



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

# **Centralizuotos vėsamos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija**

Baigiamojo magistro projektas

---

**Antanas Galinauskas**  
Projekto autorius

**Prof. Vytautas Dagilis**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



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

# **Centralizuotos vėsumos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija**

Baigiamasis magistro projektas  
Termoinžinerija (6211EX023)

---

**Antanas Galinauskas**  
Projekto autorius

**Prof. Vytautas Dagilis**  
Vadovas

**Doc. Algimantas Balčius**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Antanas Galinauskas

## **Centralizuotos vėsumos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Antano Galinausko, baigiamasis projektas tema „Centralizuotos vėsumos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nėra viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS

Studijų programa: 6211EX023 Termoinžinerija

## MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Studentui (-ei)

Antanui Galinauskui

*(Vardas, Pavardė)*

### 1. Baigiamojo Projekto tema –

Centralizuotos vėsumos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija

*(Lietuvių kalba)*

Feasibility Study of Generation and Supplying of District Cooling for Nemunas Island Objects

*(Anglų kalba)*

### 2. Darbo tikslas ir uždaviniai –

Atlikti Kauno miesto centralizuotos vėsumos generavimo ir tiekimo analizę Nemuno salos objektams. Išanalizuoti vėsumos generavimo įrenginių darbą. Iš analizuotų vėsumos generavimo įrenginius, pasirinkti tinkamą vėsumos generavimo įrenginį naujai centralizuoto vėsumos tiekimo sistemai. Ekonomiškai įvertinti sistemos efektyvumą.

Studentas

Antanas Galinauskas

2020-02-18

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Baigiamojo  
projekto vadovas

Vytautas Dagilis

2020-02-18

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Autorius Galinauskas, Antanas. Centralizuotos vėsamos generavimo ir tiekimo Nemuno salos objektams galimybių studija. Magistro baigiamasis projektas vadovas prof. Vytautas Dagilis; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Termoinžinerija (6211EX023).

Reikšminiai žodžiai: centralizuotas vėsamos tiekimas, šilumos siurbliai, kompresoriniai šaldymo įrenginiai, absorbciniai šaldymo įrenginiai, šaldymo mišiniai: R717, R134a, R407C, R410A, R744, centralizuotas energijos paskirstymas.

Kaunas, 2020. 62 p.

### **Santrauka**

Šiame magistro baigiamajame darbe atliekama centralizuotos vėsamos generavimo ir tiekimo analizė Kauno miesto Nemuno salos objektams. Atliekama absorbcinio šaldymo įrenginio kintančių temperatūrų įtaka įrenginio darbui, atliekama absorbcinio šaldymo įrenginio įtaka karštam centralizuotos šilumos tiekimo sistemos vandeniui. Atliekama kompresorinio šaldymo įrenginio šaldymo mišinių analizė, pasirenkamas efektyviausias darbo agentas. Energetiškai ir ekonomiškai palyginamos dvi šaldymo sistemos ir pasirenkama tinkamiausia naujai centralizuotos vėsamos tiekimo sistemai.

Author's Galinauskas, Antanas. Feasibility Study of Generation and Supplying of District Cooling for Nemunas Island Objects. Master's Final Degree Project supervisor professor, Vytautas Dagilis; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Thermal Engineering (6211EX023).

Keywords: district cooling, district heating, absorption chiller, absorption chiller working conditions, compressor chiller, compressor chiller fluid analysis, economic comparison of refrigeration system .

Kaunas, 2020. 62 page.

### **Summary**

In this Master's thesis the analysis of district cooling generation and supply for Kaunas city Nemunas island objects is performed. The influence of the values set by the absorption refrigeration unit on the operation of unit is performed, the influence of the absorption refrigeration unit on the DH hot water is performed. The analysis of the refrigeration mixtures of the compressor refrigeration unit is performed, the most effective working agent is selected. The two refrigeration systems are compared energetically and economically and the most suitable for the new DC system is selected.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Centralizuotų vėsumos generavimo ir tiekimo sistemų apžvalga .....</b>	<b>13</b>
1.1. Švedijos centralizuotos vėsumos tiekimo sistema.....	13
1.1.1. Jūros vandens oro kondicionavimo sistemos veikimo principai .....	15
1.1.2. Vėsus jūros vandens oro kondicionavimo sistemos generuojama nauda .....	17
1.2. Saulės energijos panaudojimas vėsumos energijos gamyboje .....	19
1.3. Nemuno salos vėsumos vartotojai .....	24
1.4. Lietuvos klimato sąlygų apžvalga .....	25
<b>2. Absorbicinių vėsumos generavimo įrenginių analizė .....</b>	<b>27</b>
2.1. Absorbiciniai šaldymo įrenginiai.....	28
2.1.1. Vienos pakopos absorbicinis šaldymo įrenginys.....	28
2.1.2. Absorbicinio šaldymo įrenginio galios priklausomybė nuo CŠT termofikacinio vandens temperatūros .....	32
<b>3. Kompresorinių vėsumos generavimo įrenginių analizė.....</b>	<b>40</b>
3.1.1. Kompresorinių šaldymo įrenginių veikimo principas .....	40
3.1.2. Kompresorinių šaldymo agentų parinkimas .....	41
3.2. Kompresorinio šilumos siurblio ekologinė nauda šildymo sezono metu.....	49
3.3. Centralizuoto vėsumos tiekimo tinklas .....	50
3.3.1. Centralizuoto vėsumos vamzdžio charakteristikos .....	51
3.3.2. Centralizuoto vėsumos vamzdžio paklojimo kaštai .....	52
<b>4. Ekonominis centralizuotos vėsinimo sistemos vertinimas .....</b>	<b>54</b>
4.1. Ekonominė absorbicinės šaldymo sistemos analizė .....	54
4.2. Ekonominė kompresorinės šaldymo sistemos analizė .....	57
4.3. Ekonominis šaldymo sistemų palyginimas.....	60
<b>Išvados .....</b>	<b>62</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>63</b>
<b>Informacijos šaltinių sąrašas .....</b>	<b>65</b>
<b>Priedai (pagal poreikį) .....</b>	<b>66</b>
1 priedas. Kauno miesto centralizuoto šilumos tinklo temperatūrinis grafikas.....	66
2 priedas. Absorbicinių šaldymo įrenginių generuojamos šalčio galios priklausomybė nuo tiekimo karšto vandens temperatūros pokyčiai $T_{gen,i}=75,5^{\circ}C$ ir $T_{gen,i}=95^{\circ}C$ .....	67
3 priedas. Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka neefektyviai naudojamam AŠĮ, kurio COP=0,83, atsipirkimo laikotarpiui. ....	68
4 Priedas. 4,89 MW galio kompresorinės šaldymo sistemos ekonominiai skaičiavimai.....	69

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Parabolinių ir vakuuminių saulės kolektorių parametrų palyginimas CVT sistemoje .....	22
<b>2 lentelė.</b> L50H AŠĮ įrenginio parametrai .....	33
<b>3 lentelė.</b> L50H AŠĮ charakteristikos, kai karšto vandens $T=70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .....	33
<b>4 lentelė.</b> L525H šaldymo įrenginio galios parametrai .....	34
<b>5lentelė.</b> Nemuno salos objektų vėsumos poreikis .....	38
<b>6 lentelė.</b> 2AA525 Vienos pakopos absorbcinio šaldymo įrenginio parametrai .....	39
<b>7 lentelė.</b> Kondensacijos temperatūros .....	41
<b>8lentelė.</b> Šaldymo agentų fizikinės savybės .....	42
<b>9 lentelė.</b> Šaldymo agentų parametrai, keičiantis kondensacijos temperatūrai .....	45
<b>10 lentelė.</b> Grunto koeficientai reikalingi skaičiuojant šilumos nuostolius .....	52
<b>11 lentelė.</b> CVT sistemos charakteristikos .....	52
<b>12lentelė.</b> CVT sistemos vamzdyno paklojimo kainos .....	53
<b>13 lentelė.</b> Absorbcinio šaldymo įrenginio ekonominiai rodikliai .....	54
<b>14 lentelė.</b> Kompresorinio šaldymo įrenginio ekonominiai rodikliai .....	57



## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> HDPE inkarai, skirti panardinti vamzdžiams į jūros dugną .....	14
<b>2 pav.</b> Tiesioginio veikimo JVOKS .....	15
<b>3 pav.</b> Kombinuota JVOKS .....	16
<b>4 pav.</b> Plokštelinis šilumokaitis .....	16
<b>5 pav.</b> Vėsamos sistemų eksploatacinių išlaidų palyginimas.....	17
<b>6 pav.</b> Vėsaus vandens oro kondicionavimo sistemų išdėstymas pasaulyje .....	19
<b>7 pav.</b> Saulės kolektoriai: a) plokštelinis saulės kolektorius; b) parabolinis saulės kolektorius; c) vakuuminis saulės kolektorius;.....	20
<b>8 pav.</b> Saulės moduliai .....	20
<b>9 pav.</b> Centralizuoto vėsinimo sistema .....	21
<b>10 pav.</b> Metiniai energijos kiekiai PaSK ir 2 pakopų absorbcinio vėsinimo įrenginio.....	22
<b>11 pav.</b> Metiniai energijos kiekiai VSK ir 1 pakopos absorbcinio vėsinimo įrenginio .....	23
<b>12 pav.</b> Vėsinimo sistemų palyginimas.....	23
<b>13 pav.</b> „Žalgirio arena“ .....	24
<b>14 pav.</b> Nemuno vidutinis debitas pagal mėnesius, išmatuotas Smailininkų vandens matavimo stotyje. ....	26
<b>15 pav.</b> Vienos pakopos absorbcinio šaldymo įrenginio principinė schema .....	28
<b>16 pav.</b> Varomosios energijos poveikis AŠĮ: a) fluidų temperatūros pokytis; b) fluidų masės srautų pokytis; c) AŠĮ komponentų galios pokytis; d) COP, mišinio ir tirpalo koncentracijos pokyčiai .....	31
<b>17 pav.</b> Varomosios energijos temperatūros pokyčio įtaka AŠĮ COP .....	31
<b>18 pav.</b> Aušinimo vandens temperatūros įtaka AŠĮ COP .....	32
<b>19 pav.</b> AŠĮ COP priklausomybė nuo temperatūros pokyčio .....	34
<b>20 pav.</b> Vamzdyno baigtinių elementų tinklelis.....	35
<b>21 pav.</b> Srautų įtekėjimai ir ištekėjimai .....	36
<b>22 pav.</b> Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas vamzdyne, kai $T_1=70\text{ }^\circ\text{C}$ .....	36
<b>23 pav.</b> Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas vamzdyne, kai $T_1=80\text{ }^\circ\text{C}$ .....	37
<b>24 pav.</b> Principinė kompresorinio šaldymo įrenginio schema .....	40
<b>25 pav.</b> R717 termodinaminis ciklas, kai $T_k=40\text{ }^\circ\text{C}$ .....	43
<b>26 pav.</b> R717 termodinaminiai ciklai, kai keičiasi $T_k$ .....	45
<b>27 pav.</b> Savitojo kompresoriaus suslėgimo darbo priklausomybė nuo $T_k$ .....	47
<b>28 pav.</b> Kompresoriaus galios priklausomybė nuo kondensacijos temperatūros.....	48
<b>29 pav.</b> Darbo agentų COP priklausomybė nuo kondensacijos temperatūros .....	48
<b>30 pav.</b> Šiluminė schema, dirbant šildymo sezono metu .....	49
<b>31 pav.</b> CVT sistemos vamzdyno tiesimo kelias .....	51
<b>32 pav.</b> Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka AŠĮ sistemos atsipirkimo laikotarpiui ..	56
<b>33 pav.</b> Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka AŠĮ sistemos atsipirkimo laikotarpiui ..	57
<b>34 pav.</b> Kondensacijos temperatūros įtaka kompresoriniu šaldymo įrenginiui .....	58
<b>35 pav.</b> Kondensacijos temperatūros įtaka KŠĮ sistemai, kai vėsimo kaina =60 Eur/MWh.....	59
<b>36 pav.</b> Vėsinimo sistemos atsipirkimo laikotarpio priklausomybė nuo vartotojų ir $T_k$ .....	59
<b>37 pav.</b> Vienanarės kainos didinimo galimybės, keičiant energetinius rodiklius .....	60
<b>38 pav.</b> Vėsamos savikaina įvertinus visus CVT sistemos investicinius kaštus.....	61
<b>39 pav.</b> Vėsamos sistemų atsipirkimo laikotarpis įvertinant visus CVT sistemos investicinius kaštus .....	61

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

CVT – centralizuotas vėsumos tiekimas;

CŠT – centralizuotas šilumos tiekimas;

JVOKS – jūros vandens kondicionavimo sistema;

HDPE – didelio tankio polietileno vamzdžiai;

COP – šaldymo sistemos naudingo veikimo koeficientas;

PaSK – paraboliniai saulės kolektoriai

VSK – vakuuminiai saulės kolektoriai

AŠĮ – absorbciniai šaldymo įrenginiai

KŠĮ – kompresoriniai šaldymo įrenginiai

GVP – globalinio atšilimo potencialas

ODP – ozono sluoksnio ardymo potencialas

### Terminai:

Fluidas – sistemoje tekantis skystis, kuris atlieka energijos pernešimo funkciją.

Darbo agentas – sistemos skystis, kuris keisdamas savo fizikines savybes ir fazinę būseną, atlieka šaldymo ar šildymo funkciją.

Apšvieta – šviesos srautas, kuris spinduliuojamas į 1 m<sup>2</sup> paviršiaus ploto.

Elektrinės aušyklės – elektriniai ventiliatoriai, kurie apipūsdami šaltą sistemos fluidą perduoda vėsumą į patalpas.

Šilumos vartotojai – šilumos energiją vartojantys objektai.

Vėsumos vartotojai – vėsumos energiją vartojantys objektai

Žemos temperatūros šilumos tiekimas – tai šilto vandens (35-45 °C) tiekimas šilumos vartotojams, dažniausiai naudojamas sistemose su grindiniu šildymu.

## Įvadas

Pasaulyje vis labiau keliama klimato kaitos problema ir vis daugiau žmonių pradeda suprasti, kad reikia imtis priemonių šią pasaulinei problemai spręsti. Bet pavieniui žmonės nesugebės tokios pasaulinės problemos išspręsti vien tik atsisakydami aplinką teršiančių transporto priemonių ar naudodami atsinaujinančius energijos šaltinius savo energetiniams poreikiams tenkinti. Jei vienas žmogus nenaudos taršaus automobilio, o jo kaimynai, pažįstami, draugai numos į viską ranka, mes nieko nepasieksime. Todėl reikia, kad tokias problemas žmonija spręstų pasaulio mastu ir nedarytų jokių išimčių. Tinkamas pavyzdys yra veiksmai, kurių ėmėsi Europos Sąjunga, užsibrėžusi tikslą mažinti iškastinio kuro naudojimą energijai gaminti, iki 2050 metų visai jo atsisakyti. Kai kuriose Europos Sąjungos šalyse taršioms transporto priemonėms yra uždrausta įvažiuoti į miesto centrus, o gyventojų energijos poreikius tenkina tik centralizuoti energijos tiekimo tinklai. Naujai pastatyti objektai yra įpareigoti įstatymo tvarka prisijungti prie centralizuotos energijos tiekimo sistemos, nes privačių šilumą ar vėsumą generuojamų įrenginių diegimas miestuose yra draudžiamas.

