Priklausomai nuo daromų sprendimų, kinta sistemos darbiniai parametrai, įrengimo sudėtingumas ir atsiperkamumas.

Atliktas atliekinės šilumos šaltinių panaudojimo sistemos projektas rodo, kad sistema būtų naudinga įmonei. Atsižvelgiant į tai, pateikiamos išvados ir pasiūlymai.

Eimantas, Ozolas. The Utilization of Waste Heat from the Food Industry Master's Final Project / supervisor Egidijus Puida; The Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study area (study field group), study field: Technological Sciences, Thermal engineering.

Key words: waste, heat, food, industry, energy, utilization.

Kaunas, 2019. 44 p.

### **Summary**

The final thesis explores loss of low-potential waste heat in the production and energy systems of the chosen food industry factory UAB „Plungės kooperatinė prekyba“. The aim is to explore the potential points of use and to choose the appropriate technologies to recover heat as efficiently as possible. The new system is designed taking into account the fluids used in the work processes and their state, possible additional foreign materials, the course of work processes and their order.

The data of waste heat sources analysis and heat absorption solutions are presented. Depending on the decisions made, the operating parameters of the system, the complexity of installation and payback time might change.

The project of the system for the utilization of waste heat sources shows that the system would benefit the company. In this context, conclusions and suggestions are provided.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Gamyklos atliekinės šilumos šaltinių analizė.....</b>	<b>12</b>
1.1. Produktų kepimo ir pasterizavimo įrenginiuose naudojamas garas .....	13
1.2. Produktų kepimo ir pasterizavimo įrenginiuose susidaręs kondensatas.....	16
1.2.1. Susidaręs kondensatas įrenginių viduje.....	16
1.2.2. Susidaręs kondensatas garo tiekimo linijoje.....	19
1.3. Kompresorių aušinimo alyvos šiluma .....	20
1.4. Gamyklai garą gaminančios biokuro katilinės išmetamų dūmų šiluma.....	21
1.5. Pasirenkami atliekinės šilumos šaltiniai.....	22
<b>2. Šilumos įsisavinimo įrenginiai ir jų panaudojimas .....</b>	<b>23</b>
2.1. Kondensatorius .....	23
2.2. Plokštelinis šilumokaitis.....	23
2.3. Akumuliacinė talpa.....	24
2.4. Šilumos siurblys .....	24
<b>3. Įsisavintos atliekinės šilumos panaudojimas.....</b>	<b>25</b>
3.1. Biokuro katilinės garo katilui tiekiamo vandens pašildymas .....	25
3.2. Organinio Renkino ciklo įrenginys .....	25
3.3. Patalpų šildymas, vėsinimas .....	26
<b>4. Šilumos panaudojimo sistema .....</b>	<b>27</b>
4.1. Vamzdynų ir prietaisų diagrama .....	27
4.2. Technologinis atliekinės šilumos panaudojimo sistemos aprašas .....	27
4.2.1. Įrenginių garo ir kondensato kontūras .....	27
4.2.2. Kompresorių aušinimo kontūras.....	28
4.2.3. Biokuro katilinės ekonomizaizerio kontūras .....	28
4.3. Kiti technologiniai sprendimai sistemoje .....	29
4.3.1. Gamybinių priemaišų kondensate šalinimo filtras .....	29
4.3.2. Akumuluojamo vandens paskirstymas .....	30
<b>5. Energetiniai skaičiavimai.....</b>	<b>31</b>
5.1. Atgaunamos šilumos kiekis iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių.....	31
5.2. Atgaunamos šilumos kiekis iš kompresorių aušinimo sistemos.....	34
5.3. Sausojo ekonomizaizerio efektyvumo padidinimas .....	34
5.4. Teorinis pilnas atgaunamos šilumos kiekis .....	34
<b>6. Ekonominiai skaičiavimai.....</b>	<b>36</b>
6.1. Atliekinės šilumos vertė .....	36
6.2. Atliekinės šilumos panaudojimo sistemos įrengimo kaštų vertinimas.....	36
6.3. Sistemos aptarnavimo kaštų vertinimas .....	38
6.4. Projekto atsiperkamumo prognozė .....	39
<b>Išvados .....</b>	<b>41</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>44</b>
1 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra.....	44

2	priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, įrenginių garo ir kondensato kontūras.....	44
3	priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, kompresorių aušinimo kontūras.....	44
4	priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, biokuro katilinės sausojo ekonomaizerio kontūras .....	44
5	priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra/išdidinta .....	44
6	priedas. Programos vaizdas: Kondensatas/vanduo šilumokaičio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9).....	44
7	priedas. Programos vaizdas: Propilenglikolis/vanduo šilumokaičio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9).....	44



## Lentelių sąrašas

<b>1.1 lentelė</b> Įrenginių išmetamo garo parametrai.....	15
<b>1.2 lentelė</b> Įrenginiuose susidarančio kondensato parametrai.....	18
<b>5.1 lentelė</b> Priimti pradiniai skaičiavimo duomenys.....	31
<b>5.2 lentelė</b> Kondensatorių darbo parametrai .....	32
<b>5.3 lentelė</b> Pasterizavimo ir kepimo įrenginių kondensato duomenys.....	33
<b>5.4 lentelė</b> Pradiniai kondensato kontūro šilumokaičio parametrai .....	33
<b>5.5 lentelė</b> Pradiniai kompresorių aušinimo sistemos kontūro šilumokaičio parametrai.....	34
<b>5.6 lentelė</b> Bendrieji kontūrų parametrai.....	34
<b>5.7 lentelė</b> Sistemoje atgaunamos šilumos energijos kiekis.....	35
<b>6.1 lentelė</b> UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ perkamos elektros, šilumos, šaldymo energijų ir įrenginių eksplotacinių išlaidų kainos .....	36
<b>6.2 lentelė</b> Atgaunamo šilumos vertė kiekviename šilumos kontūre.....	36
<b>6.3 lentelė</b> Sistemos projektavimo, įrengimo, paleidimo darbų kainos .....	36
<b>6.4 lentelė</b> Sistemai reikalingų įrenginių ir medžiagų kaina .....	37
<b>6.5 lentelė</b> Kitos patiriamos išlaidos projekto metu.....	38
<b>6.6 lentelė</b> Sistemos periodinio aptarnavimo kaštai metams .....	38
<b>6.7 lentelė</b> Sistemos įrenginių aptarnavimo periodiškumai .....	38
<b>6.8 lentelė</b> Neplaninių sistemos remontų kainos įvertinimas metams .....	38
<b>6.9 lentelė</b> Neigiami ir teigiami sistemos kaštai.....	39
<b>6.10 lentelė</b> Sistemos atsiperkamumo balansas, 20 metų laikotarpiui.....	39

## Paveikslų sąrašas

<b>1.1 pav.</b> UAB “Plungės kooperatinė prekyba“ garą gaminanti biokuro katilinė .....	12
<b>1.2 pav.</b> UAB “Plungės kooperatinė prekyba“ garą gaminanti dujinė katilinė.....	12
<b>1.3 pav.</b> Kepimo mašina.....	13
<b>1.4 pav.</b> Pasterizavimo įrenginys, garo linija .....	13
<b>1.5 pav.</b> Pasterizavimo įrenginys, garo padavimo mazgas.....	14
<b>1.6 pav.</b> Pasterizavimo įrenginys, garo išmetimo anga - savitaka .....	14
<b>1.7 pav.</b> Pasterizavimo įrenginys, garo išmetimo vamzdis .....	14
<b>1.8 pav.</b> Pasterizavimo ir kepimo įrenginių garo kaminų vaizdai naudojant termovizorių .....	15
<b>1.9 pav.</b> Pasterizavimo įrenginys, kondensato surinkimo vieta .....	16
<b>1.10 pav.</b> Pasterizavimo ir kepimo įrenginių garo ir kondensato vamzdžių vaizdai naudojant termovizorių .....	17
<b>1.11 pav.</b> Kondensato nutekėjimo vamzdžių vaizdai naudojant termovizorių .....	17
<b>1.12 pav.</b> Iš pasterizavimo įrenginio su kondensatu išmetamos priemaišos .....	18
<b>1.13 pav.</b> Kondensato susidarymas garo vamzdyje .....	19
<b>1.14 pav.</b> Pasterizavimo įrenginio garo linijos kondensato išleidimo mazgas.....	19
<b>1.15 pav.</b> Amoniakinis kompresorius.....	20
<b>1.16 pav.</b> Kompresoriaus konteineris su pagalbinais aušinimo įrenginiais .....	21
<b>1.17 pav.</b> Biokuro katilinės sausasis ekonomaizeris .....	22
<b>2.1 pav.</b> Kondensatorius - veikimas .....	23
<b>2.2 pav.</b> Plokštelinis šilumokaitis – veikimas .....	23
<b>2.3 pav.</b> Akumuliacinė talpa.....	24
<b>3.1 pav.</b> Organinio Renkino ciklo principinė schema, [4] .....	25
<b>4.1 pav.</b> Gamybinių priemaišų kondensate šalinimo filtras .....	29
<b>6.1 pav.</b> Projekto balanso pokytis .....	40

## **Įvadas**

Pirmuoju darbo etapu pasirinktoje gamykloje bus išanalizuoti esantys gamybos įrenginiai, jų darbo specifika, energijos sąnaudos ir energetinių gamyklos sistemų įrenginiai, kurie savo darbo procese išskiria šilumą.

Nustačius potencialus atliekinės – žemo potencialo šilumos šaltinius, bus analizuojamos technologijos, kurių pagalba šiluma gali būti įsisavinta ir svarstoma kur gauta šiluma gali būti panaudota.

Nustačius reikiamos sistemos projektavimo tikslus, parengiama galimos sistemos technologinė schema ir nustatomi teoriniai šilumos mainų parametrai.

Paskutiniu darbo etapu atliekami ekonominiai sistemos skaičiavimai ir padaromos išvados ar tokia sistema būtų naudinga investicija įmonei.

## 1. Gamyklos atliekinės šilumos šaltinių analizė

Darbui buvo pasirinktas UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ gamykla. UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ užsiima gaminių iš krabų mėsos gamyba. Ši gamykla buvo pasirinktas dėl įvairaus pobūdžio technologijų pritaikymo gamybos ir energetinėse sistemose, [12]:

- pagrindiniuose gamyklos gamybos ir šildymo procesuose yra naudojamas garas:
  1. maisto produktų pasterizavimo, virimo, kepimo, rūkymo, džiovavimo technologiniams procesams;
  2. patalpų šildymui (administracinės ir buitinės patalpos);
  3. karšto vandens paruošimas.
- įmonėje garo gamyba vykdoma biokuro ir dujinėje katilinėse, 1.1 pav., 1.2 pav.;



1.1 pav. UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ garą gaminanti biokuro katilinė



1.2 pav. UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ garą gaminanti dujinė katilinė

- gamyklos įrenginiuose ir sistemose yra naudojamas suspaustas oras, kurį tiekia galingi kompresoriai;
- kadangi, tai yra produktų iš žuvies gamykla, produkcijai laikyti ir atšaldyti yra naudojami galingi pramoniniai šaldytuvai, kurių šaldymo procese sunaudojami ir išskiriami didžiuliai kiekiai energijos.

### 1.1. Produktų kepimo ir pasterizavimo įrenginiuose naudojamas garas

Pasirinktos gamyklos cechuose yra įrengti penki pasterizavimo ir penki kepimo įrenginiai, 1.3 pav..



1.3 pav. Kepimo mašina

Pasterizavimo ir kepimo procesams vykdyti, gamykloje yra naudojamas perkaitintas garas. Garas į įrenginius yra tiekiamas per skirstymo linijas ir specialius reguliuojamus vožtuvus, 1.4 pav.



1.4 pav. Pasterizavimo įrenginys, garo linija

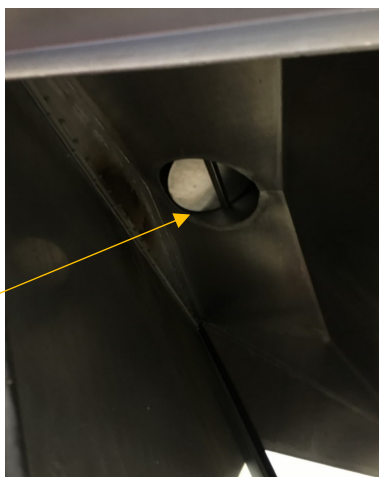
Siekiant išlaikyti proceso kokybę ir pastovumą, garas įrenginiuose yra paduodamos nuolatos, siekiant išlaikyti itin stabilius darbinis parametrus, 1.5 pav. Procesų metu perkaitintas garas virsta sočiuoju ir yra nebetinkamas procesui.



**1.5 pav.** Pasterizavimo įrenginys, garo padavimo mazgas

Toks darbinių parametru palaikymas taip pat lemia, kad garas įrenginiuose yra pastoviai išleidžiamas. Garo išleidimas pasterizavimo įrenginiuose vyksta savitaka, o kepimo įrenginiuose garas ištraukiamas ventiliatorių pagalba, 1.6 pav..

Garų surinkimo  
taškas



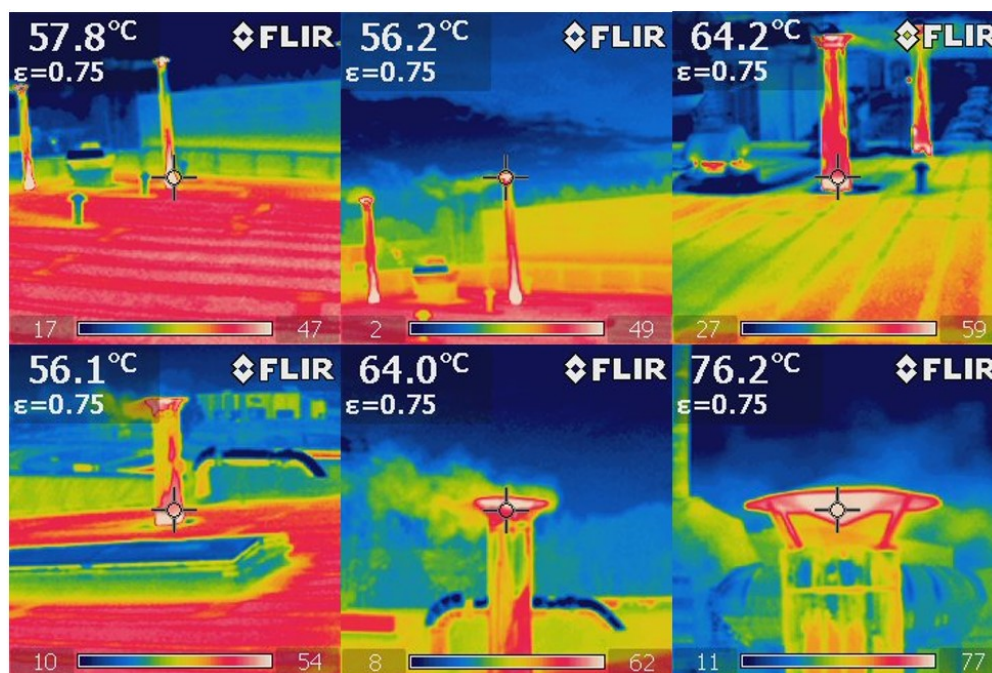
**1.6 pav.** Pasterizavimo įrenginys, garo išmetimo anga - savitaka

Garas iš įrenginių, pro vamzdžius ir kaminus, keliauja į lauką, 1.7 pav..



**1.7 pav.** Pasterizavimo įrenginys, garo išmetimo vamzdis

Dalis garo išmetimo vamzdžių buvo patikrinti termovizoriumi, 1.8 pav.



1.8 pav. Pasterizavimo ir kepimo įrenginių garo kaminų vaizdai naudojant termovizorių

Patikrinus ir išmatavus visus įrenginius buvo nustatyti tokie išmetamo garo duomenys, 1.1 lentelė:

1.1 lentelė Įrenginių išmetamo garo parametrai

Įrenginio pavadinimas	Fluidas	t, °C	m <sup>3</sup> / val	DN	Tekėjimo tipas	Darbo laikas, val./d.
501 c. Nr. 38 kepimo būgnas	Garas	95	220	160	Priverstinis	24
501 c. Nr. 50 kepimo būgnas	Garas	95	220	160	Priverstinis	24
501 c. Nr. 28 kepimo būgnas	Garas	95	220	160	Priverstinis	24
504 c. Nr.12 kepimo mašina	Garas	85	440	160	Priverstinis	24
504 c. Nr.13 kepimo mašina	Garas	85	340	200	Priverstinis	24
501 c. Nr 73 Pasterizatorius	Garas	95	1040	350	Savaiminis	24
501 c. Nr 74 Pasterizatorius	Garas	95	1040	350	Savaiminis	24
504 c. Nr 38 Pasterizatorius	Garas	75	1360	400	Savaiminis	24
504 c. Nr 39 Pasterizatorius	Garas	75	840	315	Savaiminis	24
503 c. Pasterizatorius	Garas	75	530	250	Savaiminis	24

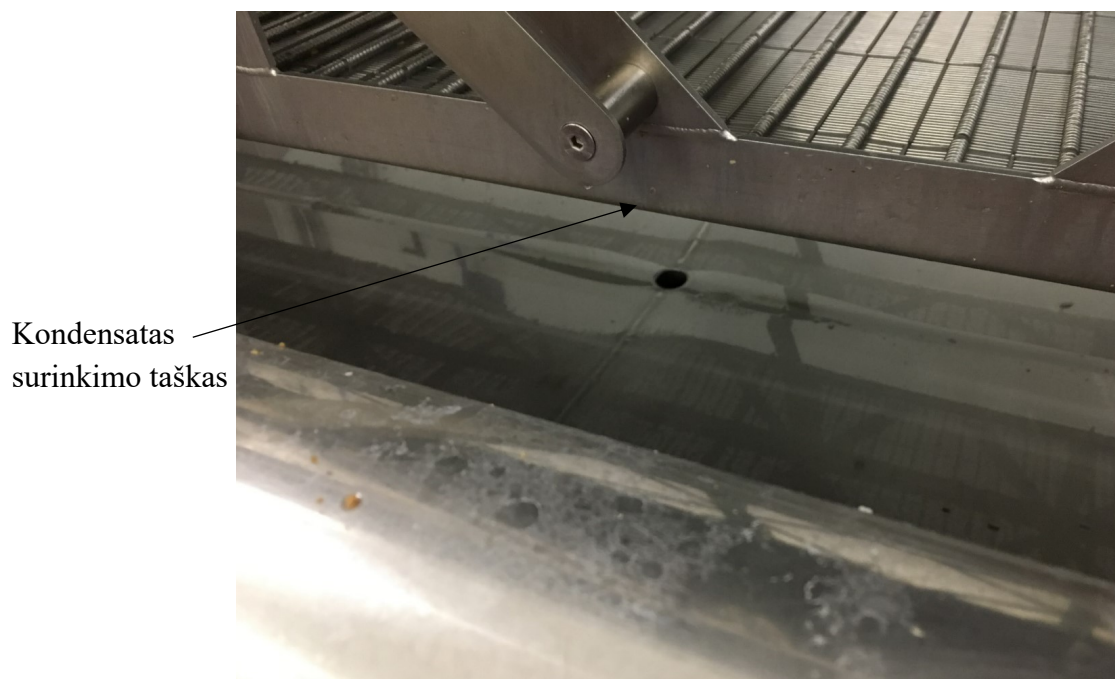
Nustatyta, kad iš visų galimų įrenginių išmetama ~6 250 m<sup>3</sup>, 75-95 °C temperatūros garo per valandą. Visi įrenginiai veikia be sustojimo 24 valandas per parą, tad per vieną dieną į aplinką išmetama

~150 000 m<sup>3</sup> garo.

## 1.2. Produktų kepimo ir pasterizavimo įrenginiuose susidaręs kondensatas

### 1.2.1. Susidaręs kondensatas įrenginių viduje

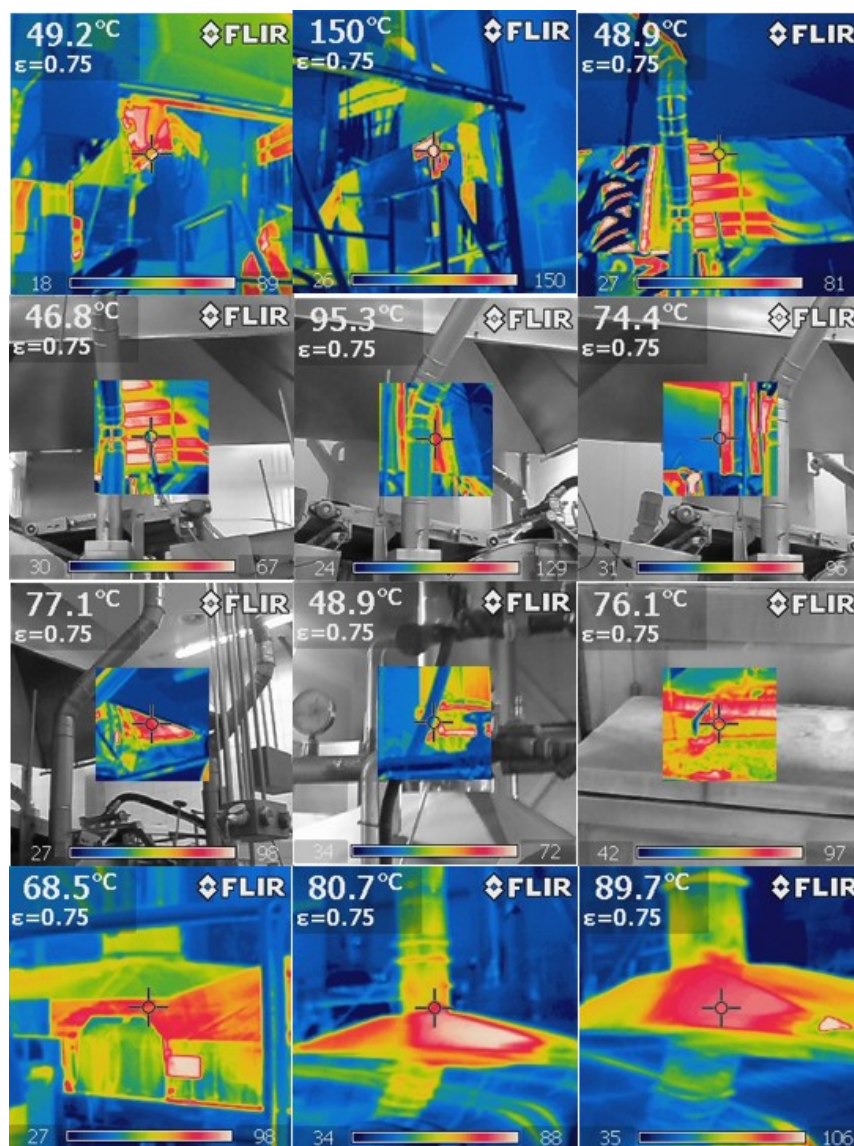
Į pasterizavimo ir kepimo įrenginius patenkantis garas reaguoja su šaltais maisto produktais ir metaliniais paviršiais (judantys transporteriai), dėl to garas ant šių šaltų paviršių ima kondensuotis – pasiekiamas rasos taškas. Susidarius pakankamai kondensato, jis veikiamos gravitacijos ima slysti žemyn ir galiausiai patenka į kondensato surinkimo indus, esančius po įrenginiais. Kondensato surinkimo induose įrengti kondensato išleidimo taškai pro kuriuos, esant reikalui, kondensatas yra išleidžiamas atidarius išleidimo sklendes. Šiuo metu kondensatas išleidimo metu patenka tiesiai į gamybinių nuotekų tinklus.



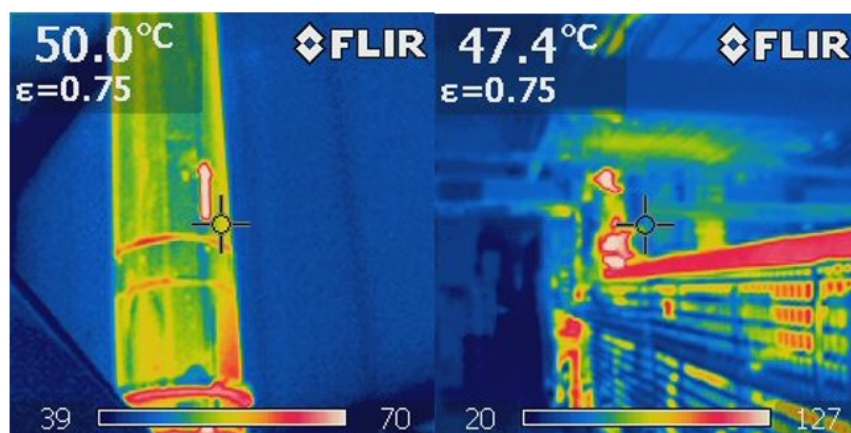
**1.9 pav.** Pasterizavimo įrenginys, kondensato surinkimo vieta

Įvairūs pasterizavimo ir kepimo mašinų paviršiai buvo patikrinti termovizoriumi, 1.10 pav., 1.11 pav..





1.10 pav. Pasterizavimo ir kepimo įrenginių garo ir kondensato vamzdžių vaizdai naudojant termovizorių



1.11 pav. Kondensato nutekėjimo vamzdžių vaizdai naudojant termovizorių

Patikrinus ir išmatavimus visus įrenginius buvo nustatyti tokie kondensato duomenys, 1.2 lentelė:

**1.2 lentelė** Įrenginiuose susidarančio kondensato parametrai

Įrenginio pavadinimas	Fluidas	t, °C	kg / val	DN	Tekėjimo tipas	Darbo laikas, val./d.
501 c. Nr. 38 kepimo būgnas	Kondensatas	100	250	20	Savaiminis	24
501 c. Nr. 50 kepimo būgnas	Kondensatas	100	250	20	Savaiminis	24
501 c. Nr. 28 kepimo būgnas	Kondensatas	100	350	20	Savaiminis	24
504 c. Nr.12 kepimo mašina	Kondensatas	90	1200	20	Savaiminis	24
504 c. Nr.13 kepimo mašina	Kondensatas	90	400	20	Savaiminis	24
501 c. Nr 73 Pasterizatorius	Kondensatas	85	50	32	Savaiminis	24
501 c. Nr 74 Pasterizatorius	Kondensatas	85	50	32	Savaiminis	24
504 c. Nr 38 Pasterizatorius	Kondensatas	80	250	65	Savaiminis	24
504 c. Nr 39 Pasterizatorius	Kondensatas	80	230	50	Savaiminis	24
503 c. Pasterizatorius	Kondensatas	90	200	50	Savaiminis	24

Nustatyta, kad iš visų galimų įrenginių galima išgauti ~3 230 kg, 80-100 °C temperatūros kondensato per valandą. Visi įrenginiai veikia be sustojimo 24 valandas per parą, tad per vieną dieną būtų galima surinkti ~56 000 kg kondensato.

Kondensato išleidimo metu, buvo pastebėta, kad išbėgančiame kondensate yra priemaišų:

1. smulkūs produkto gabaliukai (žuvų, krabų dalys), 1.12 pav.;
2. laki medžiaga – aliejus;



Smulkūs produkto gabaliukai

**1.12 pav.** Iš pasterizavimo įrenginio su kondensatu išmetamos priemaišos

Šios pašalinės medžiagos sudaro ~1% visos kondensato masės – 560 kg per dieną.