Kai besiplečiančių miestų naujai pastatytų namų energijos vartotojai yra priversti prisijungti prie miesto centralizuotos energijos tiekimo tinklo, tuomet ši sistema žymiai greičiau plėtojasi, atrandama visuotinė nauda: sumažėja aplinkos užterštumas, nes naudojamos tik energetiškai efektyvios energijos gamybos priemonės. Tačiau ne visos šalys yra pasiryžusios priversti naujus miesto objektus prisijungti prie centralizuotų energijos sistemų ir palieka laisvę pastatų savininkams rinktis ar jungtis prie bendros miesto sistemos ar ne. Tačiau yra ir tokių objektų, kurie norėtų prisijungti prie centralizuotos energijos sistemos, bet neturi galimybės arba yra per toli, o naujų tinklų tiesimas yra labai brangus, arba nėra tokio tipo centralizuotos energijos tiekimo sistemos, kurios reikia vartotojui. Kauno mieste statant naujus verslo, kultūros, sporto centrus, laisvalaikio kompleksus nėra galimybės patenkinti visų vartotojų energijos poreikių centralizuota energijos paskirstymo sistema. Miestas turi gerai išplėtotą centralizuotą šilumos tiekimo sistemą. Tačiau keliant naujų pastatų energetinių klasių reikalavimus, reikia ne tik šilumos energijos, bet ir vėsumos energijos, kurią būtų galima nukreipti pastatų vėsumos poreikiams tenkinti.

Darbe bus nagrinėjama vėsumos generavimo ir centralizuoto tiekimo galimybė Nemuno salos objektams. Šiuo metu Nemuno saloje yra 1 objektas - tai „Žalgirio“ sporto ir pramogų arena. Be to, numatyti du projektai: sporto ir pramogų arenos rekonstrukcija, įrengiant naują baseinų kompleksą, bei mokslo ir inovacijų centro statyba. Visi šie objektai yra pačiame Kauno miesto centre ir naudoja centralizuotos šilumos energiją. Jų vėsumos poreikiai vasaros ir renginių metu yra dideli, kiekvienas objekto savininkas yra priverstas rūpintis vėsumos energija individualiai. Siekiant plėtoti centralizuotos šilumos tinklus, šilumos tiekėjas privalo pasirūpinti ir centralizuotu vėsumos poreikių tenkinimu.

Tinkamiausia vieta pradėti centralizuoto vėsumos tiekimo sistemos diegimą ir plėtrą yra Kauno miesto centras, nes čia yra ne tik Nemuno salos objektai, bet ir prekybos ir pramogų centras „Akropolis“, statomi nauji verslo centrai. Visiems šiems objektams yra reikalinga vėsumos energija. Todėl kaip bandomasis projektas, ar Kauno mieste yra galimybė įrengti centralizuotą vėsumos tiekimo tinklą, buvo pasirinkti būtent Nemuno salos objektai. Vėsumos generavimo sistema būtų diegiama „Pergalės“ katilinėje, iš kurios būtų klojami vamzdynai, kuriais tekės atvėsintas vanduo iki salos objektų. Šaldymo sistemos gali būti dviejų tipų:

1. absorbcinė vėsumos generavimo sistema;
2. kompresorinė vėsumos generavimo sistema.

Baigiamojo darbo tikslas – išnagrinėti galimybę generuoti vėsumos energiją ir ją centralizuotai tiekti Nemuno salos objektams.

Darbo užduotis:

- įvertinti absorbcinių įrenginių darbą kartu su centralizuota šilumos tiekimo sistema;
- įvertinti absorbcinių vėsinimo įrenginių įtaką naudojant karšto termofikacinio vandens energiją, kaip įrenginių varomąją energiją;
- įvertinti ekonominę absorbcinių vėsinimo įrenginių naudą;
- įvertinti kompresorinių šilumos siurblių darbą naudojant grįžtamojo termofikacinio vandens temperatūrą arba Nemuno upės vandens temperatūrą;
- įvertinti kompresorinių šilumos siurblių darbą šildymo sezono metu gaminant šilumos energiją ir mažinant išmetamųjų dalelių kiekį į aplinką;
- įvertinti ekonominį kompresorinių šilumos siurblių efektyvumą;
- palyginti ekonominį kompresorinių šilumos siurblių ir absorbcinių vėsinimo įrenginių efektyvumą;
- įvertinti naujos centralizuoto vėsumos tiekimo sistemos įrengimą Kauno mieste.

## 1. Centralizuotų vėsumos generavimo ir tiekimo sistemų apžvalga

Centralizuoto vėsumos tiekimo (CVT) sistema yra miestų infrastruktūros dalis, kurioje vėsima, šalto vandens pavidalu, paskirstoma mieste nutiestu vamzdynu. Vartotojams suteikiama galimybė sutaupyti atsisakius investicinių ir pastoviųjų kaštų diegiant šaldymo įrenginius. Šios sistemos diegimas buvo paskatintas labai plačiai ir efektyviai taikomo centralizuoto šilumos tiekimo sistemų, kai vartotojai su šilumos tiekėjais yra sujungti vamzdynais, išraizgytais visame mieste. Centralizuotos energijos tiekėjams yra daugiau galimybių taikyti naujas technologijas, kurios leidžia mažinti gamybos sąnaudas, taip mažesnė energijos kWh kaina sumažina šilumos vartotojų sąskaitas. Taip būtų ir su CVT sistemomis daugėjant energijos vartotojų, tinklas tenkintų didesnę vėsumos poreikį, todėl - vėsumos kWh kaina sumažėtų. Taip pat sumažėtų miesto elektros poreikis, tai lemtų elektros tinklų apkrovos sumažėjimą, elektrinių, gaminančių elektros energiją deginant kietąjį, skystąjį, iškastinį, atsinaujinantį kurą, išmetamųjų dalelių sumažėjimą, bei mūsų planetos užterštumo mažinimą. Sparčiau besivystančiose šalyse CVT sistemos jau yra įdiegtos ir sėkmingai naudojamos išgauti vėsumos energiją iš aplinkos ar pasigaminti ją pritaikius šaldymo įrenginių technologiją. Šaldymo įrenginių tipai yra du – kompresoriniai ir absorbciniai, jų veikimo principai bus apžvelgti darbo eigoje. Renkantis tarp šių dviejų šaldymo įrenginių tipų visada yra įvertinami varomosios energijos šaltiniai, kuriuos bus galima naudoti generuojant vėsumos energiją. Tokie varomosios energijos šaltiniai gali būti: geoterminė energija, saulės energija, šaltas ežerų, upių, jūros vanduo. Nuo šios varomosios energijos šaltinio priklauso, kokio tipo šaldymo įrenginys ir bus pasirenkamas - kompresorinis ar absorbcinis.

### 1.1. Švedijos centralizuotos vėsumos tiekimo sistema

Viena iš pirmaujančių centralizuotos vėsumos tiekimo sistemos diegimo ir eksploatavimo šalių yra Švedija. Ši sparčiai išsivysčiusi šalis jau 1980 m. [1] įrengė ir paleido pirmąjį kompresorinį šilumos siurblių centralizuoto šildymo sistemoje. Žemo potencialo šiluma buvo transformuojama ir pritaikoma centralizuotos šilumos tiekimo sistemos parametrams, kai tiekiamo į pastatą karšto vandens temperatūra buvo 70 °C. Įvertinus kompresorinių šilumos siurblių efektyvumą ir gana paprastą veikimo principą ši sistema 1992 m. buvo perdaryta į šaldymo įrenginį ir pritaikyta centralizuotos vėsumos gamybai ir energijos paskirstymui Vesteroso mieste [2]. Vėliau atsirado didesnės CVT sistemos Stokholme, Geteborge, Linčiopinge, Sundbyberge, Linde, Upsaloje. 2014 m. buvo pateikta nacionalinė Švedijos centralizuoto vėsinimo tinklo statistika, kurioje parodoma 40 vėsinimo sistemų įdiegtų šalyje. Kasmetinis sistemos augimas nuo 2000 m. buvo apie 8 %, 2013 m. buvo fiksuotas 506 km CVT sistemos ilgis [2].

Švedija turi įdiegusi labai daug CVT sistemų, tad visas įmanomas CVT sistemos variantus galima rasti šioje šalyje. Pagrindinis privalumas generuojant vėsumą, yra natūralus šaltas vanduo, nes jo ataušinimui reikia mažiausiai papildomos energijos. Todėl naudojant natūralų šaltą vandenį, per šilumokaičius galima atvėsinti CVT sistemos darbo agentą ir jį jau vėsų tiekti vartotojams. Švedija yra labai geroje geografinėje padėtyje, vietovė labai ežeringa, šalis ribojasi su Baltijos jūra, todėl vėsus vandens išteklių yra neriboti. Toks vėsus jūros vandens panaudojimas taikomas Stokholme – šaltas darbo agentas tiekiamas pastatų oro kondicionavimo sistemoms, kad atvėsintas oras, cirkuliuojantis pastate, vasaros metu palaikytų komfortišką patalpų temperatūrą.

Jūros vandens oro kondicionavimo sistemos (JVOKS) procesas visiškai panaikina sistemos cheminės medžiagos darbo agento poreikį, nes jūros vanduo ir yra pirminis aušinimo fluidas (vėsinimo sistemos

darbo agentas). Pirminis šios sistemos pranašumas yra 75-80 % sumažintas elektros poreikis, palyginti su kitomis oro kondicionavimo sistemomis [3].

JVOKS yra laikomos vienomis iš ekonomiškiausių ir ekologiškiausių šaldymo sistemų. Jas gana paprasta pritaikyti prie esamų oro kondicionavimo sistemų, kuriose šaldymo darbo agentas yra vanduo. Be to pastatų oro kondicionavimo sistemas perdaryti taip, kad būtų naudojamas šaltas vanduo, nėra sudėtinga. Tačiau, norint patenkinti pastatų vėsumos poreikius tik šaltu vandeniu iš vandens telkinių, reikia didelio tankio polietileno (HDPE) vamzdžių, kurių diametras būna nuo 1,6 iki 2 m. pagrindinė tokių HDPE vamzdžių naudojimo priežastis yra jų diametrų įvairovė, jie lengvai lituojami vienas su kitu ir lankstūs, palyginus su plieniniais vamzdžiais, kaina yra žymiai mažesnė, jų neveikia korozija, be to jie gali plūduriuoti vandenyje. Būtent šių vamzdžių plūdumo savybė leidžia projektuojant šias magistralės lengviau išvengti kliūčių ar jūros dugno reljefo pasikeitimo. Norint panardinti šiuos vamzdžius po vandeniu, yra naudojami betoniniai inkarai (1 pav.), kurie sutvirtinami cinkuotomis jungtimis. Inkarai išdėstomi atitinkamais atstumais, kad kuo tolygiau būtų ištiestas HDPE vamzdynas jūros dugne. Šie vamzdynai yra sujungiami atkarpomis ir gabenami laivais vilkikais į reikiamą vietą, kur bus prijungiami prie magistralės. Magistralės panardinimo procesas reikalauja sklandaus ir tolygaus komandinio darbo, kad būtų išlaikyti vienodi vamzdyno įtempimai ir būtų išvengta per staigaus panardinimo ar kurio nors galo užlaužimo (dėl kurio galėtų magistralė trūkti). Norint, kad vamzdynas būtų tolygiai panardintas po vandeniu, jis yra užpildomas suspaustu oru, tuomet magistralė plūduriuoja ant vandens paviršiaus net su uždėtais betoniniais inkarais. Kai vamzdis yra tinkamai išlyginamas ir tolygiai įtemptas, jis pildomas vandeniu ir nardinamas pradėdant nuo kranto pusės - taip iki pat atviro galo.

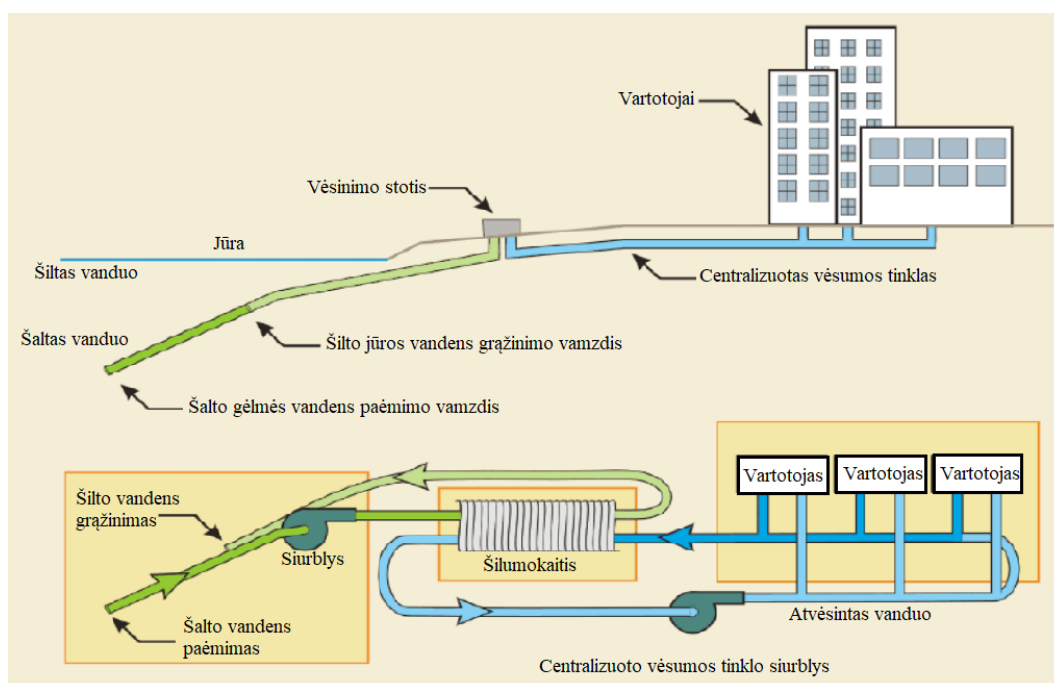


**1 pav.** HDPE inkarai, skirti panardinti vamzdžiams į jūros dugną

### 1.1.1. Jūros vandens oro kondicionavimo sistemos veikimo principai

JVOKS veikimo principas yra gana paprastas ir lengvai pritaikomas daugeliui jau funkcionuojančių šalto vandens oro kondicionavimo sistemų. Pagrindiniai JVOKS sistemos komponentai,

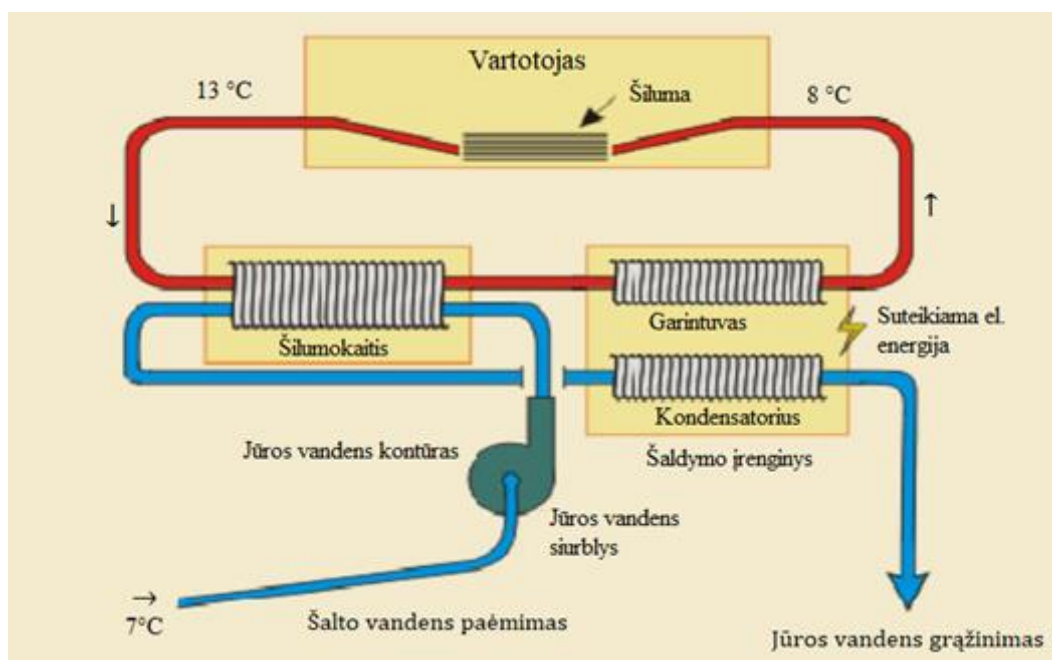
1. šalto jūros gelmių vandens tiekimo sistema, susidedanti iš:
  - a. šalto gelmės vandens paėmimo vamzdžio;
  - b. pašildyto jūros gelmės vandens išmetimo vamzdžio;
  - c. vandens siurblių.
2. šilumokaičio, kuriame vyksta šilumos mainai tarp vėsinimo sistemos vandens ir jūros gelmės vandens;
3. uždaro aušinimo sistemos, kuri susideda iš:
  - a. uždaro, chemiškai paruošto vandens, cirkuliacijos rato;
  - b. vandens siurblių, kurie palaiko atvėsinto vandens cirkuliaciją vėsinimo sistemoje;
  - c. centralizuoto vėsumos tiekimo vamzdžio, kuriuo yra paskirstoma vėsuma vartotojams.