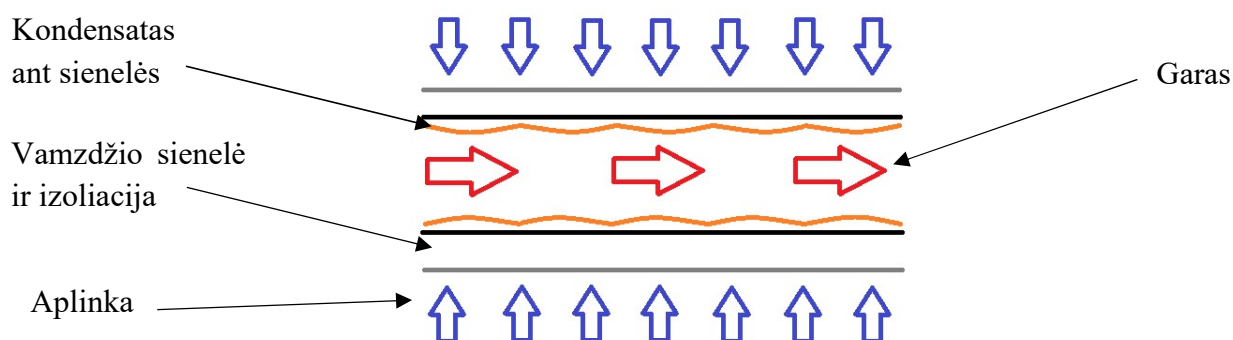
Taip pat atsižvelgiant į šį pastebėjimą, sistemos projektavimo metu turės būti numatytas sprendimas, kuris pašalintų šias priemaišas iš sistemos. Tą padaryti itin svarbu, nes tokie pašaliniai kūnai fluide, kuris dalyvauja šilumos mainuose, gali sukelti šias problemas:

1. suprastėję šilumos mainai per paviršius – aliejus ir lipnios maisto dalelės gali apnešti šilumos mainų paviršius, taip apsunkinant šilumos perdavimo procesą;
2. užnešami sistemos vamzdynus – tai pablogina fluidų apytaką sistemoje, sukelia slėgį, apkrauna siurblius ar net užkemšą visą sistemą;

Sistemos eksploatacijos metu šios neišspręstos problemos pareikalautų papildomų karštų: sistemos diagnostikos, valymai, remontas.

### 1.2.2. Susidaręs kondensatas garo tiekimo linijoje

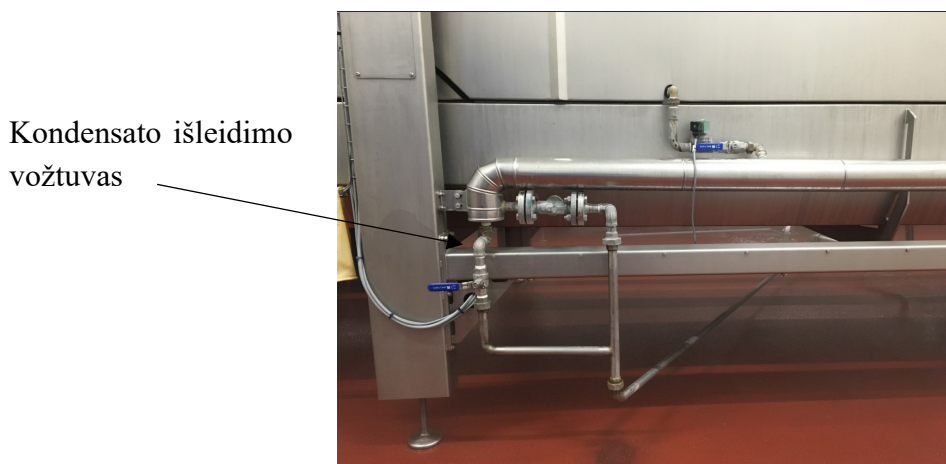
Dėl natūralių šilumos mainų garo vamzdyne – šilumos nuostoliai per vamzdžio sienelės – ant vidinių vamzdžio sienelių susidaro kondensatas (pasiekiamas rasos taškas prie pat sienelės paviršiaus), kuris kaupiasi vamzdyne, 1.13 pav..



1.13 pav. Kondensato susidarymas garo vamzdyje

Susidaręs kondensatas turi būti pašalintas iš vamzdyno, nes jis gali pabloginti garo padavimo vožtuvų veikimą, sukelti slėgius.

Šiam tikslui garo padavimo linijose yra įrengti drenavimo vožtuvai, kurie sumontuoti žemiausioje garo vamzdyno vietoje, 1.14 pav. Šiuo metu kondensatas yra išleidžiamas į gamybinių nuotekų tinklus.



1.14 pav. Pasterizavimo įrenginio garo linijos kondensato išleidimo mazgas

Išmatuota, kad vidutiniškai įrenginių garo padavimo linijose susikondensuoja ~230 kg, 90 °C temperatūros kondensato, kuris išleidžiamas į gamybinių nuotekų tinklus. Visi įrenginiai veikia be sustojimo 24 valandas per parą, tad per vieną dieną būtų galima surinkti ~5 520 kg kondensato, 1.3 lentelė.

**1.3 lentelė** Įrenginiams paduodamo garo linijose susidaręs kondensatas

Įrenginio pavadinimas	Fluidas	t, °C	kg / val	DN	Tekėjimo tipas	Darbo laikas, val./d.
501 c. Nr. 38 kepimo būgnas	Kondensatas	90	20	20	Savaiminis	24
501 c. Nr. 50 kepimo būgnas	Kondensatas	90	20	20	Savaiminis	24
501 c. Nr. 28 kepimo būgnas	Kondensatas	90	25	20	Savaiminis	24
504 c. Nr.12 kepimo mašina	Kondensatas	90	80	20	Savaiminis	24
504 c. Nr.13 kepimo mašina	Kondensatas	90	25	20	Savaiminis	24
501 c. Nr 73 Pasterizatorius	Kondensatas	90	5	20	Savaiminis	24
501 c. Nr 74 Pasterizatorius	Kondensatas	90	5	20	Savaiminis	24
504 c. Nr 38 Pasterizatorius	Kondensatas	90	20	20	Savaiminis	24
504 c. Nr 39 Pasterizatorius	Kondensatas	90	15	20	Savaiminis	24
503 c. Pasterizatorius	Kondensatas	90	15	20	Savaiminis	24

**1.3. Kompresorių aušinimo alyvos šiluma**

Gamykla gamina maisto produktus, kuriems būtinas atšaldymas, tad gamykla turi didelį šaldymo poreikį. Šiam poreikiui patenkinti, gamykloje įrengtos net kelios galingos amoniakinės kompresorinės. Analizei pasirenkamos dvi naujausios konteinerinio tipo kompresorinės, kuriose sumontuota po vieną 540 kW kompresorių, 1.15 pav.



**1.15 pav.** Amoniakinis kompresorius

Kaip ir kiekvienas kompresorius, šie kompresoriai savo darbo procese išskiria didelį kiekį šilumos. Kompresoriai yra aušinami alyvos pagalba, kuri cirkuliuoja specialiais kanalais. Siekiant užtikrinti stabilius aušinimo parametrus ir greitą šilumos pašalinimą, alyva yra ataušinama propilenglikolio kontūrų, kuris cirkuliuoja tarp alyvos ir orinio aušintuvo, kuris sumontuotas ant konteinerio viršaus, 1.16 pav.

Propilenglikolis dėl savo terminių savybių patekęs į alyvos rezervuarą greitai įsisavina šilumą. Tada siurblių pagalba keliauja į aušintuvus, kuriuose ventiliatoriais ir lauko oro apytaka yra atvėsinamas. Atvėšęs propilenglikolis vėl tiekiamas į alyvos rezervuarą ir taip vykdomas kompresorių aušinimas.



**1.16 pav.** Kompresoriaus konteineris su pagalbinais aušinimo įrenginiais

Šis aušinimo ciklas pareikalauja ypač didelių kaštų prasidėjus vasarai, kai lauko temperatūra pakyla iki +25/30 °C ir orinis aušintuvas tampa ne be efektyvus.

#### **1.4. Gamyklai garą gaminančios biokuro katilinės išmetamų dūmų šiluma**

Įmonei priklauso 9 MW galios biokuro katilinė, kurioje gaminamas gamyklos įrenginiams reikalingas garas.

Išanalizavus katilinės darbo procesus ir esančias technologijas, pastebėta, kad esantis 800 kW galios sausasis ekonomizeris, kuriame yra įsisavinama dūmų už garo katilo šiluma, dažnai dirba neefektyviai, 1.17 pav.



**1.17 pav.** Biokuro katilinės sausasis ekonomaizeris

Ekonomaizeris nėra pilnai išnaudojamas, nes dėl kintamo garo poreikio, o tuo pačiu ir į garo katilą paduodamo vandens kiekio, į sistemą yra tiekiamas skirtingas kiekis šalto vandens, kuris taip pat yra ruošiamas pagal poreikį.

Katilinės projektavimo metu į tai buvo atsižvelgta ir buvo suprojektuotas vandens recirkuliacijos kontūras, kuriame jau sistemoje esantis vanduo, sumažėjus vandens poreikiui, yra pakartotinai leidžiamas pro ekonomaizerį.

Recirkuliacijos metu, vanduo vis labiau pašilą ir su kiekvienu ciklu, dėl sumažėjusio temperatūros skirtumo tarp vandens ir dūmų, įsisavinama vis mažiau šilumos ir taip prarandama šiluma (pro kaminą išmetami aukštesnės temperatūros dūmai).

Dėl dažnai besikeičiančio garo poreikio gamykloje, šis recirkuliacijos procesas vyksta nuolatos ir taip mažėja bendras katilinės efektyvumas – potencialiai prarandami pinigai. Remiantis įmonės pateiktais katilinės apskaitos duomenimis, sausasis ekonomaizeris šiuo metu pasiekia tik ~75% efektyvumą.

Ekonomaizeris galėtų dirbti maksimaliu efektyvumu, jeigu jame būtų užtikrinta pastovaus kiekio ir temperatūros vandens cirkuliacija.

### **1.5. Pasirenkami atliekinės šilumos šaltiniai**

Atlikus galimų gamyklos atliekinės šilumos šaltinių analizę, buvo nustatyta, kad šilumą galima efektyviai atgauti iš šių šaltinių:

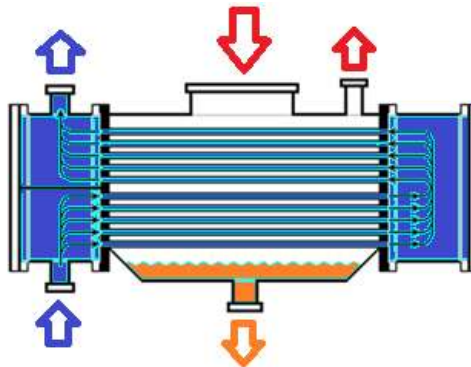
1. pasterizavimo ir kepimo įrenginių pro kaminus išmetamas garas;
2. pasterizavimo ir kepimo įrenginių viduje susidaręs kondensatas;
3. pasterizavimo ir kepimo įrenginių paduodamo garo linijų kondensatas
4. kompresorių alyvai aušinti skirtas propilenglikolis (šiluma prarandama per orines propilenglikolio aušintuvus);
5. biokuro katilinės dūmų už garo katilo šiluma – nepilnai išnaudojamas ekonomaizeris.

## 2. Šilumos įsisavinimo įrenginiai ir jų panaudojimas

### 2.1. Kondensatorius

Kondensatorius yra įrenginys, kuris kondensuoja garus į skystį.

Pro kondensatoriaus vamzdžius tiekiamas vėsus vanduo, kuris įsisavina garuose esančią šilumą. Kai garai pasiekia rasos tašką, jie pradeda kondensuotis ant vamzdžių ir sienelių. Kondensatas veikiamas gravitacijos jėgos galiausiai ima bėgti žemyn. Kondensatas surenkamas apačioje, o tada gali būti išsiurbiamas siurbliu arba išleidžiamas savitaka, [2].



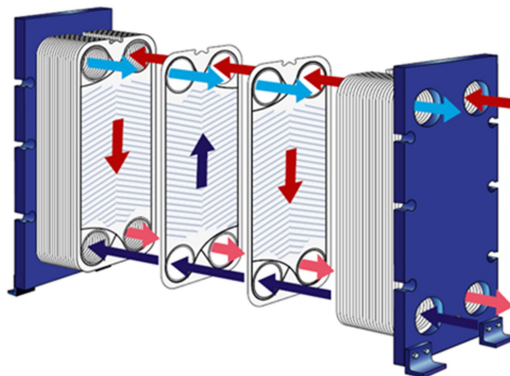
2.1 pav. Kondensatorius - veikimas

Panaudojimas:

1. iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių išmetamo sotaus garo kondensavimas ir darbinio fluideo pirminis pašildymas.

### 2.2. Plokštelinis šilumokaitis

Plokštelinis šilumokaitis yra šilumokaičio tipas, kuris naudoja metalines plokštes šilumos pernešimui tarp dviejų skysčių, 2.2 pav.. Tai turi didžiulį pranašumą, palyginti su įprastu šilumokaičiu, nes skysčiai patenka į daug didesnę paviršiaus plotą. Tai palengvina šilumos perdavimą ir labai padidina temperatūros pokyčio greitį.



2.2 pav. Plokštelinis šilumokaitis – veikimas

Panaudojimas:

1. iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių sukondensuoto garo ir surinkto kondensato šilumos perdavimas darbiniam fluidui – galutinis pašildymas;
2. šilumos paėmimas iš kompresorių alyvos aušinimo sistemos – įsiterpimas aušinimo įrenginių glikolio liniją, kuris keliauja į aušintuvus ant konteinerio stogo.

### 2.3. Akumuliacinė talpa

Akumuliacinė talpa skirta šilumos šaltinių šilumos pertekliui sukaupti didelio tūrio vandens talpoje, 2.3 pav..

Talpa privalo turėti gerą šiluminę izoliaciją, siekiant, kad talpoje kaupiamą šilumą būtų galima išlaikyti kiek galima ilgiau, neprarandant šiluminės energijos.