2 pav. Tiesioginio veikimo JVOKS

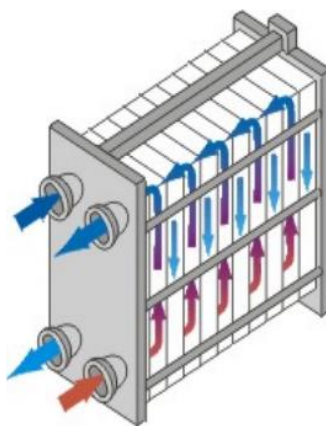
JVOKS tiesioginio veikimo vėsinimo sistema yra parodyta 2 pav. Tačiau ne visada žemos gelmių vandens temperatūros užtenka, kad būtų patenkinti vartotojų vėsumos poreikiai. Tuomet yra pasitelkiami papildomi šaldymo įrenginiai, kurie dirba nuosekliai su įprastine JVOKS. Tai yra įprastiniai kompresoriniai šaldymo įrenginiai, užtikrinantys, kad tiekiamos vėsumos parametrai vartotojui būtų stabilūs 3 pav. Kompresorinis šaldymo įrenginys matuoja vandens temperatūrą iš šilumokaičio, jei temperatūra būna per aukšta nustatytajai, tuomet jis pradeda veikti ir atvėsina vėsinimo sistemos darbo agento temperatūrą iki reikiamos. 3 pav. parodyta, kaip kompresorinis šaldymo įrenginys vėsina šaldymo sistemos darbo agentą garintuve, surinktą šilumą atiduoda per kondensatorių grąžinamam jūros vandeniui. Tokio šaldymo įrenginio eksploataciniai kaštai nėra dideli, nes atvėsinto vandens temperatūrą reikia pažeminti vos keliais laipsniais. Pašilęs šaldymo mišinys, cirkuliuojantis kompresoriniame šaldymo agregate, suslegiamas vos keliais laipsniais, nes grįžtama jūros vandens temperatūra nėra aukšta, todėl kompresoriui nereikia daug dirbti, kad suslėgtų

šaldymo mišinį iki reikiamos kondensacijai temperatūros, o tai ir sumažina papildomas elektros energijos sąnaudas naudojantis kombinuota jūros vandens oro kondicionavimo sistema.



**3 pav.** Kombinuota JVOKS

Pagrindinis vėsinimo sistemos elementas, kad vyktų šilumos mainai tarp vėsinimo sistemos darbo agento ir šalto jūros vandens, yra šilumokaitis. Dažniausiai yra naudojami plokšteliniai šilumokaičiai 4 pav., kurių šilumos atidavimo koeficientas yra didesnis, palyginti su vamzdeliniais šilumokaičiais.



**4 pav.** Plokštelinis šilumokaitis

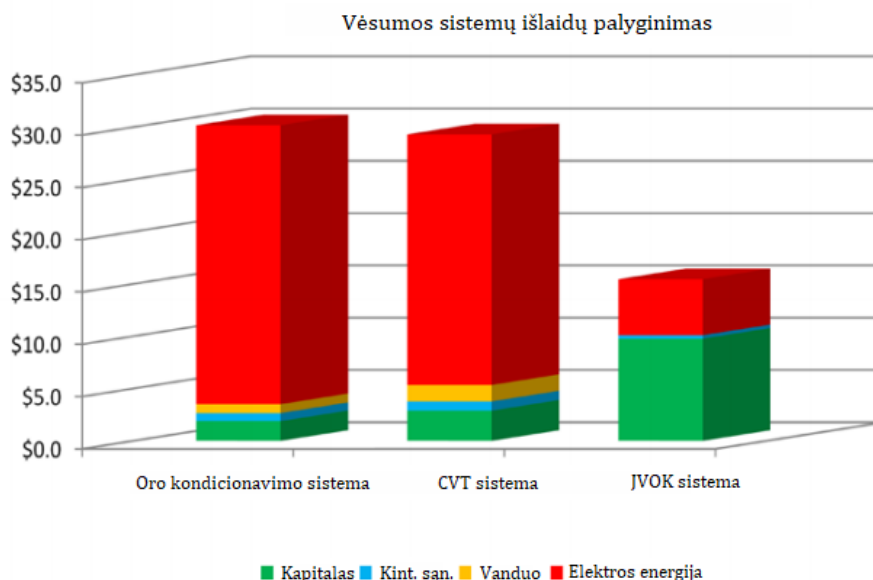
Tokie plokšteliniai šilumokaičiai yra gaminami iš 316 markės nerūdijančio plieno [3] (dar kitaip vadinamo „jūrinio nerūdijančiojo plieno“), taip pat iš aliuminio. Dažnai mažesnėse vėsinimo sistemose šaltas telkinio vanduo yra tiesiogiai tiekiamas į oro kondicionavimo sistemą. Kai vėsamos vartotojo poreikiai yra dideli, tuomet naudojami atskiri vandens cirkuliacijos kontūrai, kad vartotojų vėsinimo sistemos būtų maksimaliai apsaugotos nuo užteršimo ar kitų eksploatacinių defektų. Norint apsaugoti natūralaus šalto vandens kontūrą nuo nepageidaujamų pašalinių elementų (smulkių šiukšlių, vandens augmenijos, gyvūnijos), statomi mechaniniai filtrai, jie vandens saugo siurblio darbo ratą nuo pažeidimų ir šilumokaičių užteršimo. Taip pat prevenciškai montuojami slėgio



davikliai, fiksuojantys slėgio perkryčius prieš mechaninius filtrus ir už jų. Slėgio perkryčiui viršijus leidžiamą ribą, reikia stabdyti sistemą ir valyti mechaninius filtrus, kad būtų užtikrintas stabilus vėsus vandens srautas į šilumokaitį bei maksimalūs šilumos mainams tarp jūros šalto vandens ir centralizuotoje vėsinimo sistemoje cirkuliuojančio darbo agento.

### 1.1.2. Vėsus jūros vandens oro kondicionavimo sistemos generuojama nauda

JVOKS gali sumažinti elektros energijos sąnaudas iki 75–85 %, lyginant su įprastinėmis oro kondicionavimo sistemomis, kurios naudoja elektros energiją vėsūmai gaminti. Įprastiniai administracinio tipo pastatai, viešbučių apartamentai reikalauja gana didelių vėsūmos poreikių, kuriuos tenkinant būna sunaudojama labai daug elektros energijos. Sąskaitos už pirminę energiją nemažėja, net yra tendencija, kad kiekvienais metais kaina kyla 5 %. Dažniausiai naudojamo atvėsinto vandens temperatūra centralizuotoje vėsinimo sistemoje svyruoja nuo 7 °C iki 14 °C ( $\Delta T \sim 7$  °C). Elektros poreikis, vandens temperatūrai iki 7°C atvėsinti priklauso nuo aušintuvo naudingo veiksmo koeficiento (COP) ir darbo sąlygų. Skaičiuojama, kad tokiai temperatūrai pasiekti reikia 0,8-0,9 kWh elektros energijos atvėsinti 1 m<sup>3</sup> oro kondicionavimo sistemoje, o kai viešbutyje yra virš 1000 kambarių, galima tikėtis, kad elektros sąnaudos išaugs iki 1 MW ir daugiau. Jūros vandens gelmės vėsūmos panaudojimas kondicionavimo sistemoje dažniausiai reikalauja mažiau elektros sąnaudų, bet šios sistemos kapitalinė investicija būna 20–25 % didesnė nei įprastinių sistemų. Tai priklauso nuo magistralinio vamzdyno, nutiesto į šalto vandens šaltinį, ilgio, - kuo toliau nuo kranto yra imamas šaltas vanduo, tuo daugiau pradinių investicijų reikia šiai sistemai įrengti. Nepaisant šios sistemos didelių pradinių investicijų, ji pakankamai greitai atsiperka – per maždaug 5–8 metus, tai priklauso nuo to, kiek vartotojų naudojasi CVT sistema ir koks yra jų pastovus vėsūmos poreikis. Kuo didesnis ir stabilesnis vėsūmos poreikis bus, tuo greičiau atsiperks JVOKS. 5 pav. pavaizduotos suvienodintos metinės individualios oro kondicionavimo sistemos, centralizuotos vėsinimo sistemos ir jūros vandens oro kondicionavimo sistemos eksploatacinės išlaidos.



5 pav. Vėsūmos sistemų eksploatacinių išlaidų palyginimas

5 pav. pateikti duomenys rodo, kad investiciniai individualių oro kondicionavimo sistemų kaštai yra mažiausi, o JVOKS investiciniai kaštai yra patys didžiausi. Tačiau palyginus suvartojamos elektros energijos kiekius gaminant vėsūmą šių sistemų lyderė yra JVOKS, be to šios sistemos kintamosios,

eksploatacinės sąnaudos yra mažos. Kai naudojama tiesioginė vėsinimo sistema, nereikalingas papildomas vandens kiekis vėsinimo sistemai pildyti. Todėl nelieka vandens paruošimo, chemikalų, vandens minkštinimo, deaeracijos išlaidų. Tad jei yra galimybė įrengti vėsaus vandens kondicionavimo sistemą, reikia šią galimybę išnaudoti maksimaliai.

Be elektros energijos sąnaudų sumažinimo naudojant JVOK sistemas, yra dar keletas privalumų, kuriuos būtina paminėti. Šios sistemos yra labiau draugiškos aplinkai, palyginti su kitomis oro kondicionavimo sistemomis, naudojančiomis šaldymo mišinius šalčiui gaminti, jos gali būti priskiriamos prie atsinaujinančių energijos šaltinių. Pateikti duomenys [4] šaltinyje, rodo pritaikytos JVOKS turėjo įtakos Honolulu energijos sąnaudoms:

- sumažino Havajų naftos poreikį ir sutaupė 178 000 barelių naftos per metus;
- sutaupė 77 GWh elektros energijos per metus;
- sumažino CO<sub>2</sub> išmetimą 84 000 t/m., tai galima prilyginti 15 000 automobilių pašalinimui iš gatvių;
- sutaupė 984 000 m<sup>3</sup> geriamojo vandens;
- sumažino nuotekų išleidimą beveik 318 000 m<sup>3</sup> per metus;
- stabilizavo elektros tinklą apkrovą;
- padarė ekonominę naudą Havajų valstijai.

Svarbu ne tik teoriniai skaičiavimai, bet ir tai, kad šios naudos yra realios. Todėl JVOKS diegimas pasaulio vietovėse yra pagrįstas ir siektinas pereinant prie „žaliosios energetikos“.

Šiuo metu sėkmingai veikiančios JVOKS sistemos yra išsidėsčiusios vos keliose pasaulio vietose (6 pav). Raudonai yra pažymėtos veikiančios vėsinimo sistemos, baltai – vietovės, kuriose yra atliekamos studijos dėl šalto vandens oro kondicionavimo sistemų įrengimo, geltonai pažymėtos vietovės parodo, kur yra įrenginėjamos JVOKS.

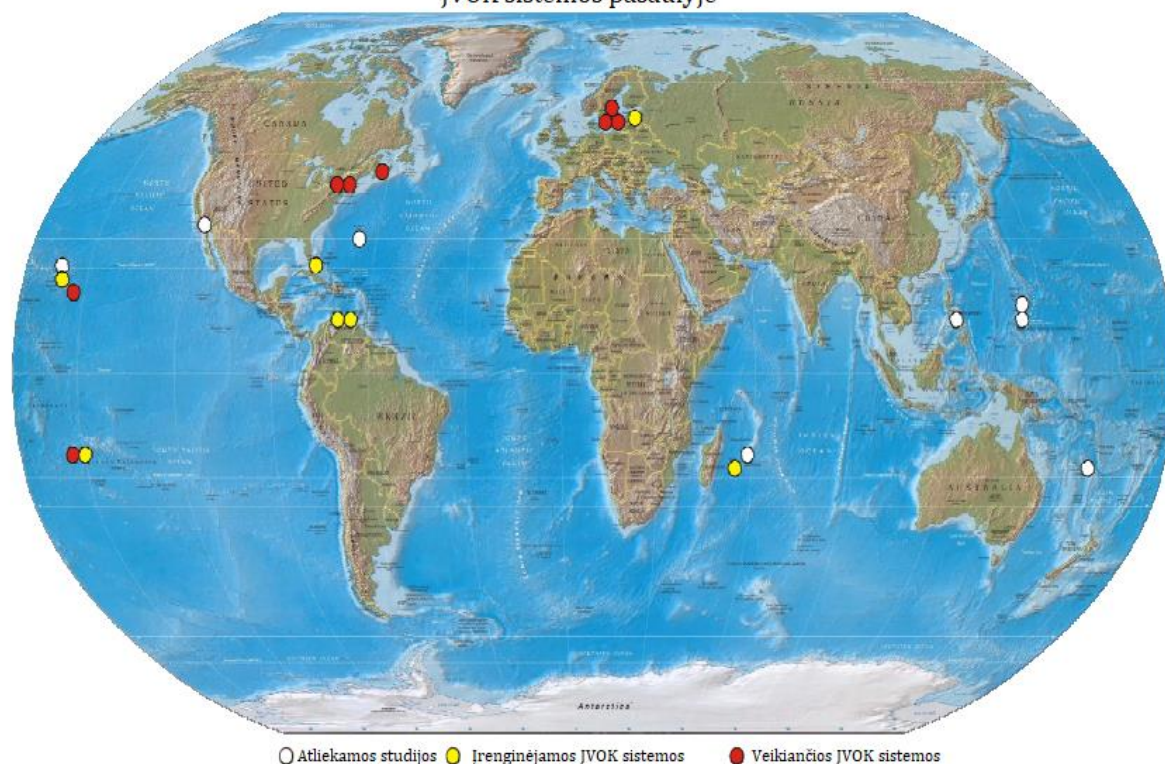
Veikiančios vėsinimo sistemos:

- Stokholme (>100 000 t);
- Toronte (75 000 t);
- Kornelio universitete (20 000 t);
- Pudrys prieplauka, Naujoje Škotijoje, Kanadoje (1000 t);
- tarptautiniame Bora Bora viešbutyje (450 t);
- Havajų vandenyno mokslo ir technologijos parke (50 t);

Planuojamos įrengti vėsinimo sistemos:

- Havajuose, Honolulu mieste (25 000 t);
- Reunjono saloje (20 000 t);
- Guamoje, Tumon pakrantėje (11 000-16 000 t);
- Kiurasao saloje (2 400 t);
- Maldyvų salose ir Mauricijaus Respublikoje.

## JVOK sistemos pasaulyje



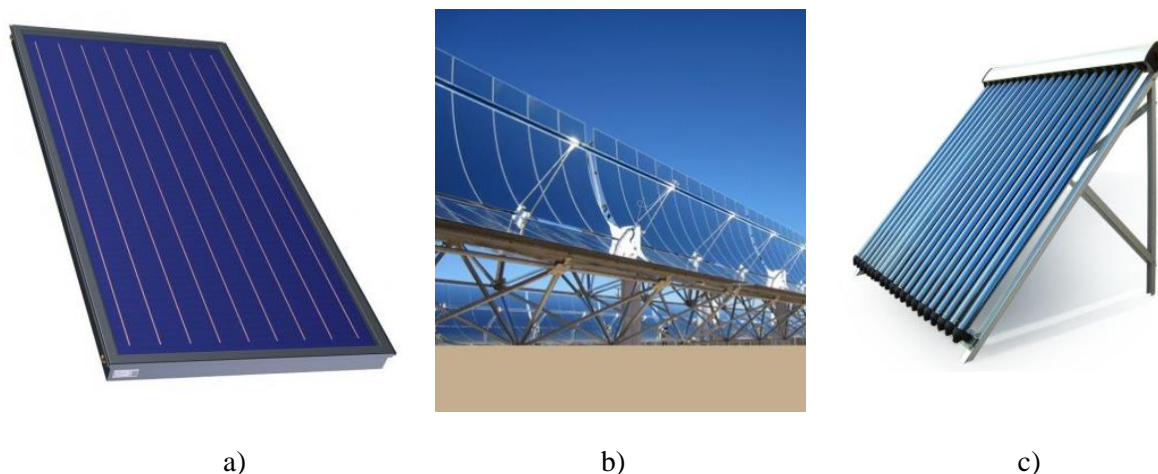
**6 pav.** Vėsus vandens oro kondicionavimo sistemų išdėstymas pasaulyje

Taigi matome, kad vėsus gelmių vandens oro kondicionavimas pasaulyje nėra plačiai naudojamas, jis nėra populiarus tarp valstybių, turinčių galimybę pasiekti natūralią vėsumos energiją. Tik keletas valstybių yra išbandžiusios ir pritaikiusios šią vėsumos energijos generavimo technologiją. Ši technologija yra draugiška aplinkai, ekonomiškai efektyvi ir priskiriama prie atsinaujinančių energijos šaltinių, kuriuos taip sparčiai diegia visas pasaulis, kad sumažintų šiltnamio efektą ir sustabdytų aplinkos taršą.

### 1.2. Saulės energijos panaudojimas vėsumos energijos gamyboje

Šaltį galima gaminti naudojant šilumos energiją, tik tuomet reikia naudoti tinkamą vėsumos generavimo įrangą – absorbcinius šaldymo įrenginius. Kai saulės apšvieta vidurio rytų klimato yra didžiausia, galima derinti dvi technologijas į vieną sistemą ir gauti norimą rezultatą. Taip buvo padaryta Saudo Arabijoje, Rijade. Buvo pasitelkti saulės kolektoriai karštą vandenį gaminti ir jam tiekti į absorbcinius šaldymo įrenginius, kuriuose naudojamas karštas vanduo kaip varomoji energija šalčiui gaminti ir centralizuotai vartotojams tiekti. Pasaulyje saulės energija jau yra naudojama, bet kol žmonija sugebės visiškai panaudoti visą šios energijos potencialą, praeis dar ne vienas dešimtmetis. Bet šia linkme iš lėto judama, šalyse, kur saulės spinduliuotė yra labai aktyvi, šią energiją galima maksimaliai pritaikyti šilumai, elektros energijai, vėsumai gaminti. Saulės energiją galima naudoti karštam vandeniui gaminti diegiant saulės kolektorių technologiją. Saulės kolektorių būna kelių tipų: 7 pav. a) plokšteliniai saulės kolektoriai, juose išvedžioti vandens kanalai, kuriuose tekėdamas vanduo pašyla, b) paraboliniai saulės kolektoriai (PaSK) – tai tokie kolektoriai, kurie saulės spindulius atspindi reikiamu kampu į vamzdį, kuriuo teka vanduo, taip atiduodama šilumos energija vandeniui, c) vakuuminiai saulės kolektoriai (VSK) – šių kolektorių vakuuminiai vamzdeliai yra užpildyti ne nuodingu darbo agentu, kuris surenka šilumą iš stiklo kolbų ir perduoda ją per šilumokaitį vandeniui, cirkuliuojančiam pastato šildymo sistemoje. Kita tiesioginė saulės energijos

panaudojimo galimybė yra saulės modulių diegimas (8 pav). Saulės moduliai konvertuoja saulės spindulius į elektros energiją, tuomet pagaminta energija perduodama į tinklą.



7 pav. Saulės kolektoriai: a) plokštelinis saulės kolektorius; b) parabolinis saulės kolektorius; c) vakuuminis saulės kolektorius;



8 pav. Saulės moduliai

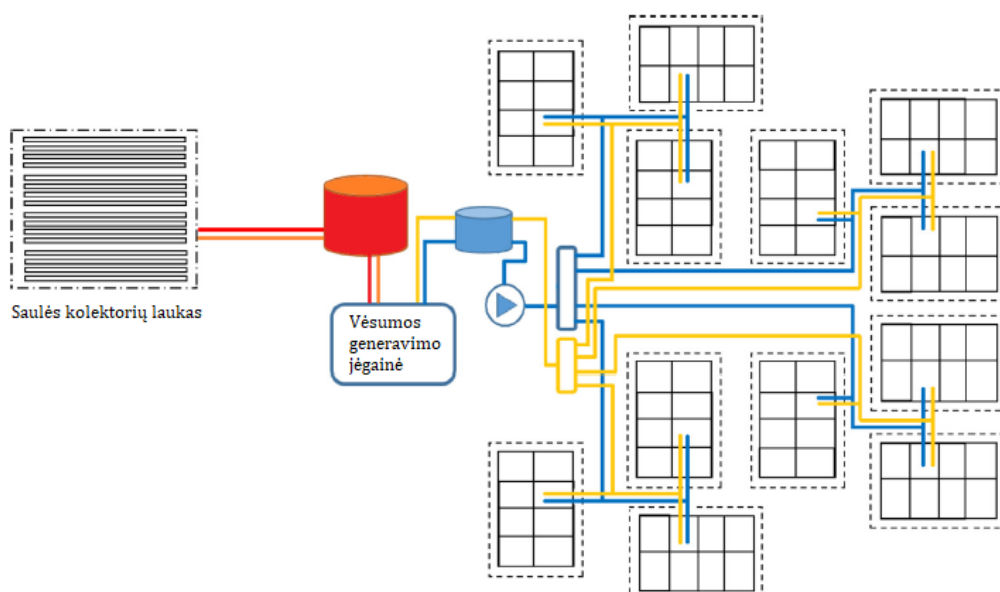
Abi šios saulės technologijos yra tinkamos vėsumos energijai gaminti, bet jos negali saulės spindulių tiesiogiai konvertuoti į šaltį. Todėl reikalingi papildomi vėsumos generavimo įrenginiai, pvz., tradiciniai oro kondicionieriai, naudojantys elektros energiją šilumai gaminti, arba absorbciniai šaldymo įrenginiai, naudojantys karštą vandenį vėsumos energijai gaminti. Naudojant absorbcinius šaldymo įrenginius, dažniausiai pasitelkiami vakuuminiai ir paraboliniai saulės kolektoriai, kurie šildo vandenį. Tačiau norint gaminti pakankamą karšto vandens kiekį, reikalingą absorbciniams šaldymo įrenginiams, reikalingi dideli žemės plotai juos įrengti. Todėl atskiriems vartotojams neapsimoka diegti tokios kombinuotos sistemos. Tačiau šį dviejų technologijų junginį galima pritaikyti CVT sistemoje, kuomet saulės kolektoriai yra integruojami į CVT sistemą. Panaudojus saulės kolektorius šilumos gamybai, kaip teigia [5] šaltinio autoriai, galima labai efektyviai sumažinti į aplinką išmetamų kenksmingų dalelių kiekį ir pagerinti kogeneracinės jėgainės, tiekiančios šilumą į absorbcinius vėsinimo įrenginius, efektyvumą.

Dažniausiai yra naudojami vakuuminiai saulės kolektoriai, sujungti su vienos pakopos absorbciniais LiBr šaldymo įrenginiais [6,7]. Selektvinio paviršiaus vakuuminių vamzdelių saulės kolektorių



naudingumas viršija 65 %, kai palaikoma fluideo temperatūra 85–100 °C, kuri yra įprasta vienos pakopos absorbcinio šaldymo įrenginio generatoriui. Didesnio kombinuotos sistemos efektyvumo yra tikimasi iš saulės vėsinimo sistemos, kuri naudoja dviejų pakopų absorbcinius šaldymo įrenginius, kurių COP įprastai yra apie 1,3–1,4, tačiau tokiam šaldymo agregatui yra reikalinga aukštesnė varomosios energijos temperatūra (apie 150 °C). Norint pasiekti tokią aukštą temperatūrą, yra naudojami paraboliniai saulės kolektoriai, jie saulės spindulius koncentruotai nukreipia į vamzdį, kuriame teka fluidas, jo temperatūra pakyla iki 200 °C. Nors [8] literatūros šaltinyje buvo analizuojamas parabolinių saulės kolektorių sistemos naudingumas, mažos galios CVT sistemoje, kurioje šie kolektoriai grupuojami su 2-jų pakopų absorbciniu šilumos siurbliu, gali pasiekti daugiau nei 68 % naudingumą, tačiau yra mažai saulės vėsumos sistemų, kurios naudotų 2-jų pakopų absorbcinį vėsinimo įrenginį. Dažniausiai naudojamas 1-os pakopos absorbcinis įrenginys, nes norint pakelti vandens temperatūrą iki 150°C, reikia labai daug saulės kolektorių bei, didelio žemės ploto jiems įrengti. Žemės plotas turi būti gerai apšviestas ir nebūti labai nutolęs nuo pačios jėgainės, nes dėl tolimų atstumų atsirastų šilumos nuostoliai, o tai neleistų palaikyti reikiamos temperatūros, reikalingos absorbciniam aušintuvo generatoriui. Tai lemtų visos projektuojamos saulės vėsinimo sistemos galios nuosmukį.

Saudo Arabijoje projektuojant naujų gyvenamųjų namų kvartalų statybą jau iš anksto yra numatomas centralizuotas energijos paskirstymas vartotojams [8], tai – CŠT, CVT sistemos, dujotiekio, elektros tinklų pajungimas. Tokie gyvenamieji kvartalai, kurie bus prijungti prie centralizuotų energijos paskirstymo tinklų, bus energetiškai efektyvūs ir draugiškesni aplinkai. Vieną iš tokių gyvenamųjų kvartalų sudarys 96 nuosavi namai, prijungti prie centralizuotos vėsumos tiekimo sistemos. Toks kvartalas CVT sistemos atžvilgiu bus skirstomas į 4 grupes po 24 namus (9 pav.). Viso tokio naujo vėsinimo sistemos vamzdyno ilgis sudarys apie 17 km. Saulės vėsinimo sistemai reikalingas papildomas įrenginys – šilumos akumuliacinė talpa, kurioje būtų akumuliuojama dieną sukaupta šiluma, ji būtų panaudojama tuomet, kai saulė nusileistų, o vartotojų vėsumos poreikis liktų. Be akumuliacinės talpos nė viena iš sistemų – nei paraboliniai, nei vakuuminiai saulės kolektoriai – naktį nesugebėtų patenkinti vartotojų vėsumos poreikį, nes karštas vanduo nebūtų tiekimas į absorbcinio šaldymo įrenginio generatorių, todėl nevyktų vėsumos gamyba.



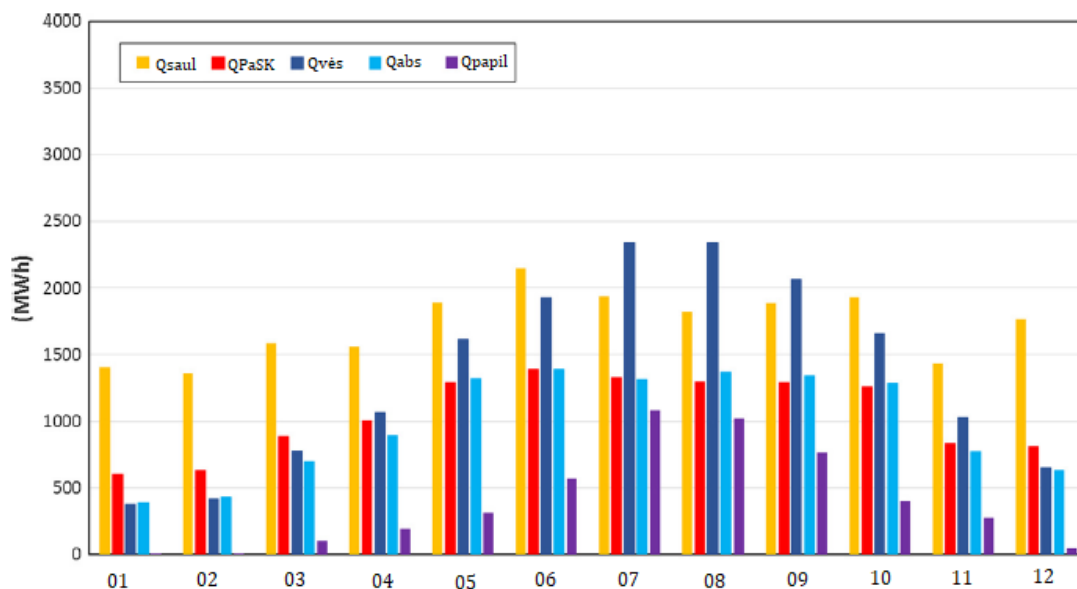
9 pav. Centralizuoto vėsinimo sistema

Palyginę rezultatus, gautus iš [8] literatūros šaltinio (1 lentelė), matome, kad parabolinių saulės kolektorių ir 2-jų pakopų absorbcinių šaldymo įrenginių varomosios galios poreikis ir karšto vandens akumuliacinės talpos tūris yra mažesni, palyginti su vakuuminių saulės kolektorių ir 1-os pakopos absorbcinių vėsinimo įrenginių sistema. Taip yra dėl to, kad labai skiriasi absorbcinių šaldymo įrenginių COP. 2-jų pakopų absorbcinis šaldymo įrenginys turi didesnę COP – jam funkcionuoti reikia mažesnių saulės kolektorių laukų ir mažesnio žemės ploto. Taip pat abiem sistemoms bus reikalingas papildomas kompresorinis vėsinimo įrenginys, kad patenkintų momentinius vartotojų vėsumos poreikius.