2.3 pav. Akumuliacinė talpa

Panaudojimas:

1. Iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių surinkto kondensato laikymas – stabilus kondensato srauto šilumokaičiuose palaikymas;
2. Iš atliekinės šilumos šaltinių grįžtančio pašildyto vandens akumuliacija – užtikrinti stabilių parametrų vandens srautą, kuris tiekiamas į garų katilą;
3. Šilumos šaltinis šilumos siurbliams;

### 2.4. Šilumos siurblys

Šilumos siurblys – tai įrenginys, kuris sutraukia šilumą iš aplinkos (žemos temperatūros šaltinių: oras, vanduo, gruntas), kuri paprastai yra bevertė, nes temperatūra yra per žema, ir paverčia į aukštesnio potencialo šilumą. Kombinacijoje su akumuliacinėmis talpomis, šilumos siurblys (vanduo - vanduo arba vanduo – oras), dėl pakankamai aukštos temperatūros talpose, galėtų dirbti itin efektyviai.

Panaudojimas:

1. administracinių, buitinių arba sandėliavimo patalpų šildymas;
2. vandens šildymas;
3. šilumos pertekliaus sistemoje panaudojimas – sistemos balansavimas;



### 3. Įsisavintos atliekinės šilumos panaudojimas

#### 3.1. Biokuro katilinės garo katilui tiekiamo vandens pašildymas

Atliekinę šilumą būtų galima panaudoti garo gamybai reikalingo vandens pirminiam pašildymui, [22].

Pašildytas vanduo keliautų į biokuro katilinėje esantį garo katilą, kuriame reiktų išgarinti vandenį nuo žymiai aukštesnės temperatūros.

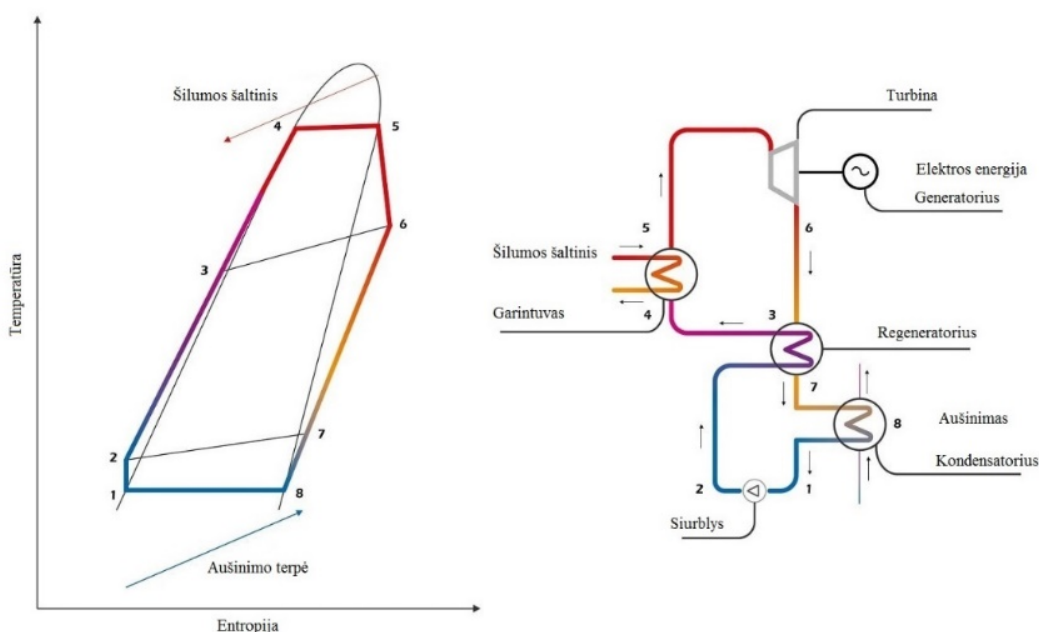
Šis sprendimas nebūtų nauja idėja, nes katilinėje jau dabar vykdomas pirminis vandens pašildymas. Jis atliekamas sausajame ekonomizaizeryje, kuris, kaip minėta anksčiau, dirba neefektyviai.

Nepaisant to, panaudojimo būdas būtų naudingas atsižvelgiant į kitus veiksnius, kurie yra ne mažiau svarbūs. Jeigu sistemoje būtų pasirinkta akumuliuoti šilumą:

- pastovių parametrų vanduo leistų optimizuoti katilinės darbo procesus, taip pakeliant bendrą katilinės efektyvumą ir potencialiai sumažinant šilumos gamybai reikalingus kaštus;
- akumuliacinės talpos galėtų užtikrinti 2-3 valandų vandens rezervą katilinei, kurio šiuo metu nėra.

#### 3.2. Organinio Renkino ciklo įrenginys

Atliekinės šilumos potencialas būtų naudojamas išgarinti žemos išgarinimo temperatūros organiniam skysčiui, cirkuliuojančiam uždaru ciklu, o gautas organinio skysčio garas naudojamas sukurti turbinai, kuri gamina elektros energiją, 3.1 pav.. Iš turbinos išėjęs garas susikondensuoja šilumokaityje arba aušintuve-kondensatoriuje. ORC darbo efektyvumas priklauso nuo darbo agento fluido termodinaminių savybių, atliekinės šilumos temperatūros, [4].



3.1 pav. Organinio Renkino ciklo principinė schema, [4]

Šis ciklas gali būti pritaikytas kombinacijoje su akumuliacinėmis talpomis, kurios užtikrintų pastovių parametrų šilumos tiekimą sistemai.

Atlikus minimalius šilumos poreikio skaičiavimus tokiam ciklui vykdyti, nustatyta, kad galimai gaunami sistemos parametrai nebūtų pakankami atlikti organinio fluido išgarinimui. Tokių parametrų šilumą būtų galima panaudoti tik regeneratoriuje, kuriame organinis fluidas būtų dalinai pakaitinamas, kas sumažintų pagrindinio kaitinimo sąnaudas. Atsižvelgiant į tai, kad šiam procesui vykdyti reiktų papildomo energijos šaltinio, o ORC įrenginiai yra brangūs ir reikalauja daug eksplotacinių išlaidų, [21], šis atliekinės šilumos panaudojimo būdas yra atmetamas.

### **3.3. Patalpų šildymas, vėsinimas**

Akumuliuojama šiluma gali būti panaudota administracinių, buitinių ir sandėliavimo patalpų šildymui arba vėsinimui.

Administracinėse ir buitinėse patalpose turi būti palaikoma 22 °C temperatūra, o sausų žaliavų ir pakuočių sandėliuose 10 °C temperatūra.

Šildymo sezono metu, šių patalpų šildymui gali būti panaudoti vanduo – oras tipo šilumos siurbliai.

Ne šildymo sezono metu, padidėjus patalpų vėsinimo poreikiui, gali būti panaudoti absorbciniai aušintuvai.

#### **4. Šilumos panaudojimo sistema**

Pagal nustatytus potencialius atliekinės šilumos šaltinius ir galimas tos šilumos atgavimo technologijas, paruošiama sistemos technologinė schema, sistemos technologinis aprašas. Plačiau aprašomi svarbūs technologiniai sprendimai, kurie buvo priimti atsižvelgiant į darbo procesų pobūdį, galimas sistemos eksploatacines problemas, šilumos panaudojimo galimybes.

Prieš kuriant sistemą, buvo nustatytos šios pagrindinės sąlygos:

1. sistema turi atgauti šilumą iš trijų atliekinės šilumos šaltinių:
  - garą naudojančios gamybos įrenginiai (kepimo būgnai, kepimo ir pasterizavimo mašinos);
  - dviejų gamyklos kompresorių alyvos aušinimo sistema;
  - biokuro katilinės ekonomizerio;
2. ekonomizeriui turi būti tiekiamas pastovių parametrų vanduo;
3. šiluma bus panaudota pašildyti į biokuro katilinės garo katilą paduodamam chemiškai valytam vandeniui;
4. dėl pasirinktų šilumos panaudojimo būdų, sistemos darbinis fluidas bus chemiškai valytas vanduo;
5. sistemoje turi būti numatytos sąlygos įrengti šilumos siurblių, kurio pagalba būtų galima šildyti galimai pasirenkamas patalpas (administracinės, buitinės, sandėliavimo ir kt.);
6. siekiant užtikrinti stabilius į garo katilą paduodamo vandens parametrus, pašildytas vanduo bus surenkamas visų atliekinės šilumos kontūrų kolektoriuje ir nuvedamas į akumuliacinę talpą iš kurios bus tiekiamas vanduo į garo katilą;
7. sistema turi veikti be sustojimo;
8. sistemoje turi būti numatyta galimybė atjungti bet kurią sistemos dalį. Sistema turi prisitaikyti prie pakitusių parametrų ar tęsti procesus naudojant kitus įrenginius.

##### **4.1. Vamzdynų ir prietaisų diagrama**

Parengta bendra sistemos schema, žiūrėti 1 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra ir 5 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra/išdidinta.

##### **4.2. Technologinis atliekinės šilumos panaudojimo sistemos aprašas**

###### **4.2.1. Įrenginių garo ir kondensato kontūras**

Atliekinės šilumos įsisavinimui iš gamybos įrenginių garo ir kondensato buvo pasirinkta panaudoti:

1. 4 garo kondensatoriai (K1, K2, K3, K4);
2. 1 kondensato surinkimo talpa;
3. 4 kondensato surinkimo siurblius (KS-S1, KS-S1, KS-S3, KS-S4);
4. 2 šilumokaičius (K/VŠ1, K/VŠ2);
5. 2 kondensato siurblius (KV-S1, KV-S2);

Šaltas vanduo kontūrai bus tiekiamas tinklo siurbliais (T-S1, T-S2) iš šalto ir chemiškai išvalyto vandens talpos.

Pirmiausiai šaltas vanduo pateks į kondensatorius, kuriuose bus vykdomas gamybos įrenginių garo kondensavimas ir pirminis vandens pašildymas. Kondensatoriais paskirstyti pagal gamybos įrenginių padėti gamykloje ir artumą. Susikondensavęs garas savaiminiu tekėjimu nubėgs į grindyse sumontuotus kondensato filtrus, 4.3.1. Į šiuos filtrus taip pat savaiminio tekėjimo principu bus surinkinėjamas pačiuose įrenginiuose ir garo padavimo linijose susidaręs kondensatas.

Filtruose surinktas kondensatas, kondensato išsiurbimo siurblių pagalba, bus surenkamas į 10 m<sup>3</sup> kondensato akumuliacinę talpą.

Minimaliai kondensatoriuose pašilęs vanduo keliaus į kontūro šilumokaičius, kuriuose KV-S1, KV-S2 siurbliai cirkuliuos talpoje surinktą kondensatą.

Kondensatui pasiekus ~25 °C temperatūrą, jis bus išleidžiamas į nuotekų tinklus. Jeigu kondensato temperatūrą už šilumokaičio būtų didesnė, dalis kondensato gali būti grąžinama atgal į talpą pakartotinam ciklui.

Šilumokaičiuose pašilęs vanduo bus nukreiptas į sistemos kolektorių KB1 ir galiausiai pateks į sistemos akumuliacines talpas (AT1, AT2).

Kontūro jungimas atvaizduotas, 2 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, įrenginių garo ir kondensato kontūras.

#### **4.2.2. Kompresorių aušinimo kontūras**

Atliekinės šilumos įsisavinimui iš kompresorių aušinimo sistemos buvo pasirinkta diegti 2 šilumokaičius (K/VŠ1, K/VŠ2), nes reikalingas tik įsiterpimas į jau veikiančią sistemą.

Šaltas vanduo kontūrai bus tiekiamas tinklo siurbliais (T-S1, T-S2) iš šalto ir chemiškai išvalyto vandens talpos.

Bus įsiterpiama į kompresorių aušinimo sistemų propilenglikolio kontūrus, kuriuose propilenglikolį, tarp alyvos talpos ir orinio aušintuvo, stumdo po du siurblius (KPG-S1, KPG-S2 ir KPG-S3, KPG-S4). Šilumokaičiai bus įterpiami atkarpoje tarp propilenglikolio išėjimo iš alyvos talpos ir įėjimo į aušintuvą.

Šilumokaičiuose pašilęs vanduo bus nukreiptas į sistemos kolektorių KB1 ir galiausiai pateks į sistemos akumuliacines talpas (AT1, AT2).

Esami oriniai aušintuvai paliekami dėl pastovaus kompresorių aušinimo užtikrinimo, kai sistema yra atjungiamą arba šilumokaitis nepajėgia pilnai nuimti šilumos nuo cirkuliuojančio propilenglikolio.

Kontūro jungimas atvaizduotas, 3 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, kompresorių aušinimo kontūras.

#### **4.2.3. Biokuro katilinės ekonomizerio kontūras**

Biokuro katilinės ekonomizerio efektyvumo padidinimui buvo pasirinkta modifikuoti ekonomizerio vandens cirkuliacijos kontūrą.

Į ekonomizaizerį, naudojant esamus siurblius (TS-S3, TS-4), vanduo bus tiekiamas iš šalto ir chemiškai valyto vandens talpos. Ekonomaizeryje pašilęs vanduo bus nukreiptas į sistemos kolektorių KB1 ir galiausiai pateks į sistemos akumuliacines talpas (AT1, AT2).

Kontūre taip pat numatyta atkarpa, kuria vanduo į ekonomizaizerį gali būti paimtas ir iš akumuliacinės talpos, kuri turi šilumos siurblio kontūrą. Esant šiai atkarpai sumažinamas siurblio M-S1, kuris perpila vandenį tarp talpų, poreikis.

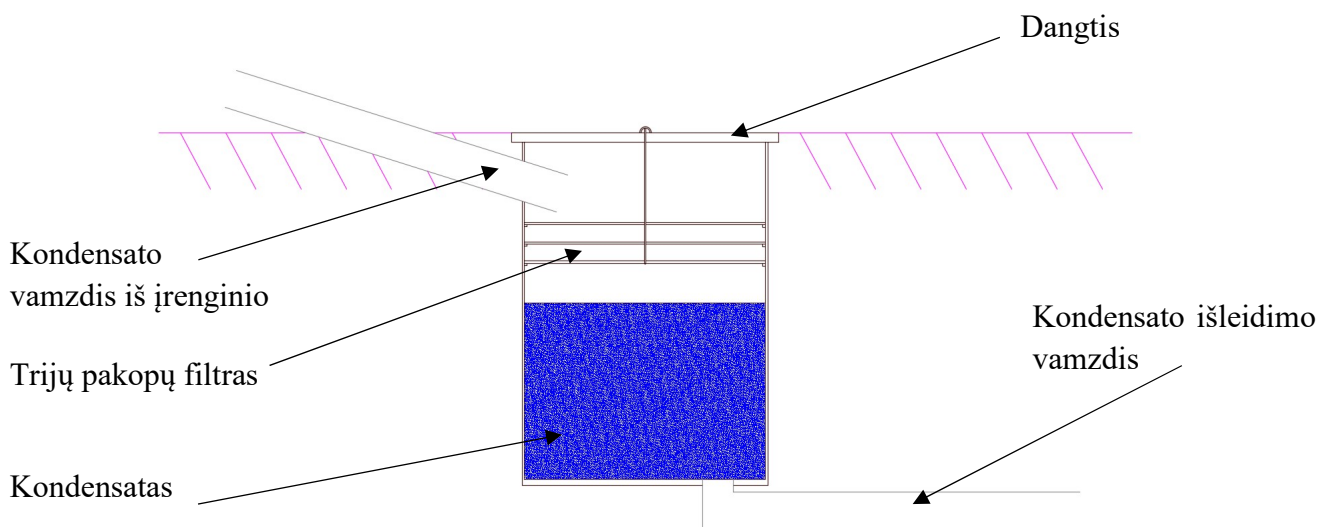
Kontūro jungimas atvaizduotas, 4 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, biokuro katilinės sausojo ekonomizaizerio kontūras.

### 4.3. Kiti technologiniai sprendimai sistemoje

#### 4.3.1. Gamybinių priemaišų kondensate šalinimo filtras

Iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių surenkamame kondensate esančios priemaišos, bus pašalintos mechaninio filtro pagalba.

Filtras bus montuojamas šulinio principu – į grindis įleidžiama termiškai izoliuota talpa su atidaromu dangčiu, 4.1 pav.. Kondensatas į talpą subėgs gravitacijos pagalba, nes ji bus sumontuota žemiau, nei įrenginiuose esantis drenažo taškas. Talpoje bus sumontuoti dviejų tankumų metaliniai tinkleliai ir smulkus medžiaginis filtras, kurie sugaudys skirtingų dydžių priemaišas.



4.1 pav. Gamybinių priemaišų kondensate šalinimo filtras

Filtrai bus aptarnaujami per talpos atidarymo dangtį – atidarius dangtį, išsitrauks kartu sujungti filtrai.

Filtrų valymą atliks gamyboje dirbantys pamainos operatoriai arba įrenginius valantis personalas. Žemiau apatinio filtro bus sumontuotas lygio daviklis, kuris signalizuos apie talpoje pasiektą maksimalų kondensato lygį ir įsijungs kondensato ištraukimo siurbliai.

### **4.3.2. Akumuluojamo vandens paskirstymas**

Siekiant užtikrinti efektyviausią karšto vandens panaudojimą, šalto vandens ir akumuliacinės talpos bus sujungtos specialiu vandens perpylimo kontūru, kuriame vandenį skirstys siurblys M-S1.

Iš kolektoriaus KB1 karštas vanduo keliauja tiesiai į akumuliacinę talpą AT2. Kadangi garo katilo vandens poreikis yra mažesnis, nei sistemoje paruošiamo vandens kiekis, dalis karšto vandens bus periodiškai išpumpuojama iš AT2 į AT1 naudojant M-S1. AT1 talpoje esantis šilumos siurblio kontūras pasiims šilumą nuo vandens. Vandeniui atvėsus iki  $\sim 10$  °C, jis bus perpumpuojamas į šalto vandens talpą iš kurios vėl bus leidžiamas pro sistemą. Vandens pakeitimas AT1 talpoje turėtų užtrukti  $\sim 5-8$  min.

## 5. Energetiniai skaičiavimai

### 5.1. Atgaunamos šilumos kiekis iš kepimo ir pasterizavimo įrenginių

Nusistatomi pradiniai skaičiavimo dydžiai, kurie pateikiami 5.1 lentelė.

5.1 lentelė Priimti pradiniai skaičiavimo duomenys

Dydis, vienetas	Kondensatorius 1	Kondensatorius 2	Kondensatorius 3	Kondensatorius 4
I kondensatorių patenkančio garo temperatūra, $T_{g1}$ , °C (K)	89 (362)	75 (348)	85 (358)	95 (368)
I kondensatorių patenkančio garo tūris, $V_g$ , m <sup>3</sup> /val	2920	2200	780	660
Garų tankis, $\rho_g$ , kg/m <sup>3</sup>	0,00133			
Pro kondensatorių paleidžiamas šalto vandens kiekis, $V_v$ , m <sup>3</sup> /val.	2	1.5	1	1
Vandens tankis, $\rho_v$ , kg/m <sup>3</sup>	1000			
Pro kondensatorių paleidžiamo šalto vandens temperatūra, $T_{v1}$ , °C (K)	8 (281)			
Garavimo entalpija, $h_e$ , kJ/kg	2288	2322	2293	2270
Šilumnešio specifinė šiluma (vanduo), $c_p$ , J/kg*K	4191			

Pirmiausiai atliekami kondensatorių energetiniai skaičiavimai.

Skaičiuojamas Kondensatorius 1.

Apskaičiuojama šiluma, kuri išsiskirtų garo kondensacijos metu:

$$q = h_e \times m_s \quad (1)$$

Čia  $q$  – šilumos kiekis, W;  $h_e$  – garavimo entalpija, kJ/kg;  $m_s$  – garo debitas, kg/val.

Garų debitas apskaičiuojamas naudojant formulę:

$$m_s = V_g \times \rho_g \quad (2)$$

Čia  $V_g$  – garo tūrinis debitas, m<sup>3</sup>/val;  $\rho_g$  – garo tankis, kg/ m<sup>3</sup>.

$$m_s = V_g \times \rho_g = 2920 \times 0.00133 \approx 3.88 \text{ kg/val}$$

$$q = 2288 \times 3.88 \approx 8877 \text{ kJ/val} \approx 2466 \text{ W}$$

Gaunama, kad garo kondensacijos metu bus išskiriama 2466 W šilumos.

Toliau apskaičiuojama kiek pašils į kondensatorių tiekiamas šaltas vanduo,  $T_{v2}$ .

Iš formulės, [6]:

$$q = G \times c_p \times (T_{v2} - T_{v1}) \quad (3)$$

Čia  $q$  – šilumos kiekis, W;  $G$  – vandens debitas, kg/s;  $c_p$  – šilumnešio specifinė šiluma, J/kg·K;  $T_{v1}$  – pradinė temperatūra, K;  $T_{v2}$  – galutinė temperatūra, K.

Išsireiškiama temperatūra  $T_{v2}$ :

$$T_{v2} = \frac{q}{G \times c_p} + T_{v1}$$

$$G = V_v \times \rho_v = 2 \times 1000 = 2000 \frac{kg}{val} = 0.55 kg/s$$

$$T_{v2} = \frac{2466}{0.55 \times 4195} + (8 + 273) = 282.05 K = 9.05 ^\circ C$$

Gaunama, kad pro pirmą kondensatorių praleidus 2 m<sup>3</sup>/val., 8 °C vandens, jis pašiltų ~1 °C.

Kondensatoriuje iš garo susikondensavusio garo kiekis, lygintinai su įrenginiuose surenkamo kondensato kiekiu, yra mažas, tad susidariusio kondensato kiekis toliau nebus vertinamas

Visi kondensatoriai apskaičiuojami vienodai, 5.2 lentelė.

**5.2 lentelė** Kondensatorių darbo parametrai

Kondensatorius	m, kg/val	q, W	G, kg/s	T <sub>v2</sub> , °C
1	3.88	2466	0.56	9.05
2	2.93	1890	0.42	9.07
3	1.04	662	0.28	8.56
4	0.88	555	0.28	8.47
Viso:	8.73	5573	1.54	~8.86

Gauname, kad kondensatoriuose bus išgaunama ~5.5 kW šilumos energijos ir juose į visą kontūrą, tiekiamas vanduo (5,5 m<sup>3</sup>) bus pašildomas ~1 °C.

Toliau remiantis gamybinių įrenginių analizės duomenimis, apskaičiuojamas šilumos kiekis išgaunamas iš įrenginiuose surenkamo kondensato ir jų garo tiekimo linijose, 5.3 lentelė.



### 5.3 lentelė Pasterizavimo ir kepimo įrenginių kondensato duomenys

Įrenginio pavadinimas	Kondensatas iš įrenginio		Garų linijos kondensatas	
	t, °C	kg / val	t, °C	kg / val
501 c. Nr. 38 kepimo būgnas	100	250	90	20
501 c. Nr. 50 kepimo būgnas	100	250	90	20
501 c. Nr. 28 kepimo būgnas	100	350	90	25
504 c. Nr.12 kepimo mašina	90	1200	90	80
504 c. Nr.13 kepimo mašina	90	400	90	25
501 c. Nr 73 Pasterizatorius	85	50	90	5
501 c. Nr 74 Pasterizatorius	85	50	90	5
504 c. Nr 38 Pasterizatorius	80	250	90	20
504 c. Nr 39 Pasterizatorius	80	230	90	15
503 c. Pasterizatorius	90	200	90	15
Viso:	~91	3230	90	230

Iš viso į kondensato surinkimo talpą bus surenkama 3460 kg, 90 °C temperatūros kondensato per valandą.

Pagal parengtą sistemos schemą, šiluma nuo surinkto kondensato bus paaimama dvejais šilumokaičiais.

Šilumokaičiai apskaičiuojami naudojant „Danfoss Hexact (v5.2.9)“ programą, [25].

Programoje nustatomi pradiniai parametrai, pagal apskaičiuotas ir pasirinktas reikšmes, kurios nurodytos 5.4 lentelė.

### 5.4 lentelė Pradiniai kondensato kontūro šilumokaičio parametrai

Pavadinimas	Dydis	Vienetas
Kondensato temperatūra, pradinė	90	°C
Kondensato temperatūra, išeinanti	25	°C
Srautas, masinis	1730	kg/val
Kondensato kontūro darbinis slėgis	3	bar
Šalto vandens temperatūra, pradinė	9	°C
Srautas, masinis	2750	kg/val
Šalto vandens kontūro slėgis	5	bar

Programos nustatymai ir gauti rezultatai pateikiami priede Nr.6.

Gauta, kad reikalingų šilumokaičių galia bus po ~130 kW, juose vanduo bus pašildomas nuo 9 °C iki ~50 °C.

## 5.2. Atgaunamos šilumos kiekis iš kompresorių aušinimo sistemos

Pagal parengtą sistemos schemą, šiluma nuo kompresorių aušinimo sistemos bus paimama dvejais šilumokaičiais.

Šilumokaičiai apskaičiuojami naudojant „Danfoss Hexact (v5.2.9)“ programą, [25].

Programoje nustatomi pradiniai parametrai, pagal žinomas projektines reikšmes, kurios nurodytos 5.5 lentelė.

**5.5 lentelė** Pradiniai kompresorių aušinimo sistemos kontūro šilumokaičio parametrai

Pavadinimas	Dydis	Vienetas
Propilenglikolio temperatūra, pradinė	55	°C
Propilenglikolio temperatūra, išeinanti	30	°C
Srautas, masinis	3500	kg/val
Propilenglikolio koncentracija	40	%
Propilenglikolio darbinis slėgis	4	bar
Šalto vandens temperatūra, pradinė	8	°C
Srautas, masinis	3000	kg/val
Šalto vandens kontūro slėgis	3	bar

Programos nustatymai ir gauti rezultatai pateikiami priede Nr.7.

Gauta, kad vieno šilumokaičio galia bus ~92 kW ir jame vanduo bus pašildomas nuo 8 °C iki ~35°C.

## 5.3. Sausojo ekonomaizerio efektyvumo padidinimas

Kadangi ekonomaizeris biokuro katilinėje jau sumontuotas ir veikia, bus vertinami projektiniai ir faktiniai katilinės darbiniai parametrai, režimai, [22].

Norint pasiekti pilną ekonomaizerio galią (800 kW), pagal projektinius duomenis, pro ekonomaizerį turi pratekėti 15000 kg/val (~15 m<sup>3</sup>/val) ir nedidesnės nei 12°C temperatūros vandens.

Remiantis biokuro katilinės darbo pobūdžiu ir parametrais, galime teigti, kad stabilizavus vandens srautą, kuris cirkuliuoja ekonomaizeryje, būtų galima išgauti anksčiau minėtus ~25 % efektyvumo, kas sudaro 200 kW šiluminės galios.

Priimame, kad pasiekus pilną darbinį ekonomaizerio efektyvumą, per valandą būtų galima pašildyti 15 000 kg vandens iki ~80 °C.

## 5.4. Teorinis pilnas atgaunamos šilumos kiekis

Apskaičiavus visus šilumos kontūrus gauname, kad sistemos galima įsisavinti ~644 kW šiluminės galios, kurios pagalba galėtų būti akumuliuojama ~26.5 m<sup>3</sup>, 63.5 temperatūros °C vandens per valandą, 5.6 lentelė.