**1 lentelė.** Parabolinių ir vakuuminių saulės kolektorių parametrų palyginimas CVT sistemoje

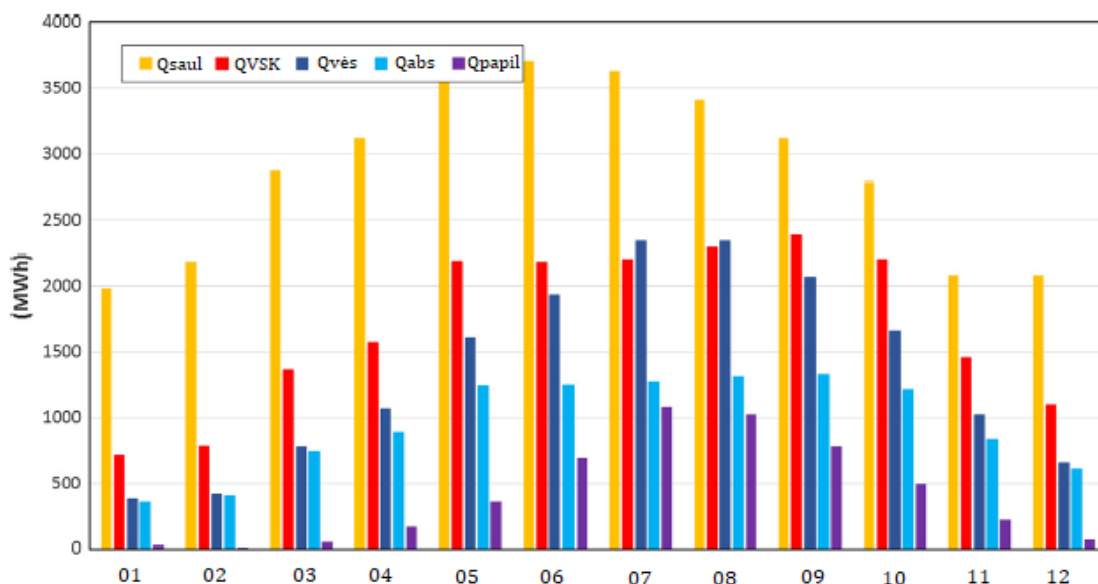
	Kolektorių plotas, m <sup>2</sup>	Galia, kW	COP	Šilumos šaltinio temp., °C	Karšto vandens akumuliacinės talpa, m <sup>3</sup>	Vėsus vandens akumuliacinė talpa, m <sup>3</sup>
Paraboliniai saulės kolektoriai	9 035	2 315	1,39	121– 175	400	200
Vakuuminiai saulės kolektoriai	15 600	3 250	0,723	65– 95	995	200

Nuo šaldymo jėgainių COP priklauso ekonominiai ir energetiniai rodikliai. Kuo energetiniai rodikliai yra prastesni, tuo daugiau patiriama finansinių išlaidų, kurios turi įtaką šaldymo jėgainės tolimesnei veiklai. 10 pav. galima matyti PaSK metinius sugeneruojamus energijos kiekius. Geltonai pažymėti stulpeliai rodo PaSK saulės apšvietą, tenkančią kolektorių plotui (W/m<sup>2</sup>), raudonieji stulpeliai rodo kolektoriais surinktą šilumą, mėlynieji – vėsumos poreikį, šviesiai mėlyni – absorbcinio vėsinimo įrenginio pagamintą vėsumos kiekį, violetiniai – papildomo kompresorinio šaldymo įrenginio pagamintą vėsumos kiekį, reikalingą vėsumos poreikio trūkumui patenkinti.



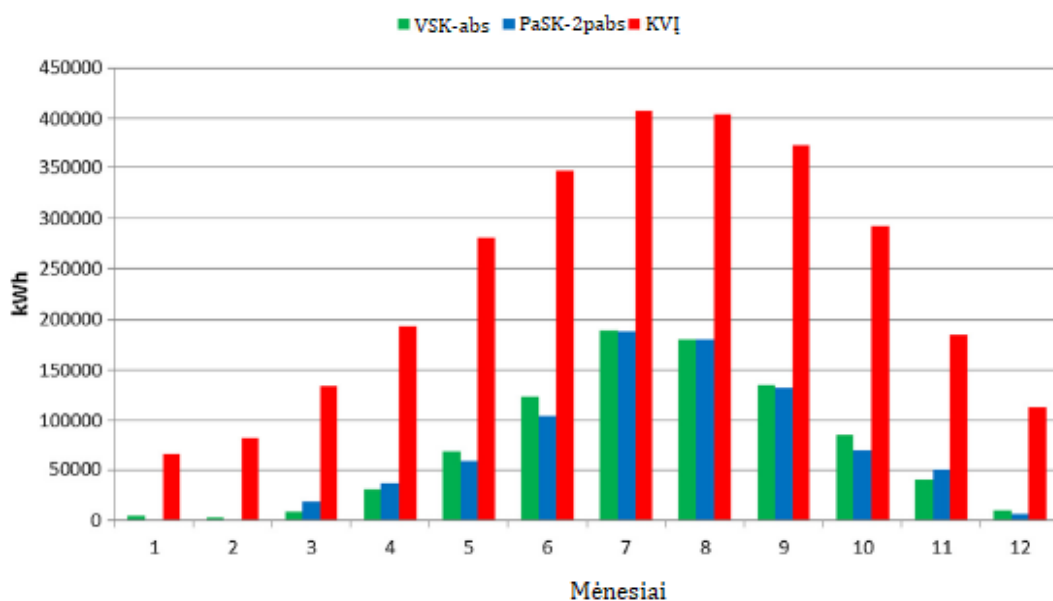
**10 pav.** Metiniai energijos kiekiai PaSK ir 2 pakopų absorbcinio vėsinimo įrenginio

11 pav. pateikiami metiniai VSK ir absorbcinės vėsinimo jėgainės rezultatai. Palyginus abiejų sistemų rezultatus, galima matyti jog PaSK jėgainė vartoja mažiau elektros energijos momentiniams vartotojų vėsumos poreikiams tenkinti.



**11 pav.** Metiniai energijos kiekiai VSK ir 1 pakopos absorbcinio vėsinimo įrenginio

Kad pamatytume, kokia didelė yra energetinė nauda naudojant vieną iš atsinaujinančių energijos šaltinių ir absorbcinį vėsinimo įrenginį, buvo palygintos kompresorinio šaldymo įrenginio elektros energijos sąnaudos tenkinant gyvenamojo rajono vartotojų vėsumos poreikius. 12 pav. rodo VSK–1-os pakopos absorbcinio vėsinimo įrenginio (žalias stulpelis), PaSK 2-jų pakopų absorbcinio vėsimo įrenginio (mėlynas stulpelis) ir kompresorinio vėsinimo įrenginio (raudonas stulpelis) suvartotus elektros energijos kiekius. Matome labai efektyvų elektros energijos sąnaudų sumažinimą naudojant saulės energiją kaip varomąją šaldymo įrenginių energiją vėsamai gaminti. Toks žymus skirtumas skatina ne tik naujus vartotojus diegti tokias kombinuotas CVT sistemos vėsinimo technologijas, bet ir funkcionuojančius elektrinius vėsumos įrenginius pakeisti į energetiškai ir ekonomiškai efektyvesnes sistemas, pvz., saulės kolektorių ir absorbcinių šaldymo įrenginių kombinacijas.



**12 pav.** Vėsinimo sistemų palyginimas

Šios dvi vėsinimo sistemos yra pagrįstos saulės energijos ir absorbcinių vėsumos įrenginių darbu. Palyginus dviejų kombinuotų sistemų atliktą darbą, galima aiškiai matyti, jog PaSK 2-jų pakopų absorbcinis vėsinimo įrenginys yra apie 30 % ekonomiškėsnis negu VSK 1-os pakopos absorbcinio vėsinimo įrenginio sistema. Taip yra dėl vėsinimo įrenginių COP žymaus skirtumo (beveik 2 kartai) ir dėl parabolinių saulės kolektorių veikimo principo, kuomet saulės energija yra koncentruotai perduodama sistemos darbo agentui, taip pakeliant jo temperatūrą iki 150 °C. Tokie rezultatai gali būti pritaikyti diegiant naujas CVT sistemas pasaulio vietose, kur yra pastovus saulės spindulių srautas, sausas klimatas, ir vėsumos energijos poreikiai ištikus metus yra pastovūs. Tokios sistemos greičiau atneš ekonominę naudą eksploatuotojams ir vartotojams. Eksploatuotojams sistema atsipirks greitai ir generuos pelną, o vartotojams vėsumos energijos poreikio tenkinimas ekonomiškai bus geresnis nei naudojant įprastinius individualius kompresorinius šaldymo įrenginius, kurių metinės elektros sąnaudos yra didelės.

### 1.3. Nemuno salos vėsumos vartotojai

Pagrindinis vėsumos vartotojas, kuriam bus taikomos CVT sistema ir šaldymo technologijos, yra „Žalgirio“ arena, Nemuno saloje esanti (13 pav.). Ateityje šioje saloje atsiras 2 papildomi vėsumos vartotojai, kuriuos reikės įvertinti renkantis vėsinimo įrenginius. Žalgirio arena pradėta statyti 2008 m., o oficialiai atidaryta 2011 m. Šioje arenoje yra įrengta daug inovatyvių techninių sprendimų, kurie leidžia rengti įvairiausių renginius, pvz., krepšinio varžybas, ledo šou, koncertus ir t. t.



13 pav. „Žalgirio arena“

Ši sporto ir pramogų arena gali sutalpinti apie 20 000 žiūrovų priklausomai nuo renginio tipo (sporto varžybos, koncertas), nes erdvė žiūrovams paruošiama vis kitaip. Kasmet „Žalgirio“ arenoje yra surengiama apie 70 renginių. Kiekvieno renginio metu energetiniai arenos poreikiai pasiekia pikus, kuriuos turi patenkinti įdiegti įrenginiai. Šilumos ir elektros energiją šis objektas gauna centralizuotu energijos paskirstymo būdu, o vėsumą ar šaltį jis gamina pats naudodamas elektrines aušykles, kurios suvartoja daug elektros energijos. Pagal gautą informaciją iš [9] lit. šaltinio, šio objekto maksimalus vėsumos poreikis skaičiuojamas 5,2 MW, bet įprastiniu apkrovimu dirbant sporto ir pramogų arenai vėsumos poreikis sumažėja iki 3,38 MW. Nemuno saloje yra planuojamas naujo objekto - „Mokslo ir inovacijų skaidos centro“ – statybos, kaip nurodyta [10] literatūros šaltinyje, „Žalgirio“ arenos rekonstrukcija [11], įrengiant naują baseinų ir pirčių kompleksų zoną. Pramogų arenos rekonstravimo projekte yra numatytas naujo baseino įrengimas, kurio šilumos poreikius tenkins centralizuoti šilumos tinklai, tiekiantys karštą termofikacinį vandenį į šilumos punktą. Vėsumos poreikius baseinų kompleksas tenkins elektriniais aušintuvais, kurių skaičiuojama baseino



vėsamos galia yra 750 kW. Šiuos įrenginius reikės įrenginėti baseinų komplekse, nes centralizuoto vėsinimo Kauno miestas neturi, todėl negali patenkinti vartotojų vėsamos poreikių. Mokslo ir inovacijų sklaidos centro karšto vandens poreikius tenkins centralizuoti šilumos tinklai, o šalčio poreikiui tenkinti yra numatyti 2 absorbciniai šaldymo įrenginiai, kurie bus prijungti prie CŠT karšto termofikacinio vandens. Šių absorbcinių šaldymo įrenginių galia skaičiuojama 1576 kW, kai į vėsinimo sistemą yra tiekiamas iki 7°C atvėsintas vanduo, o grįžta pašilęs iki 12°C. Kiekvienas iš šių objektų diegia nuosavus vėsinimo įrenginius, nes nėra jokios kitos alternatyvos, kurių būtų galima naudoti vėsamos poreikiams patenkinti. Nemuno salos objektai naudoja kompresorinius šaldymo įrenginius arba absorbcinius, priklausomai nuo to, kokią temperatūrą reikia palaikyti patalpose. Absorbciniai vėsinimo įrenginiai, kaip varomąją energiją naudoja 70°C termofikacinį vandenį. Kompresoriniai vėsamos įrenginiai diegiami kelių tipų: vieni dirba oras / vanduo principu, kiti gruntas / vanduo, kai vėsumą paima iš žemės ir perduoda į pastato patalpas. Kitokios vėsamos generavimo technologijos, kaip saulės energijos panaudojimas, vėsaus gelmių vandens tiesioginis naudojimas vėsinti ar vėsamai gaminti Lietuvos klimato sąlygomis nėra įmanomas, nes saulės apšvieta Lietuvoje nėra tokia intensyvi kaip pietryčiuose ar tropinėje klimato zonoje. Nemuno vandens temperatūra vėsamos poreikiams tenkinti nėra pakankamai žemas tiesioginiui naudojimui. Todėl potencialūs vėsamos vartotojai yra priversti ieškoti kitų būdų, kaip patiems užsitikrinti stabilų vėsamos energijos tiekimą ir komfortiškas sąlygas lankytojams. Bet yra išeitis – galima įrengti pirmąjį centralizuotos vėsamos tinklą Kauno mieste. Įrengiant centralizuotą vėsamos generavimo tinklą yra palankios sąlygos diegti galingus šaldymo įrenginius naudojant tiekiamo termofikacinio vandens temperatūrą kaip varomąją energiją absorbciniams šaldymo įrenginiams, ar naudoti kompresorinius šaldymo įrenginius šalčiui gaminti.