**5.6 lentelė** Bendrieji kontūrų parametrai

Kontūras	Šiluminė galia, kW	Srautas, kg/val	Temperatūra, °C
Įrenginių garo ir kondensato	260	5500	50
Kompresorių aušinimo	184	6000	35
Ekonomaizerio	200	15000	80
Viso:	570	26500	63.5

Įvertinant darbo laiką, galimus sistemos sustojimus ir priimant, kad sistemos darbo metu, bus prarandama ~10% šilumos energijos, dėl šiluminių nuostolių vandens perdavimo vamzdynuose ir darbo įrenginiuose, apskaičiuojame gaunamos šilumos energijos kiekį per metus, 5.7 lentelė.

**5.7 lentelė** Sistemoje atgaunamos šilumos energijos kiekis

Kontūras	Galia, kW	Galia įvertinus nuostolius, kW	Darbo laikas		Šilumos energija, kWh
			val./d.	d./metus	
Įrenginių garo ir kondensato	260	234	24	355*	1 993 680
Kompresorių aušinimo	184	165.6	24	360**	1 430 784
Ekonomaizerio	200	180	24	340***	1 468 800
Viso:	644	579,6	-	-	4 893 264

\* - Priimama, kad įrenginiai sustabdomi planiniams valymams ir auditui

\*\* - Vertinama, kad įrenginiai sustabdomi 5 darbo dienoms, kurių metu atliekamas planinis aptarnavimas

\*\*\* - Vertinama, kad katilinė stabdoma 2 savaitėms, kurių metu atliekamas planinis katilinės aptarnavimas ir remontas.

## 6. Ekonominiai skaičiavimai

Siekiant užtikrinti ekonominių skaičiavimų tikslumą, pasirenkamos gamyklos pateiktos vidutinės energijos gamybos ir įrenginių eksploatacijos išlaidos, 6.1 lentelė.

**6.1 lentelė** UAB „Plungės kooperatinė prekyba“ perkamos elektros, šilumos, šaldymo energijų ir įrenginių eksploatacinių išlaidų kainos

Pavadinimas	Dydis	Vienetas
Vidutinė elektros energijos pirkimo kaina	0.0710	€/kWh
Vidutinė šilumos energijos pirkimo kaina	0.0240	€/kWh
Vidutinė šalčio energijos pirkimo kaina	0.0920	€/kWh
Eksploatacines įrenginio išlaidos (preliminarios)	0.0050	€/kWh

### 6.1. Atliekinės šilumos vertė

Remiantis energetiniais skaičiavimais ir įmonės perkamos šilumos energijos kaina, įvertinta atgaunamo šilumos vertė per metus, 6.2 lentelė.

**6.2 lentelė** Atgaunamo šilumos vertė kiekviename šilumos kontūre

Šilumos atgavimo kontūras	Pagaminamas kiekis per metus, kWh	Taikoma kaina, €/kWh	Suma, €
Įrenginių garo ir kondensato	1 993 680	0,024	47 848.32
Kompresorių aušinimo	1 430 784	0,024	34 338.81
Katilinės dūmų	1 468 800	0,024	35 251.20
Viso:			117 438.33

### 6.2. Atliekinės šilumos panaudojimo sistemos įrengimo kaštų vertinimas

Atsižvelgiant į parengtą technologinę schemą ir į reikalingų darbų apimtį, bei jų atlikimo aplinkybes, parengiama preliminari projekto sąmata, įvertinant darbų - 6.3 lentelė, medžiagų - 6.4 lentelė ir galimas papildomų išlaidų - 6.5 lentelė, kainas.

**6.3 lentelė** Sistemos projektavimo, įrengimo, paleidimo darbų kainos

Pavadinimas	Kaina, €
Projektavimo darbai	11000.00
Vamzdynų, siurblių, talpų, armatūros, kondensatorių, šilumokaičių montavimas	22000.00
Programavimo darbai	6000.00
Paleidimo - derinimo darbai	3500.00
Iš viso:	42500.00

#### 6.4 lentelė Sistemos reikalingų įrenginių ir medžiagų kaina

Pavadinimas	Kiekis	Matavimo vienetas	Vieneto kaina, €	Suma, €
SiurbLIAI, kondensato surinkimo	4	vnt.	1500.00	6000.00
SiurbLIAI, kondensato šilumokaičiui	2	vnt.	1800.00	3600.00
Sirblys, akumuliacinių talpų perpylimo	1	vnt.	4000.00	4000.00
SiurbLIAI, vandens	2	vnt.	5000.00	10000.00
Kondensatorius (1)	1	vnt.	1500.00	1500.00
Kondensatorius (2)	1	vnt.	1250.00	1250.00
Kondensatorius (3,4)	2	vnt.	1000.00	2000.00
Akumuliacinė talpa, 30 m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	400.00	12000.00
Akumuliacinė talpa su šilumos nuėmimo kontūru, 30 m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	450.00	13500.00
Šalto vandens talpa, 30 m <sup>3</sup>	30	m <sup>3</sup>	250.00	7500.00
Kondensato surinkimo talpa, 10 m <sup>3</sup>	10	m <sup>3</sup>	350.00	3500.00
Šilumokaitis (kondensato kontūru)	2	vnt.	4000.00	8000.00
Šilumokaitis (kompresorių aušinimo kontūru)	2	vnt.	3000.00	6000.00
Į grindis įleidžiami mechaniniai kondensato filtrai	6	vnt.	800.00	4800.00
Temperatūros daviklis vamzdynuose	16	vnt.	120.00	1920.00
Temperatūros daviklis talpose	4	vnt.	250.00	1000.00
Slėgio daviklis	26	vnt.	120.00	3120.00
Lygio daviklis talpose	4	vnt.	750.00	3000.00
Lygio daviklis filtrams	6	vnt.	150.00	900.00
Manometras	32	vnt.	40.00	1280.00
Termometras	12	vnt.	30.00	360.00
Uždaromoji armatūra	1	kompl.	20000.00	20000.00
Vamzdžiai, plastiko	600	m	2.50	1500.00
Vamzdžiai, nerūdijančio plieno	200	m	7.00	1400.00
Vamzdžių izoliacija	500	m	15.00	7500.00
Kabeliai	3000	m	3.00	9000.00
Automatinio valdymo skydai	1	kompl.	12000.00	12000.00
Elektros skydai	1	kompl.	5000.00	5000.00
Kiti automatikos prietaisai	1	kompl.	4000.00	4000.00
Papildomos montavimo medžiagos	1	kompl.	8500.00	8500.00
Iš viso:				164130.00

### 6.5 lentelė Kitos patiriamos išlaidos projekto metu

Pavadinimas	Suma, €	Pastaba
Įmonės personalas - vidinis projekto valdymas	5 000.00	Įmonės vadovai, inžinieriai
Iš viso:	5 000.00	

### 6.3. Sistemos aptarnavimo kaštų vertinimas

Įvertinamos sistemos eksploatavimo išlaidos vieniems kalendoriniams metams, 6.6 lentelė.

### 6.6 lentelė Sistemos periodinio aptarnavimo kaštai metams

Pavadinimas	Suma, €
Siurblių aptarnavimas	800.00
Talpų aptarnavimas	1500.00
Šilumokaičių ir kondensatorių aptarnavimas	3500.00
Automatikos aptarnavimas	1500.00
Uždaromosios armatūros aptarnavimas	0.00
Iš viso:	8300.00

Vertinta, kad sistemos aptarnavimas vyksta tokiais periodiškumais, 6.7 lentelė.

### 6.7 lentelė Sistemos įrenginių aptarnavimo periodiškumai

Aptarnavimas	Periodiškumas
Siurblių aptarnavimas	6 mėn.
Talpų aptarnavimas	Kondensato talpa – 3 mėn. Akumuliacinė ir šalto vandens talpa – 6 mėn.
Šilumokaičių, kondensatorių, sauso ekonomizaizerio aptarnavimas	Garo ir kondensato kontūro šilumokaičiai – 1 mėn. Alyvos aušinimo kontūro šilumokaitis – 6 mėn. Kondensatoriai – 3 mėn. Sausasis ekonomizaizeris – 6 mėn.
Automatikos aptarnavimas	1 metai.
Uždaromosios armatūros aptarnavimas	Patikrinimas vyksta kasdien. Darbus atlieka gamybos procese, katilinės ir kompresorių valdyme dalyvaujantis personalas

Remiantis energetiniais sistemos skaičiavimais ir vidutine įmonės eksploatacijos kaina kiekvienai pagaminamai kWh, įvertinama galimai reikalingų sistemos remontų kaina metams, 6.8 lentelė.

### 6.8 lentelė Neplaninių sistemos remontų kainos įvertinimas metams

Pavadinimas	Pagamintos energijos kiekis, kWh	Remonto kaina, €/kWh	Suma, €
Neplaninis remontas	4 893 264	0.0050	24 466.32

#### 6.4. Projekto atsiperkamumo prognozė

Sistemos atsiperkamumo skaičiavimas atliekamas, vertinant anksčiau apskaičiuotus dydžius, 6.9 lentelė. Priimama, kad sistemos įrengimui įmonė investuoja pati.

#### 6.9 lentelė Neigiami ir teigiami sistemos kaštai

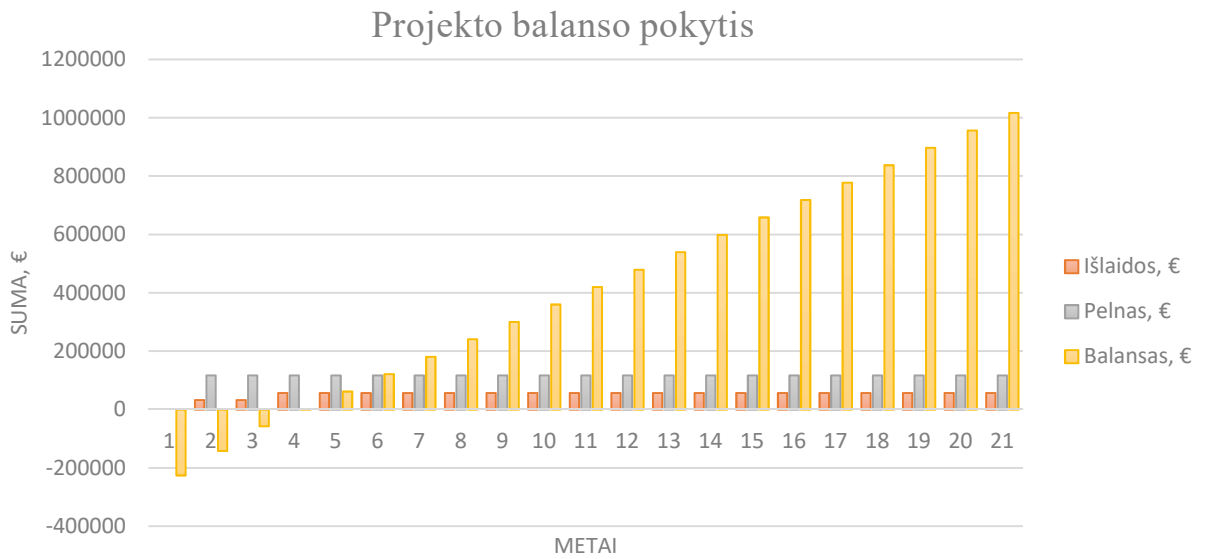
Pavadinimas	Suma, €
Sistemos įrengimas, €	225 130.00
Planinė sistemos eksploatacija, €/metams	8 300.00
*Neplaninė sistemos eksploatacija, €/metams	24 466.32
Elektros energija, €/metams	25 000.00
Šilumos energijos vertė, €/metus	117 438.33

\* - Bus pradėta vertinti po 2 metų, dėl įrenginiams taikomų garantinių laikotarpių.

Sudaromas sistemos atsiperkamumo balansas 20-ies metų laikotarpiui, 6.10 lentelė, 6.1 pav..

#### 6.10 lentelė Sistemos atsiperkamumo balansas, 20 metų laikotarpiui

Metai	Išlaidos, €	Pelnas, €	Balansas, €
Sistemos paleidimas	-	-	- 225 130.00
1	33 300.00	117 438.33	-140 991.67
2	33 300.00	117 438.33	-56 853.34
3	57 766.32	117 438.33	2 818.67
4	57 766.32	117 438.33	62 490.68
5	57 766.32	117 438.33	122 162.69
6	57 766.32	117 438.33	181 834.70
7	57 766.32	117 438.33	241 506.71
8	57 766.32	117 438.33	301 178.72
9	57 766.32	117 438.33	360 850.73
10	57 766.32	117 438.33	420 522.74
11	57 766.32	117 438.33	480 194.75
12	57 766.32	117 438.33	539 866.76
13	57 766.32	117 438.33	599 538.77
14	57 766.32	117 438.33	659 210.78
15	57 766.32	117 438.33	718 882.79
16	57 766.32	117 438.33	778 554.80
17	57 766.32	117 438.33	838 226.81
18	57 766.32	117 438.33	897 898.82
19	57 766.32	117 438.33	957 570.83
20	57 766.32	117 438.33	1 017 242.84



**6.1 pav.** Projekto balanso pokytis



## Išvados

1. Išanalizavus gamyklos gamybos ir energetinių sistemų darbo procesus, priimta, kad šilumą galima atgauti iš:
  - gamybos įrenginių išmetamo garo ir kondensato – surenkant visą susidariusį kondensatą;
  - amoniakinių šaldymo sistemos kompresorių – įsiterpiančią į kompresoriaus aušinimo kontūrą;
  - biokuro katilinės ekonomizaizerio - optimizuojant ekonomizaizerio darbo parametrus.
2. Parengta sistemos technologinė schema atitinka visus išsikeltus reikalavimus;
3. Atlikti energetiniai skaičiavimai parodė, kad
  - bendra sistemos galia siektų ~580 kW;
  - sistemoje būtų galima paruošti 26.5 m<sup>3</sup>, 63.5 °C temperatūros vandens per valandą;
  - per metus būtų išgaunama ~5000 MWh šilumos energijos;
4. Atlikus sistemos ekonominį skaičiavimą, nustatyta, kad:
  - įmonė sistemos įgyvendinimui turėtų investuoti 225 000 eurų;
  - sistemos eksploatacija pirmais dvejais metais kainuotų 33 300 eurų, o toliau ~58 000 eurų;
  - atgaunamos šilumos vertė siektų ~117 000 eurų per metus;
  - sistema atsiperktų per 3 metus.
5. Sistemos atsiperkamumo laikotarpis yra priimtinas įmonei ir sistema gali būti svarstoma kaip potencialus gamyklos ateities projektas.