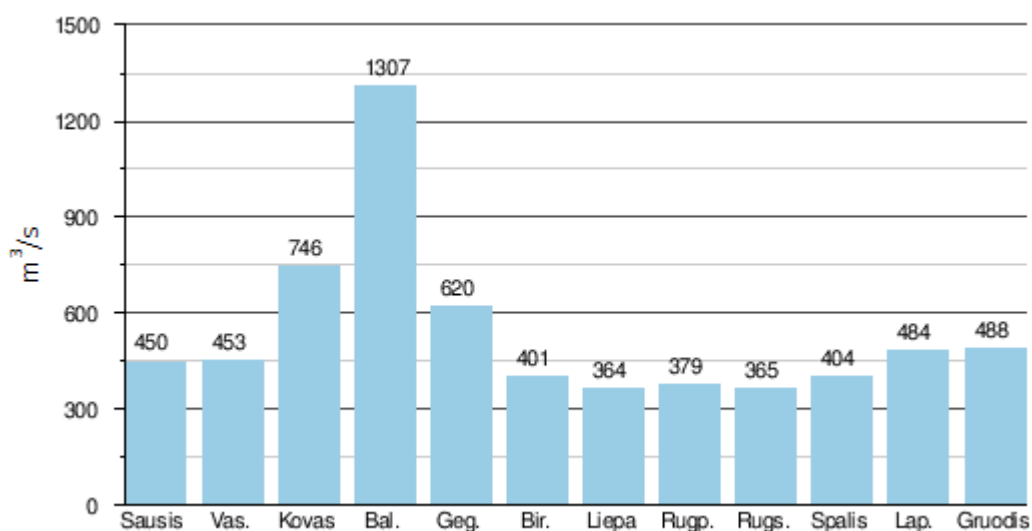
#### **1.4. Lietuvos klimato sąlygų apžvalga**

Lietuvoje yra vidutiniškai šaltas klimatas. Nors šalies teritorijoje visais metų laikais iškrinta pakankamai daug kritulių, tačiau didžiausias kritulių padidėjimas jaučiamas šaltuoju metų laikotarpiu. Šalčiausio mėnesio vidutinė oro temperatūra ~ -3 °C, o šilčiausio mėnesio, temperatūros vidurkis ~18 °C. Lietuvos klimatas priklauso nuo globalių veiksnių ir geografinės padėties. Šalis yra vidutinio klimato zonoje, čia vyrauja oro masių pernaša iš vakarų. Lietuvai nebūdingos atšiaurios žiemos, kurių metu lauko temperatūra nukristų žemiau -30 °C ir laikytųsi ilgiau, nei mėnesį laiko. Tropinių karščių vasaros metu taip pat nebūna, tik kartais judantys oro srautai gali atnešti karščio bangas, kai lauko temperatūra laikosi >30 °C ilgiau nei dvi savaites.

Lietuvos teritorija nėra lepinama saulės spinduliais. Kaip teigiama [42], Lietuva gauna tik 3400 MJ/m<sup>2</sup> bendrosios spinduliuotės į horizontalų paviršių, o tai yra dvigubai mažiau, nei žemės pusiaujo srityse esančiose šalyse. Šis saulės spindulių kiekis per metus gaunamas labai netolygiai. Šiltuoju metų laiku gaunama didžioji dalis saulės spinduliuotės, kitais metų laikais, ypač šaltuoju metų periodu, gaunama saulės spinduliuotė siekia tik 1% metinio kiekio. Gaunamos saulės spinduliuotės kiekį stipriai įtakoja debesuotumas, kurio vidurkis šalyje siekia ~ 70 %. Dėl tokio didelio debesų kiekio yra gaunama mažesnė saulės spinduliuotė nei galima, įvertinant dienos trukmę. Ilgiausia saulės spindėjimo trukmė yra pajūryje, kur ji gali siekti 41 % galimos spindėjimo trukmės. Mažiausia galima spindėjimo trukmė yra vidurio Lietuvoje, kryptant link rytų. Čia gaunamų saulės spindulių trukmė siekia ~35 %. Kadangi Kaunas yra vidurio Lietuvoje, tai didžiausia gaunama spinduliuotės trukmė šalies viduryje yra ~37 %. Dėl trumpo saulės spindėjimo laiko pramoniniam energijos generavimui yra nekorektiška diegti didelius saulės kolektorių laukus. Tokios saulės jėgainių sistemos nedirbs pilnu pajėgumu ir bus veltui panaudoti dideli žemės plotai.

Lietuva pagal savo dydį yra vandeningas kraštas, kuriame yra daug upių, upelių, tvenkinių, ežerų, dirbtinių tvenkinių, taip pat Lietuvos vakaruose yra Baltijos jūra. Šie vandens telkiniai nuo seno padėjo žmonėms išgyventi – maistu, energija, greitesniu susisiekimu. Todėl ir dabar būtų galima išnaudoti vandenį energijos gamybai ar šilumos transformavimui. Puikus pavyzdys yra Nemuno upė. Kauno mieste Nemunas yra užtventkas ir pastatyta hidroelektrinė, pro kurią tekantis Nemuno vanduo, suka elektrinės turbinas ir gamina elektros energiją.

Kaune diegiant pirmą centralizuotos vėsumos tinklą, galima pasinaudoti vėsiu upės vandeniu, vykdant šilumos mainus tarp šaldymo sistemos darbo agento ir upės vandens. Puikiai tinkamas šilumos nuvedimui yra Nemuno upės vanduo. Šios upės temperatūra [43] vasaros metu gali pakilti iki 26 °C, vidutinė metinė upės vandens temperatūra būna ~10,5 °C. Tokia vandens temperatūra yra puikiai tinkama vėsumos energijos gamybai. Taip yra todėl, kad nereikia įdėti daug papildomos energijos, norint pakelti šaldymo agento temperatūrą iki reikiamos temperatūros, vykstant šilumos mainams tarp upės vandens ir šaldymo mišinio. Nemuno upės vandens debitas skiriasi kiekvieną metų mėnesį (14 pav.). Ši upė niekada neišdžiūva, todėl reikiamas vandens masinis debitas šilumos mainų procesui yra tinkamas.



**14 pav.** Nemuno vidutinis debitas pagal mėnesius, išmatuotas Smalininkų vandens matavimo stotyje.

Taigi apibendrinant galima teigti, jog Lietuvos klimato sąlygos sudaro galimybę panaudoti upės vandenį vėsumos gamyboje. Saulės energijos Lietuvos teritorija daug negauna, todėl sugeneruoti reikiamą šilumos srautą šaldymo agregatams reikės didelių žemės plotų, o miesto teritorijoje statyti didelius saulės kolektorių laukus nėra galimybės. Todėl vėsumos gamyboje galima panaudoti tik upės vandenį, kaip vėsumos ir atsinaujinančios energijos šaltinį.

## 2. Absorbcinių vėsamos generavimo įrenginių analizė

Sparčiai plėtojant centralizuotos šilumos tinklus vartotojai gauna kokybišką, ekologiškai švarią energiją, išgaunamą iš atsinaujinančių energijos išteklių, savo šilumos ir karšto vandens poreikiams patenkinti. Pačios centralizuotos šilumos tiekimo sistemos yra skirstomos į 5 kartas

1. centralizuotas garo tiekimas;
2. perkaitinto vandens iki 150 °C tiekimas;
3. 80–90 °C karšto vandens tiekimas;
4. 40–60 °C žemos temperatūros šilumos tiekimas;
5. Žemos temperatūros šilumos ir vėsamos (7–12 °C vandens) tiekimas vartotojams.

Lietuvoje yra įdiegta 3 kartos CŠT sistema, tačiau tam tikruose miestuose yra galimybė naudotis 4 kartos CŠT sistema arba įdiegti net 5 kartos CŠT sistemą. Nagrinėjamoje Kauno miesto vietoje yra 3 kartos CŠT tinklas, kuris efektyviai naudojamas paskirstant šilumos energiją miesto gyventojams. Bet miestui plečiantis, statant naujus energetiškai efektyvius pastatus reikalinga ne tik šilumos energija, bet ir vėsamos, kurią objektai galėtų pasiimti iš CVT sistemos. Lietuvoje naujos statybos vykdytojai nėra įpareigoti naujus pastatus prijungti prie CVT sistemos, todėl ši sistema nėra populiarė, jos diegimas be valstybės valdžios palaikymo yra neefektyvus.

Sektinas pavyzdys minimas [12] literatūros šaltinyje, kuriame yra pažymima, jog Šveicarijos valdžia kartu su gyventojais siekia energetinio efektyvumo. Įstatymiškai yra numatyta, jog statant naujus objektus yra privaloma prisijungti prie centralizuotų energijos paskirstymo tinklų, tai suteikia didelį postūmį CVT sistemos plėtrai. Kadangi Lietuvoje nėra įstatymais numatyta prisijungti prie CVT sistemos, todėl didesni vėsamos vartotojai, pvz., verslo centrai, pramogų centrai, sporto arenos, diegia savo nuosavas vėsinimo sistemas, taip pristabdydami 5 kartos centralizuotos energijos paskirstymo sistemos atsiradimą ir plėtrą. Kaip yra minima [12] literatūros šaltinyje, Europos šalyse vėsamos energija yra imama iš vėsaus upės vandens ir pateikiama vartotojams.

Kauno mieste Nemuno salos objektai yra pastatyti arba bus statomi šalia Nemuno upės, bet jie vėsinimo sistemos nesieja su upės vandeniu. Netoli Nemuno salos yra Kauno miesto šilumos gamintojo ir tiekėjo objektas „Pergalės“ katilinė, kurioje būtų galima įrengti šaldymo įrenginius ir iš ten būtų galima nutiesti vėsamos tiekimo vamzdyną iki Nemuno salos esamų ir būsimų objektų, kad būtų patenkinti jų vėsamos poreikiai. „Pergalės“ katilinėje galima būtų įdiegti absorbcinių vėsamos įrenginių kompleksą, kurio varomoji energija būtų CŠT tinklo termofikacinis vanduo, arba kompresorinių įrenginių kompleksą, kuris imtų vėsumą iš Nemuno ir naudotų papildomą elektros energiją. Šildymo sezono metu ši kompresorinių šilumos siurblių sistema galėtų dirbti reversiniu principu ir gamintų šilumos energiją, kad patenkintų padidėjusius trumpalaikius miesto poreikius. Toliau bus nagrinėjamos dvi šaldymo sistemos. Bus analizuojama, kaip jos dirba, nuo ko priklauso jų efektyvus darbas, kaip galima jas maksimaliai išnaudoti ir išgauti didžiausią naudą energetiniu ir ekonominiu požiūriu. Iš dviejų šaldymo sistemų bus parinkta tinkamiausia centralizuotam vėsamos generavimui ir tiekimui.

## 2.1. Absorbiciniai šaldymo įrenginiai

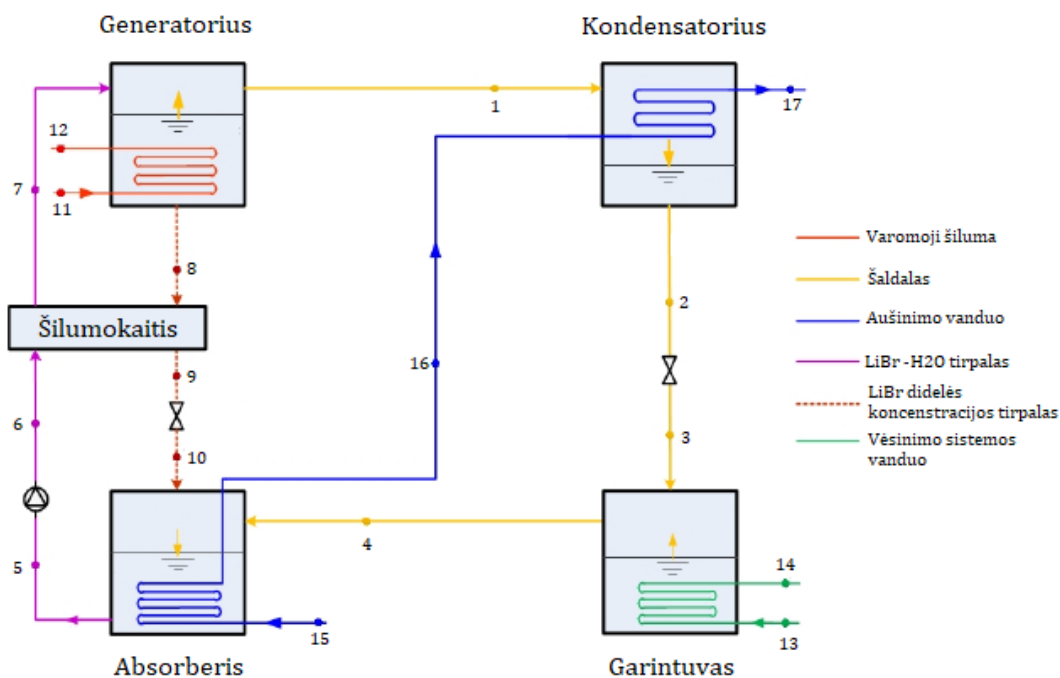
Absorbiciniai šaldymo įrenginiai (AŠĮ) būna vienos arba dviejų pakopų, jie dirba su skirtingais darbo agentais:

- LiBr/H<sub>2</sub>O tirpalo mišiniu, kai vėsinimo sistemos darbo agentą reikia atvėsinti iki 5 °C, šaldymo funkciją atlieka vandens garas;
- NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O tirpalo mišiniu, kai vėsinimo sistemoje reikia palaikyti <0 °C temperatūrą, šaldymo funkciją atlieka NH<sub>3</sub> garas;

Kadangi pastatų vėsinimo sistemose nereikia <0 °C temperatūros, todėl absorbiciniai šaldymo įrenginiai, dirbantys su NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O darbo agentu, yra atmetami. Bus nagrinėjami AŠĮ, dirbantys su LiBr/H<sub>2</sub>O tirpalu. AŠĮ gali būti kelių pakopų: 1-os pakopos ir 2-jų pakopų. Didžiausias tokių sistemų skirtumas yra varomosios energijos temperatūra ir COP. 1-os pakopos AŠĮ į generatorių reikia tiekti santykinai mažos temperatūros energiją (70–95 °C), o 2-jų pakopų AŠĮ reikia tiekti >150 °C šilumos energiją. Kadangi mūsų tikslas yra pritaikyti AŠĮ prie CŠT sistemos paduodamojo termofikacinio vandens temperatūros 70 °C, 2-jų pakopų AŠĮ yra netinkamas, nes jo varomoji temperatūra yra per aukšta, o norint palaikyti vandens temperatūrą 150 °C, papildomai reikės diegti dujinius degiklius arba vandens šildymo katilus, o tai nebūtų ekonomiškai naudinga.

### 2.1.1. Vienos pakopos absorbicinis šaldymo įrenginys

Absorbicinio šaldymo įrenginio darbas yra pagrįstas šilumos ir masės mainų principu, kai darbo metu vyksta šilumos mainai tarp įrenginio komponentų, šilumos, cheminės ir masės mainų reakcijos tarp darbo agentų (vandens ir ličio bromido tirpalo) ir mechaninis darbas transportuojant šaldymo agentus. Absorbicinio šaldymo įrenginio, kai darbo agentas LiBr-H<sub>2</sub>O tirpalas, principinė schema yra parodyta 15 pav. Varomoji energija yra tiekiamas į generatorių (11, 12 taškai), kuriame LiBr-H<sub>2</sub>O tirpalas yra užkaitinamas, dėl to vandens dalelės atsiskiria nuo cheminio tirpalo ir virsta vandens garu (1 taškas), toliau jis tiekiamas į kondensatorių. Kondensatoriuje garas virsta



15 pav. Vienos pakopos absorbicinio šaldymo įrenginio principinė schema

skysčiu (2 taškas), o kondensacijos metu išskirta šiluma perduodama aušinimo vandeniui (16, 17 taškai). Kai vandens garas sukondensuojamas ir virsta skysta fazine būseną jis nukreipiamas per išsiplėtimo vožtuvą (kitai dar vadinamą droseliu). Dėl staigaus slėgių pasikeitimo vanduo vėl pakeičia savo fazinę būseną į vandens garus (3 taškas). Slėgis yra beveik vakuumas, todėl vandens garo temperatūra nukrenta iki  $\sim 4,4$  °C. Tuomet šis vėsus garo ir vandens skysčio mišinys yra tiekiamas į garintuvą, kuris garintuve atvėsindamas vėsinimo sistemos vandenį (13, 14 taškai) virsta garu. Kai šiluma yra surenkama iš vėsinimo sistemos vandens, pašilęs vandens garas (4 taškas) tiekiamas į absorberį, kuriame didelės koncentracijos LiBr tirpalas absorbuoja vandens garus ir vėl atsiranda LiBr-H<sub>2</sub>O mišinys. Kol vanduo atlieka šaldymo agento darbą, didelės koncentracijos pašildytas LiBr tirpalas yra gražinamas į generatorių (8 taškas). Gražinamas tirpalas yra nukreipiamas pro papildomą šilumokaitį (9 taškas), kuriame vyksta šilumos mainai su LiBr-H<sub>2</sub>O tirpalu. Šilumą atidavęs didelės koncentracijos LiBr tirpalas (9 taškas) yra gražinamas į absorberį redukuojant jo slėgį (10 taškas). Absorberijoje vykstant cheminėms reakcijoms išsiskiria papildoma šiluma, todėl yra tiekiamas aušinimo vanduo, kuris surenka perteklinę šilumą (15, 16 taškas) iš mišinio. Kai gautas mažos koncentracijos tirpalas jis yra toliau transportuojamas (5 taškas), jo slėgis siurbliu pakeliamas (8 taškas), pašildomas šilumokaityje (7 taškas) ir tiekiamas į generatorių, kad ciklas būtų kartojamas. **Skaičiuojant absorbcinius šalčio įrenginius yra remiamasi termodinaminiais skaičiavimais, kurie pagrįsti energijos balanso lygtimis.** Teoriniams šio įrenginio skaičiavimams reikia nustatyti tokias prielaidas, [13, 14, 15, 16, 17]:

1. nėra šilumos mainų tarp įrenginio komponentų ir aplinkos;
2. slėgis generatoriuje ir slėgis absorberijoje yra lygūs kaip ir kondensatoriuje ir garintuve;
3. tirpalas generatoriuje ir absorberijoje, kaip vanduo kondensatoriuje ir garintuve yra sočios būsenos;
4. skysčių entalpijos prieš droselio sklendę ir už jos yra vienodos;
5. komponentų slėgio nuostoliai nėra vertinami;
6. vanduo ir LiBr-H<sub>2</sub>O tirpalas turi pastovius parametrus;
7. šilumokaičio tarp mišinio ir didelės koncentracijos tirpalo naudingo veiksmo koeficientas yra pastovus;
8. mišinio masės srautas iš absorberio į generatorių yra pastovus (konstanta) visuose taškuose (5, 6, 7).

Įvertinus visus pagrindinius AŠĮ komponentus (generatorių, kondensatorių, garintuvą ir absorberį) yra sudaromos energijos balanso lygtys. Pagal 14 pav. pateiktus taškus ir žinant fluidų temperatūras bei fazines būsenas galima nustatyti termodinamines LiBr-H<sub>2</sub>O tirpalo savybes 5–10 taškuose, vandens garo ir skysto vandens savybes galima nustatyti 1–4 taškuose. Išorinių kontūrų taškai 11–12 charakterizuoja karšto vandens termodinamines savybes, aušinamo vandens termodinamines savybes charakterizuoja 15–17 taškai, o vėsinimo sistemos vandens termodinamines savybes – 13–14 taškai. AŠĮ komponentų šilumos srautai apibrėžiami:

- garintuvui:  $Q_{Gar,vid} = m_v \cdot (h_4 - h_2)$ ; (1)
- kondensatoriui:  $Q_{C,vid} = m_v \cdot (h_2 - h_1)$ ; (2)
- absorberiiui:  $Q_{A,vid} = m_v \cdot h_4 - m_{miš} \cdot h_5 + (m_{miš} - m_v) \cdot h_9$ ; (3)
- generatoriui:  $Q_{G,vid} = m_v \cdot h_1 + (m_{miš} - m_v) \cdot h_8 - m_{miš} \cdot h_7$ ; (4)

Čia:

$m_{\text{miš}}$  – masės srautas LiBr-H<sub>2</sub>O mišinio (5–7 taškuose);

$m_v$  – vandens garo masės srautas (1–4 taškuose).

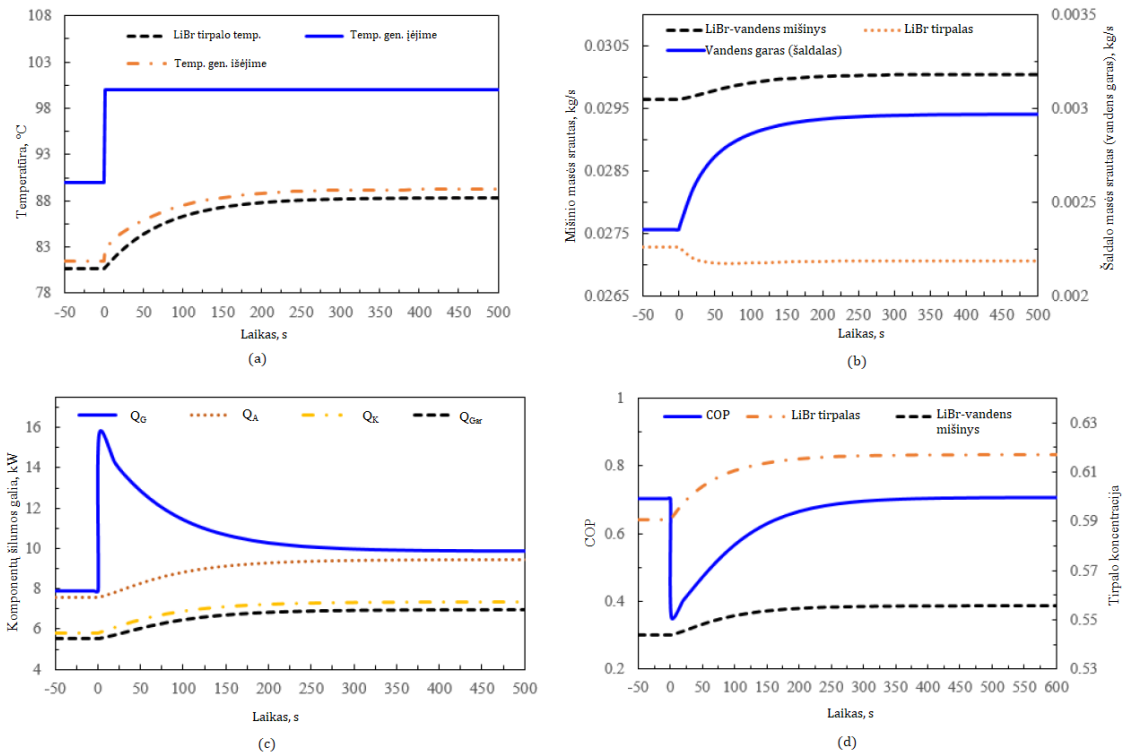
Tokio AŠĮ naudingo veiksmo koeficientas skaičiuojamas:

$$COP = \frac{Q_E}{Q_G}; \quad (5)$$

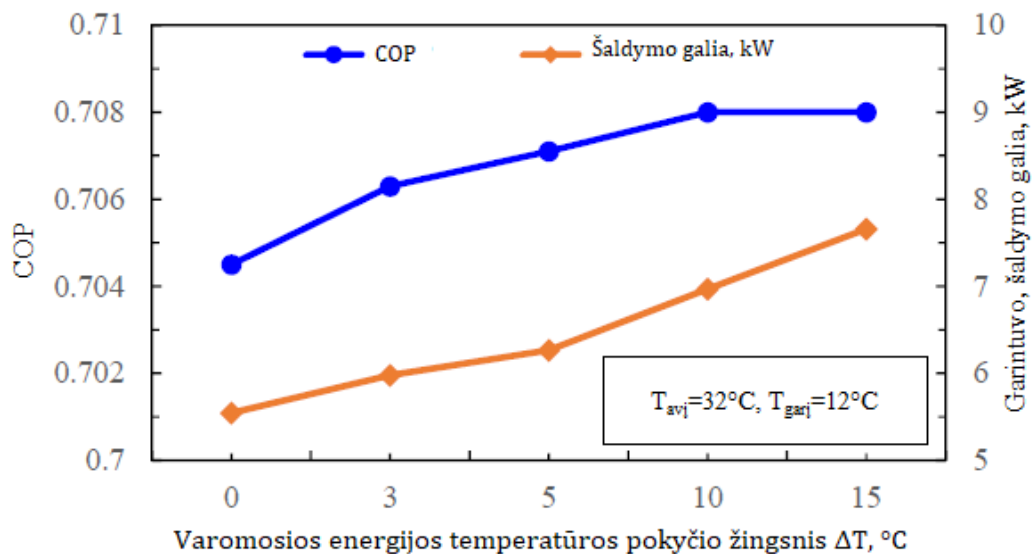
Tačiau absorbcinio šaldymo įrenginio efektyvumą galima koreguoti keičiant atitinkamus parametrus, kurie paveiktą 14 pav. pažymėtų taškų termodinamines savybes:

1. į generatorių tiekiamos varomosios energijos temperatūrą;
2. vėsinimo vandens temperatūrą..

[18] literatūros šaltinyje yra pateikiama AŠĮ termodinaminė analizė, kurioje yra vertinami šaldymo įrenginio parametrų pokyčiai. Laikas, per kurį parametrai įrenginyje stabilizuosis, nusistovės stabilaus darbo režimas. Norint nustatyti varomosios temperatūros poveikį generatoriui, temperatūra buvo pakelta nuo 90 °C iki 100 °C  $T_{G,i}$ , ji apibrėžiama laiko momentu  $t=0$ , tada įvyksta temperatūrų, entalpijų, fluidų masės srautų pokyčiai AŠĮ komponentuose. AŠĮ efektyvumo pokytį galima matyti 16 pav. a) matomas fluidų temperatūrų pokytis, b) matomas fluidų masės srautų pokytis, c) matoma kiekvieno šaldymo įrenginio komponento reakcija dėl pakitusios varomosios energijos temperatūros, d) įrenginio efektyvumas ir tirpalų koncentracijos pokytis. Taigi galima teigti, jog varomosios energijos temperatūros pokytis bendram šaldymo sistemos galios COP didelės įtakos neturėjo, nes iš 16 pav. b) dalies matome, kad temperatūros pokytis didžiausią įtaką turėjo tik vandens dalelėms, buvo suaktyvinta jų veikla ir pagreitintas atsiskyrimas nuo LiBr tirpalo, bet mišinio ir tirpalo masės srautai nesuaktyvėjo. 17 pav. vaizduojama, jog tik varomosios energijos temperatūros pokytis į generatorių turi ganėtinai mažą įtaką įrenginio šaldymo galiai ir COP. Tik pakėlus temperatūrą 15 °C nuo standartinės įrenginio temperatūros, matomas šaldymo galios padidėjimas apytiksliai 2 kW, o COP padidėjimas yra 0,004.



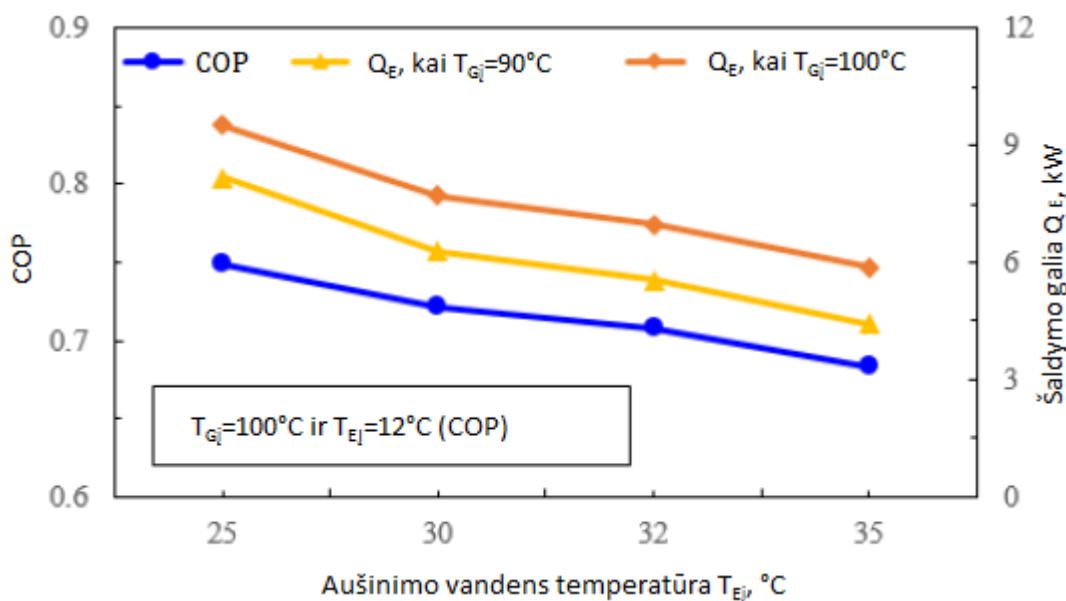
**16 pav.** Varomosios energijos poveikis AŠĮ: a) fluidų temperatūros pokytis; b) fluidų masės srautų pokytis; c) AŠĮ komponentų galios pokytis; d) COP, mišinio ir tirpalo koncentracijos pokyčiai



**17 pav.** Varomosios energijos temperatūros pokyčio įtaka AŠĮ COP

Tačiau AŠĮ darbui įtakos turi ne tik varomosios energijos kitimas, bet ir aušinimo vandens temperatūros kitimas, kuomet sumažinus aušinimo vandens temperatūrą yra pagerinami šilumos mainai absorberijoje ir kondensatoriuje, tuomet masės mainų reakcijos vyksta greičiau. Šio parametro kitimas yra parodytas 18 pav., varomosios energijos temperatūros  $T_{Gi} = 90\text{ °C}$  ir  $T_{Gi} = 100\text{ °C}$  yra pastovios, o į garantuvą tiekiamas vėsinimo sistemos vanduo yra  $18\text{ °C}$ . Kai pradedamas aušinimo vandens temperatūros pokytis ją didinant, sukyla slėgis generatoriuje ir absorberijoje, tirpalo temperatūra taip pat pakyla, o masės mainai generatoriuje ir absorberijoje yra pristabdomi, todėl COP ir įrenginio šaldymo galia sumažėja. 18 pav. lyginamos standartinės šaldymo įrenginio darbo sąlygos, kuomet pakyla tik  $T_{Gi} = 100\text{ °C}$ ,  $T_{Ei} = 12\text{ °C}$  ir kinta tik aušinimo vandens temperatūra. Pagal 18 pav.

pateiktus rezultatus galima matyti, jog aušinimo vandens temperatūros mažinimas duoda beveik tokį patį rezultatą kaip ir varomosios energijos temperatūros didinimas. Atliekant kompleksinius sistemos fluidų masės ir šilumos mainų pokyčius galima pasiekti tikrai neblogų rezultatų COP sistemos padidėjimas siekia beveik 0,1, o tai pakankamai didelis efektyvumo pagerinimas AŠĮ sistemai. Bet tokiu atveju tik padidinti varomosios energijos temperatūrą ir sumažinti aušinimo vandens temperatūrą nepakanka. Reikia, kad vėsinimo sistemos darbo agentas surinktų kuo daugiau šilumos iš vėsamos vartotojų, į garintuvą būtų tiekama aukštesnė temperatūra. Pakėlus aušinimo sistemos darbo agento temperatūrą ir atvėsinus ją iki 5–7 °C, atliekamas didesnis darbas generatoriuje, nes padidėja vėsinimo vandens sistemos  $\Delta T$ , vietoj  $\Delta T=5-7$  °C, tampa  $\Delta T=11-13$  °C.