## Literatūra

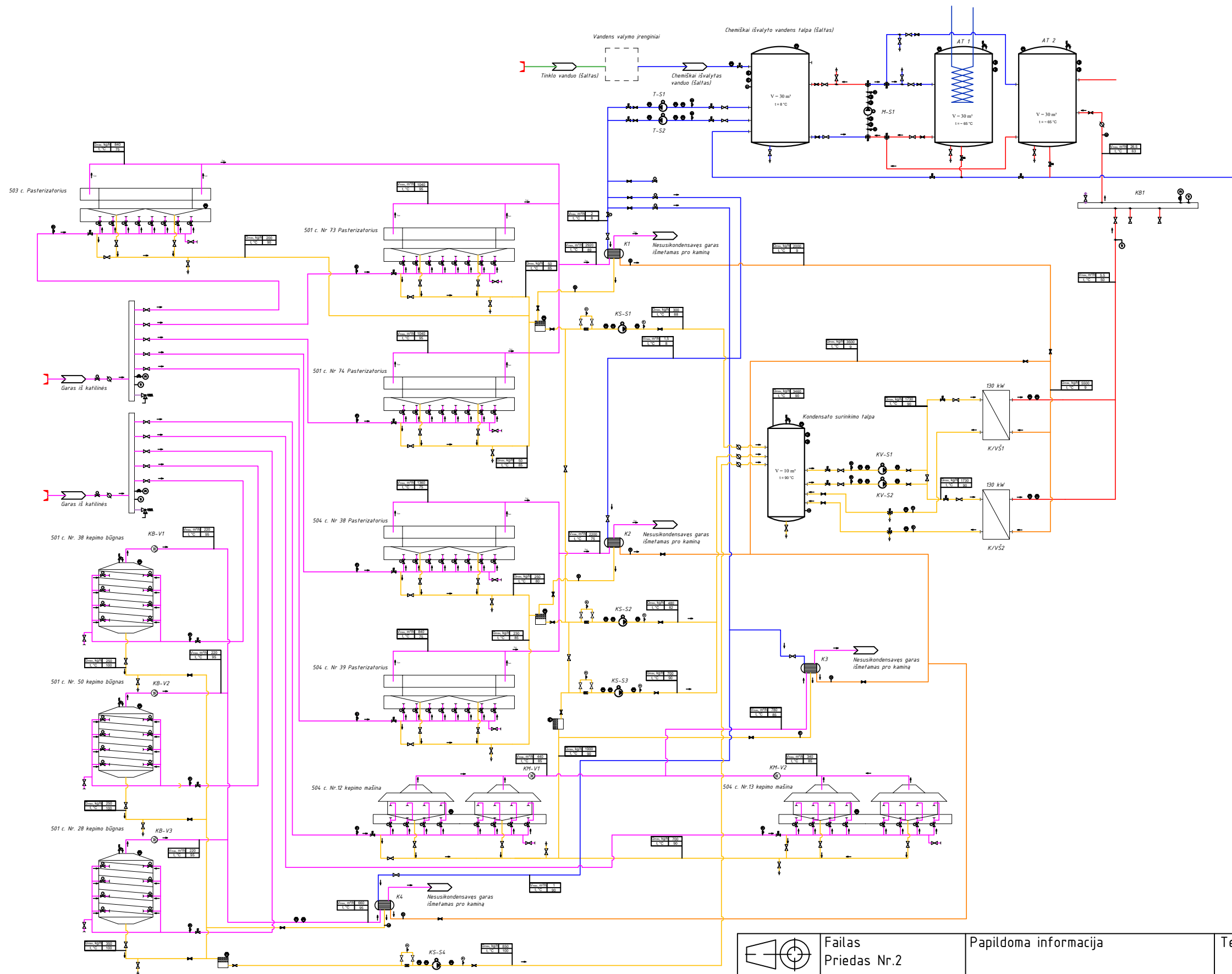
1. UAB "Folisita". 2017. 504c. vėdinimo sistemos rekonstrukcijos projektas. Plungė : s.n., 2017 m.
2. *16 - Heat Exchange in Condensers and Reboilers*. Lieberman, Norman. 2019. 2019 m., *Understanding Process Equipment for Operators and Engineers*, p. 119-125.
3. *Atliekinės šilumos energijos utilizavimas, naudojant organinį Renkino ciklą, elektros energijai gaminti*. Andrejus BURLAKOVAS, Vladislovas KATINAS. 2011. 2011 m., *Energetika*, p. 115–122.
4. *Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications*. A. Schuster, S. Karellas, E. Kakaras, H. Spliethoff. 2008. 2008 m., *Applied Thermal Engineering*, p. 1809–1817.
5. 2016. *ES šildymo ir vėsinimo strategija*. Briuselis : Europos komisija, 2016.
6. G. Gimbutis, K. Kajutis, V. Krukoniš, A. Pranckūnas, P. Švenčianas. 1993. *ŠILUMINĖ TECHNIKA*. Vilnius : "Mokslo" leidykla, 1993.
7. *Heat exchanger dynamic analysis*. R. Whalley, K. M. Ebrahimi. 2018. 2018 m., *Applied Mathematical Modelling*, p. 38-50.
8. *Heat transfer and flow regimes in large flattened-tube steam condensers*. William A. Davies III, Y. Kang, P. Hrnjak, Anthony M. Jacobi. 2019. 2019 m., *Applied Thermal Engineering*, p. 722-733.
9. 2019. HEAT TRANSFER CONSULT. [Tinkle] 2019 m. 02 08 d. [http://www.heattransferconsult.nl/Tradi\\_Plate\\_Calc.html](http://www.heattransferconsult.nl/Tradi_Plate_Calc.html).
10. *High temperature collecting performance of a new all-glass evacuated tubular solar air heater with U-shaped tube heat exchanger*. Wanga, Pin-Yang, et al. 2014. 2014 m., *Energy Conversion and Management*, p. 315-323.
11. Jakubčionis, Mindaugas. 2011. *Šiluminės technikos pagrindai*. Vilnius : Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2011.
12. *Low-grade heat recycling for system synergies between waste heat and food production, a case study at the European Spallation Source*. Thomas Parker, Anders Kiessling. 2016. 2016 m., *Energy Science & Engineering*, p. 153-165.
13. Lukoševičius, Valdas. 2016. Šildymo ir vėsinimo strategija Europos Sąjungai. *Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija*. [Tinkle] 2016 m. 02 24 d. [https://www.lsta.lt/files/news/20160224\\_%20ES%20sildymo%20ir%20vesinimo%20strategija\\_VLukoseviciu.pdf](https://www.lsta.lt/files/news/20160224_%20ES%20sildymo%20ir%20vesinimo%20strategija_VLukoseviciu.pdf).
14. Marcinkauskas, Kazys. 2003. *Atliekiniai energijos išteklių – pirminių energijos išteklių taupymo rezervas: 1991–2002 m. tiriamųjų darbų apžvalga*. Kaunas, Lietuva : Lietuvos energetikos institutas, 2003 m.
15. *Performance and operational effectiveness of evacuated flat plate solar collectors compared with conventional thermal, PVT and PV panels*. R.W.Mossa; P.Henshallb; F.Aryac; G.S.F.Shirea; T.Hydec; P.C.Eamesd. 2018. 2018 m., *Applied energy*, p. 588-601.
16. 2019. Plate Heat Exchanger. [Tinkle] 2019 m. 03 11 d. <https://www.che.iitb.ac.in/courses/uglab/cl333n335/ht310-plate.pdf>.

17. *Plate heat exchangers—method of calculation, charts and guidelines for selecting plate heat exchanger configurations*. T. Zaleski, K. Klepacka. 1992. 1992 m., Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, p. 49-56.
18. *Power generation from waste heat in a food processing application*. M. Aneke, B. Agnew, C. Underwood, H. Wu, S. Masheiti. 2012. 2012 m., Applied Thermal Engineering, p. 171-180.
19. *Recovery and utilization of waste heat*. O.M.Al-Rabghi, M.Beirutty, M.Akyurt, T.Alp. 1993. 1993 m., Heat Recovery Systems and CHP, p. 463-470.
20. *Steam condensation on a downward-facing plate in presence of air*. R. Chen, P. Zhang, B. Tan, P. Ma, Z. Wang, D. Zhang, W. Tian, S. Qiu, G. H. Su. 2019. 2019 m., Annals of Nuclear Energy, p. 451-460.
21. 2018. Turboden S.p.A. [Tinkle] 2018 m. 07 14 d. [www.turboden.com](http://www.turboden.com).
22. UAB "Enerstena". 2012. 9 MW biokuro katilinės projektas. Plungė : s.n., 2012 m.
23. UAB "Termolink". 2016. 9 MW dujinio garo katilo projektas. Plungė : s.n., 2016 m.
24. *Waste-Heat Recovery in Batch Processs Using Heat Storage*. S. Stoltze, J. Mikkelsen, B. Lorentzen, P. M. Peterson, B. Qvale. 2008. 2008 m., Journal of Energy Resources Technology, p. 142-149.
25. 2019. Danfoss. [Tinkle] Danfoss, 2019 m. [Cituota: 2019 m. 04 17 d.] <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/hexact/#tab-overview>.

## **Priedai**

- 1 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra**
- 2 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, įrenginių garo ir kondensato kontūras**
- 3 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, kompresorių aušinimo kontūras**
- 4 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, biokuro katilinės sausojo ekonomaizerio kontūras**
- 5 priedas. Brėžinys: Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra/išdidinta**
- 6 priedas. Programos vaizdas: Kondensatas/vanduo šilumokaičio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9)**
- 7 priedas. Programos vaizdas: Propilenglikolis/vanduo šilumokaičio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9)**



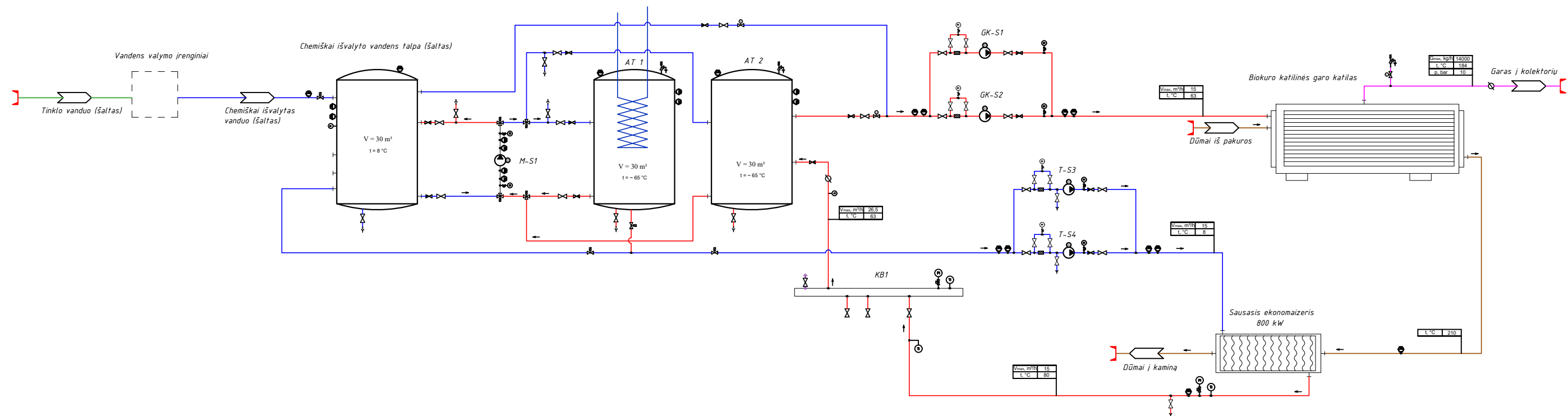


SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI:	
	Garas
	Karštas vanduo, galutinis pašildymas (valytas)
	Karštas vanduo, pirmojo pašildymas (valytas)
	Šaltas vanduo (valytas)
	Kondensatas (vanduo + priemaišos)
	Kompresorių aušinimo alyva
	Dūmai
	Tinklo vanduo
	Propilengolis
	Uždaramasis vožtuvas
	Reguliuojantis vožtuvas
	Trikampis srauto skirstymo vožtuvas
	Uždaramoji sklendė
	Atbulinis vožtuvas
	Mechinis filtras
	Apskaita
	Manometras su manometriniu kranėliu
	Termometras
	Slegio daviklis
	Temperatūros daviklis
	Lygio daviklis
	Apsauginis vožtuvas
	Automatinis vakuumo nuotraukėjas
	Automatinis nuorintuvas
	Teršės tekėjimo kryptis
	Teršės tekėjimo kryptis (savitakai)
	Drenažas
	Siurblys
	Ventiliatorius
	Kondensatorius
	Filtras (šulininis)
	Projekto riba

	Failas Priedas Nr.2	Papildoma informacija	Tema Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas	
Atsakinga žinyba KTU	Vadovas doc. E. Puida	Rengė E. Ozolas		
Savininkas		Dokumento tipas Brėžinys	Dokumento statusas Magistro baigiamasis darbas	
	MD/M - 7/9 gr. stud.	Antraštė Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, įrenginių garo ir kondensato kontūras	Laida	Data 2019-05-20
			Kalba lt	Lapas 1/1

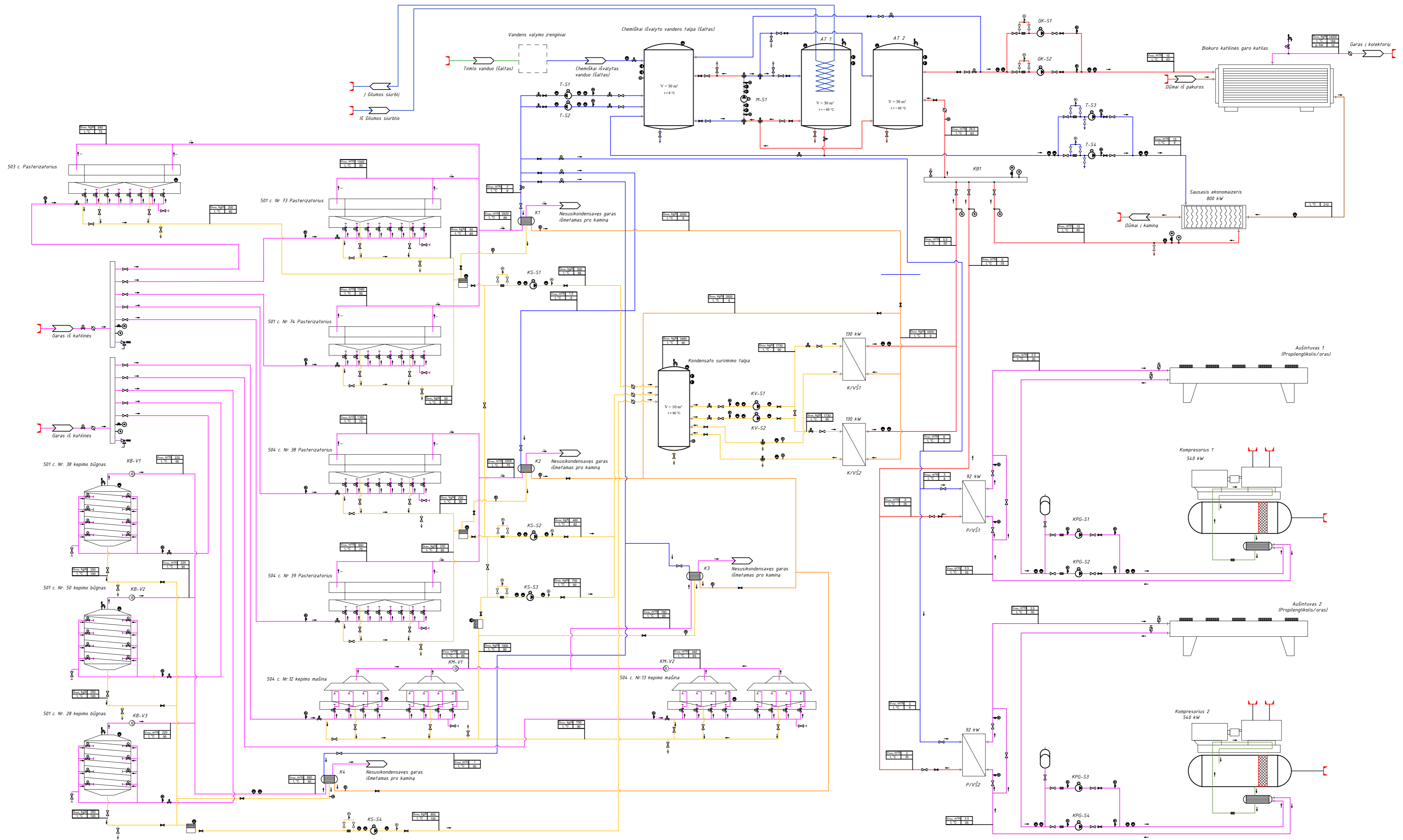


SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI	
	Garas
	Karštas vanduo, galutinis pašildymas (valytas)
	Karštas vanduo, pirminis pašildymas (valytas)
	Šaltas vanduo (valytas)
	Kondensatas (vanduo + priemaišos)
	Kompresorių aušinimo alyva
	Dūmai
	Tinklo vanduo
	Prapilengiklis
	Uždaramasis vožtuvas
	Reguliuojantis vožtuvas
	Triekis srauto skirstymo vožtuvas
	Uždaramoji sklendė
	Atbulinis vožtuvas
	Mechinis filtras
	Apskaita
	Manometras su manometriniu kranėliu
	Termometras
	Slėgio daviklis
	Temperatūros daviklis
	Lygio daviklis
	Apsauginis vožtuvas
	Automatinis vakuumo nutraukėjas
	Automatinis nuorintuvas
	Teršės tekėjimo kryptis
	Teršės tekėjimo kryptis (savitakai)
	Drenažas
	Siurblys
	Ventiliatorius
	Kondensatorius
	Filteras (dūminis)
	Projekto riba



	Failas Priedas Nr.4	Papildoma informacija	Tema Maisto pramonėje išskiriamos atliekinės šilumos panaudojimas	
	Atsakinga žinyba KTU	Vadovas doc. E. Puida	Rengė E. Ozolas	
Savininkas  MD/M - 7/9 gr. stud.	Dokumento tipas Brėžinys		Dokumento statusas Magistro baigiamasis darbas	
	Antraštė Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, įrenginių garo ir kondensato kontūras		Laida	Data 2019-05-20
			Kalba lt	Lapas 1/1

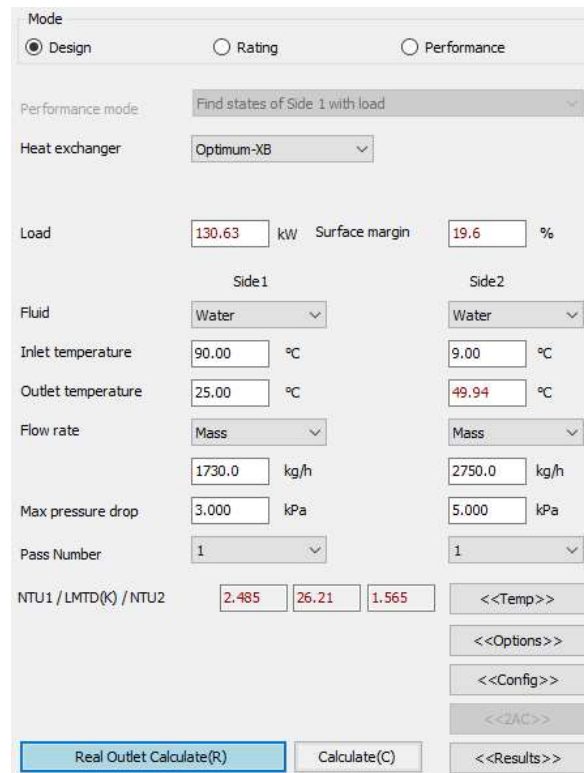




	Failas Priedas Nr.5	Papildoma informacija		Tema	
	Atsakinga žinyba KTU	Vadovas doc. E. Puida	Rengė E. Ozolas	Maisto pramonėje išskiriamas atliekinės šilumos panaudojimas	
Savininkas	Dokumento tipas Brėžinys		Dokumento statusas Magistro baigiamasis darbas		
MD/M - 7/9 gr. stud.		Antraštė Atliekinės šilumos įsisavinimo sistemos technologinė schema, bendra/išdidinta		Laida	Data
				2019-05-20	Kalba Lt
					Lapas 1/1

## Kondensatas/vanduo šilumokaicio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9)

Programoje nurodomi pradiniai duomenys ir nustatymai:



The screenshot shows the 'Design' mode of the Danfoss Hexact software. The 'Performance mode' is set to 'Find states of Side 1 with load'. The 'Heat exchanger' is 'Optimum-XB'. The 'Load' is 130.63 kW with a 'Surface margin' of 19.6%. The 'Fluid' for both sides is 'Water'. 'Side 1' has an inlet temperature of 90.00 °C and an outlet temperature of 25.00 °C, with a mass flow rate of 1730.0 kg/h and a max pressure drop of 3.000 kPa. 'Side 2' has an inlet temperature of 9.00 °C and an outlet temperature of 49.94 °C, with a mass flow rate of 2750.0 kg/h and a max pressure drop of 5.000 kPa. The 'Pass Number' is 1 for both sides. The NTU values are 2.485, 26.21, and 1.565. The interface includes buttons for 'Real Outlet Calculate(R)', 'Calculate(C)', and '<<Results>>'.

Parameter	Value	Unit
Mode	Design	
Performance mode	Find states of Side 1 with load	
Heat exchanger	Optimum-XB	
Load	130.63	kW
Surface margin	19.6	%
Fluid (Side 1)	Water	
Fluid (Side 2)	Water	
Inlet temperature (Side 1)	90.00	°C
Inlet temperature (Side 2)	9.00	°C
Outlet temperature (Side 1)	25.00	°C
Outlet temperature (Side 2)	49.94	°C
Flow rate (Side 1)	1730.0	kg/h
Flow rate (Side 2)	2750.0	kg/h
Max pressure drop (Side 1)	3.000	kPa
Max pressure drop (Side 2)	5.000	kPa
Pass Number (Side 1)	1	
Pass Number (Side 2)	1	
NTU 1 / LMTD(K) / NTU 2	2.485 / 26.21 / 1.565	

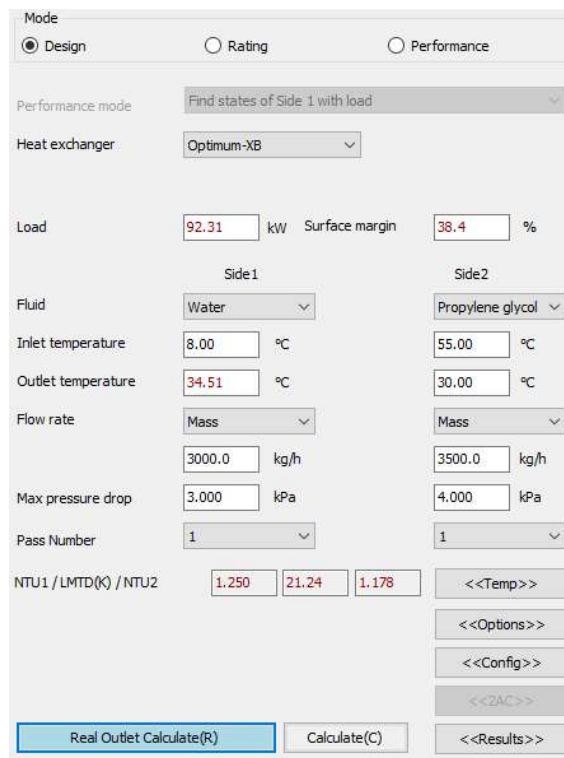


Gauti rezultatai:

Heat exchanger		XB12L-1-50 G 5/4 (25mm)	Danfoss code	004H7532	Units in
Calculated parameters	Unit	Side1		Side2	
Flow Type			Counter current		
Load	kW		130.63		
Inlet temperature	°C	90.00		9.00	
Outlet temperature (Specified)	°C	25.00		--	
Outlet temperature (Actual)	°C	--		49.94	
Mass FlowRate	kg/h	1730.0		2750.0	
Volumetric Flowrate	L/min	29.777		45.732	
Total pressure drop	kPa	1.95		4.58	
Pressure drop - In port	kPa	0.18		0.45	
Total area	m <sup>2</sup>		1.34		
Surface margin	%		19.6		
LMTD	K		26.21		
HTC(Available / Required)	W/m <sup>2</sup> -K		4436.4/3707.8		
Port velocity	m/s	0.61		0.95	
Shear stress	Pa	6.32		14.74	

## Propilenglikolis/vanduo šilumokaičio skaičiavimas naudojant Danfoss Hexact (v5.2.9)

Programoje nurodomi pradiniai duomenys ir nustatymai:



The screenshot shows the 'Design' mode of the Danfoss Hexact software. The 'Performance mode' is set to 'Find states of Side 1 with load'. The 'Heat exchanger' is 'Optimum-3B'. The 'Load' is 92.31 kW with a 'Surface margin' of 38.4%. The 'Fluid' for Side 1 is 'Water' and for Side 2 is 'Propylene glycol'. The 'Inlet temperature' for Side 1 is 8.00 °C and for Side 2 is 55.00 °C. The 'Outlet temperature' for Side 1 is 34.51 °C and for Side 2 is 30.00 °C. The 'Flow rate' is 'Mass' for both sides, with Side 1 at 3000.0 kg/h and Side 2 at 3500.0 kg/h. The 'Max pressure drop' is 3.000 kPa for Side 1 and 4.000 kPa for Side 2. The 'Pass Number' is 1 for both sides. The 'NTU1 / LMTD(K) / NTU2' values are 1.250, 21.24, and 1.178. The 'Real Outlet Calculate(R)' button is highlighted in blue.

Parameter	Side 1	Side 2
Fluid	Water	Propylene glycol
Inlet temperature (°C)	8.00	55.00
Outlet temperature (°C)	34.51	30.00
Flow rate (kg/h)	3000.0	3500.0
Max pressure drop (kPa)	3.000	4.000
Pass Number	1	1
NTU1 / LMTD(K) / NTU2	1.250	21.24 / 1.178



Gauti rezultatai:

Heat exchanger		XB12L-1-80 G 5/4 (25mm)	Danfoss code	004H7535	Units in
<b>Calculated parameters</b>	<b>Unit</b>	<b>Side1</b>			<b>Side2</b>
Flow Type			Counter current		
Load	kW		92.31		
Inlet temperature	°C	8.00			55.00
Outlet temperature (Specified)	°C	--			30.00
Outlet temperature (Actual)	°C	34.51			--
Mass FlowRate	kg/h	3000.0			3500.0
Volumetric Flowrate	L/min	49.911			57.760
Total pressure drop	kPa	2.71			3.68
Pressure drop - In port	kPa	0.53			0.69
Total area	m <sup>2</sup>		2.18		
Surface margin	%		38.4		
LMTD	K		21.24		
HTC(Available / Required)	W/m <sup>2</sup> -K		2754.0/1990.4		
Port velocity	m/s	1.04			1.19
Shear stress	Pa	7.78			10.62
<b>Properties of fluid</b>	<b>Unit</b>	<b>Side1</b>			<b>Side2</b>
Fluid		Water			Propylene glycol(40.00%)