18 pav. Aušinimo vandens temperatūros įtaka AŠĮ COP

Fluidų parametrų analizė yra svarbi norint išsiaiškinti, kaip pakis šaldymo įrenginio galia ir efektyvumas, jei CŠT tinkle galima būtų pakelti temperatūrą 5-20 °C ir paveikti aušinimo vandens temperatūrą. Tokiu atveju miesto CŠT vamzdynuose atsirastų dideli šilumos nuostoliai, todėl reikia įvertinti, ar verta kelti tinklų temperatūrą, kad būtų patenkinti vos kelių vėsamos vartotojų poreikiai.

### 2.1.2. Absorbcinio šaldymo įrenginio galios priklausomybė nuo CŠT termofikacinio vandens temperatūros

Kauno miesto centralizuotos šilumos tiekimo sistemos darbą reguliuoja tinklo dispečeris, kuris nustato šilumos gamybos objektams reikiamus tinklo parametrus: galią, temperatūrą, slėgį. Kai atsiranda momentiniai miesto šilumos poreikiai, tuomet dispečeris pagal galios trūkumus atitinkamuose miesto rajonuose liepia įdiegti dujinius vandens šildymo katilus, kurie patenkintų momentinius šilumos poreikius, pakelia tinkluose nukritusį slėgį. Dažniausiai tokie momentiniai šilumos poreikiai atsiranda žiemą, kai lauko temperatūra krinta  $>0$  °C arba kai padidėja karšto vandens suvartojimas. Bet dirbant stabiliu režimu pagal temperatūrinius CŠT sistemos grafikus (1 priedas) (1 informacijos šaltinis) tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra vasaros režimu nekinta ir yra išlaikoma 70 °C. Todėl tiekiamas termofikacinis vanduo gali būti AŠĮ varomoji energija šalčiui gaminti.



Kauno miesto centralizuotas šilumos tiekėjas įsigijo absorbcinį šaldymo įrenginį L50H (parametrai yra nurodyti 2 lentelėje). Tai nėra galingas šaldymo įrenginys, jis bus naudojamas eksperimentams atlikti, keičiant karšto vandens temperatūrą, aušinimo vandens temperatūrą, vėsinimo sistemos vandens temperatūrą.

**2 lentelė.** L50H AŠĮ įrenginio parametrai

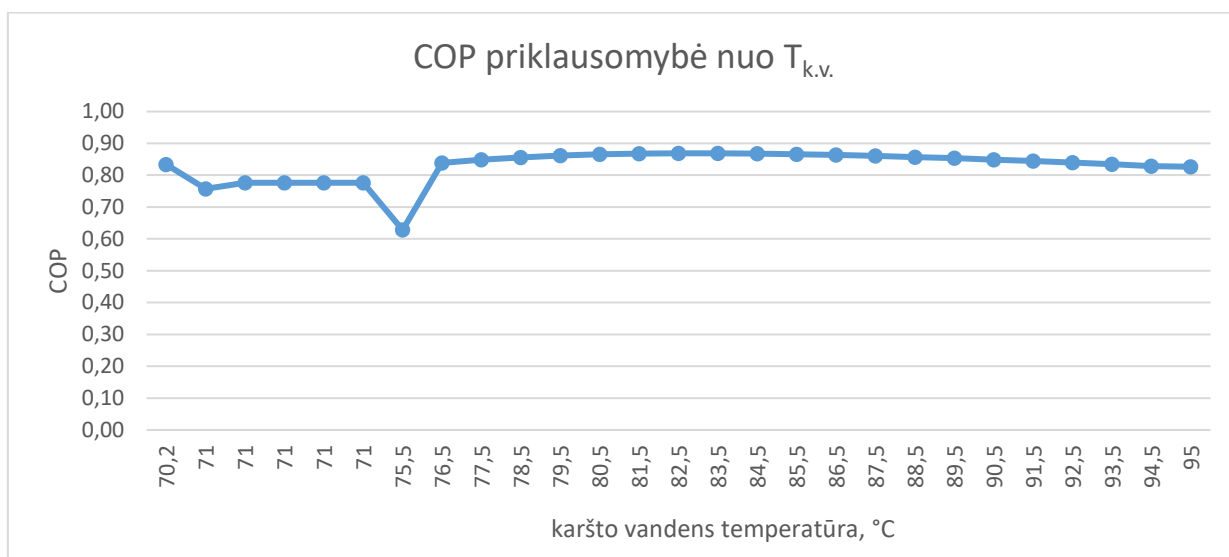
Šaldymo galia		kW	176
Vėsinimo sistemos vandens kontūro parametrai	Vandens temperatūra vės. sist. į/iš	°C	13/8
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	30,2
	Pajungimas	mm	80
Aušinimo sistemos vandens kontūro parametrai	Vandens temperatūra auš. sist. į/iš	°C	31/36,5
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	62,2
	Pajungimas	mm	100
Karšto vandens kontūro parametrai	Karšto vandens temperatūra į/iš	°C	95/80
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	12,6
	Pajungimas	mm	50
AŠĮ elementų vandens tūris	Vėsinimo vandens sistemos	l	66
	Aušinimo vandens sistemos	l	188
	Karšto vandens sistemos	l	71
Naudingo veiksmo koeficientas, COP	0,8		

Absorbcinis vėsumos generavimo įrenginys jau iš anksto buvo suplanuotas jungti prie karšto termofikacinio vandens (70 °C). Tačiau šio įrenginio projektinė karšto vandens temperatūra tiekama į generatorių; kad būtų išgautas 176 kW šalčio našumas, buvo numatyta 95 °C. Gavus įrenginį, buvo atlikti bandymai mažinant karšto vandens temperatūrą iki 70 °C ir stebint šalčio našumo pokytį. Gauti rezultatai pateikti 3 lentelėje, buvo keičiama tik vandens temperatūra, visus kitus parametrus agregatas reguliavo pats. Taip pat buvo atlikti dar du bandymai, kurių rezultatai yra pateikti 2 priede.

**3 lentelė.** L50H AŠĮ charakteristikos, kai karšto vandens T=70 °C

		projektuojama	a	b	c	d	e	vidurkis
T <sub>gar,į</sub>	°C	12	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8
T <sub>gar,iš</sub>	°C	7	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
T <sub>vės.v.į</sub>	°C	27	26,8	26,8	26,9	26,8	26,8	26,8
T <sub>vės.v.iš</sub>	°C	32	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7
T <sub>gen.į</sub>	°C	70	70,3	70,3	70,2	70,2	70,2	70,24
T <sub>gen.iš</sub>	°C	60	62,5	62,4	62,4	62,4	62,3	62,4
Vėsinimo vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	12,04	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
Aušinimo vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	26,6	27	27,3	27	26,7	26,8	26,96
Karšto vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	7,4	7,32	7,3	7,31	7,32	7,34	7,318
Karšto vandens tankis	kg/m <sup>3</sup>	977,8	977,63	977,63	977,68	977,68	977,68	
Šaldymo galia	kW	70	54,22	54,22	54,22	54,22	54,22	54,22
Panaudota šilumos galia	kW	84,14	66,40	67,07	66,31	66,40	67,43	66,72
COP		0,83	0,82	0,81	0,82	0,82	0,80	0,81

Pagal gautus parametrus interpoliacijos metodu galima išsiaiškinti, kokią įtaką turi šiam absorbciniam šaldymo įrenginiui tiekiamas karšto vandens temperatūra iš CŠT tinklo, keičiant karšto vandens temperatūrą, o aušinimo ir vėsinimo sistemos vandens temperatūros skirtumą išlaikant 5 °C. Gauti rezultatai pateikti 19 pav.



19 pav. AŠĮ COP priklausomybė nuo temperatūros pokyčio

19 pav. galima matyti, jog iteracijų pradžioje temperatūros pokyčio nebuvo, todėl COP išliko beveik pastovus, bet staiga pakilus temperatūrai, įrenginio COP nukrito. Kai įrenginio temperatūra stabilizavosi, COP grįžo į projektuojamąjį dydį ir daugiau taip drastiškai nebesvyravo. Matoma jog šio įrenginio didžiausias COP teoriškai yra pasiekiamas, kai į generatorių tiekiamas karštas vanduo ~80,5-84,5 °C. Gautas rezultatas yra teorinis skaičiavimas interpoliacijų metodu, bet šiuo skaičiavimu remiantis, galima išsivesti koeficientus, kuriuos galima pritaikyti galingesniems tokio pat tipo ir to paties gamintojo šilumos siurbliams, kuomet norima išsiaiškinti kokią šaldymo galią pavyks išvystyti AŠĮ sumažinus jų projektinę karšto vandens temperatūrą. Iš [20] literatūros šaltinio išsirenkamas absorbcinis šaldymo įrenginys L525H, kurio šaldymo galia yra 1,846 MW. 4 lentelėje yra pateikti rezultatai suskaičiavus teorinius pokyčio koeficientus, kurie yra taikomi šaldymo įrenginiui norint išsiaiškinti kokią šaldymo galią šis agregatas galės generuoti pakeitus jo varomosios energijos temperatūrą.

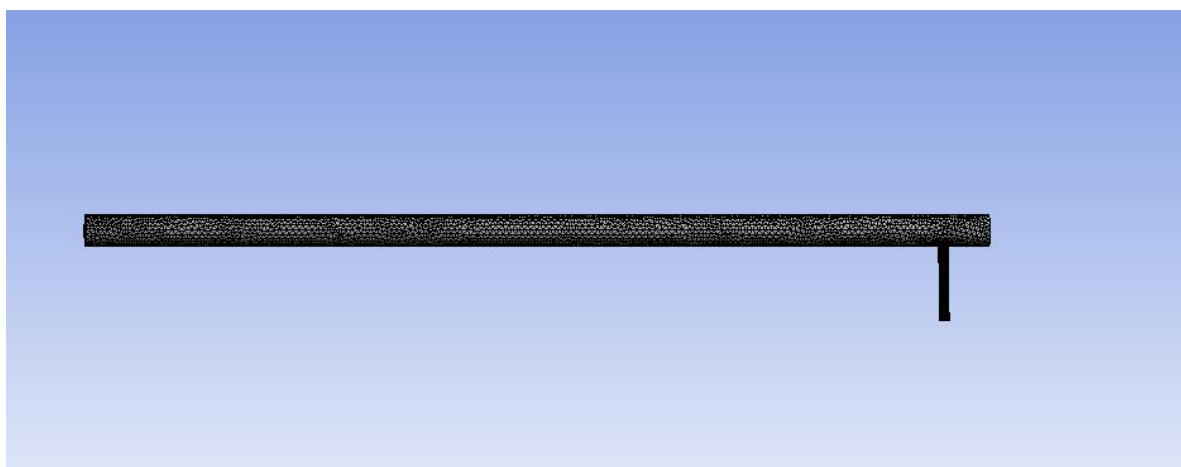
4 lentelė. L525H šaldymo įrenginio galios parametrai

		Projektinė užduotis	Perskaičiuota galia, užsidavus teorinius galio pokyčio koeficientus	
$T_{gar,i}$	°C	13	12	10,8
$T_{gar,iš}$	°C	8	7	7,1
$T_{vės.v.,i}$	°C	31	27	26,8
$T_{vės.v.,iš}$	°C	36,5	32	30,7
$T_{gen.,i}$	°C	95	80,5	70,3
$T_{gen.,iš}$	°C	80	69,2	62,5
Vėsinimo vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	318	175,9	132,7
Aušinimo vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	653	387,3	283,7
Karšto vandens srautas	m <sup>3</sup> /h	132	95,7	79,8
Karšto vandens tankis	kg/m <sup>3</sup>	961,85	971,22	977,62

Šaldymo galia	kW	1846	1022,96	570,92
Panaudota šilumos galia	kW	2246,17	1227,78	712,29
COP		0,82	0,83	0,80

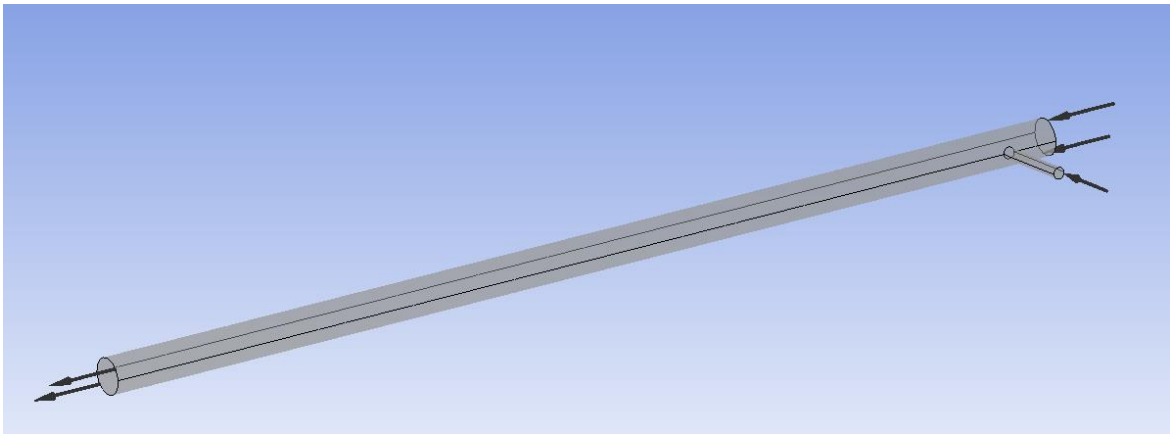
Varomosios energijos temperatūros buvo pasirinktos, pagal galimybę keisti temperatūrinį režimą CŠT tinkle. Jei bus pasirinktas galingesnis įrenginys, kurio projektinė varomoji temperatūra bus didesnė negu esama varomosios energijos temperatūra, tuomet bus patirti dideli ekonominiai ir energetiniai nuostoliai. 4 lentelėje yra matoma, jog pakeitus projektinę galingesnio šaldymo įrenginio varomosios energijos temperatūrą, patiriami dideli galios nuostoliai. O gamintojas siūlydamas šaldymo įrenginį, kainą nustatinėja pagal, projektinę šaldymo galią.

Jei būtų pasirinktas šis šaldymo agregatas L525H, varomajai energijai būtų naudojamas tiekiamas termofikacinis vanduo 70 °C, o grąžinamas į trasą vanduo būtų 60 °C temperatūros, todėl reikėtų išsiaiškinti, kokią įtaką galėtų turėti toks šalto vandens kiekis tiekiamo termofikacinio vandens temperatūrai, ar neatvėsins šis vėsaus vandens srautas trasoje cirkuliuojančio karšto vandens. Norint tai išsiaiškinti, sumodeliuojamas srautų temperatūros maišymasis vamzdyne. Įrenginio generatoriaus atvamzdis galėtų būti jungiamas prie trasos „Pergalės“ katilinėje, pro kurią šildymo sezono pabaigoje teka ~ 275 m<sup>3</sup>/h vandens debitas. Buvo sumodeliuota magistralės trasa DN700 ir atvamzdis iš AŠĮ generatoriaus DN125. Srautų maišymosi modeliavimui buvo pasitelkta „Ansys 19.0“ programos paketas „Fluid (CFX)“ [21]. Šioje programoje buvo sukurtas struktūrizuotas vamzdyno baigtinių elementų tinklelis, kad būtų nustatyta, kokia temperatūra bus gaunama susimaišius srautams. Sugeneravus tinklelį, gavosi 252048 elementų. Sugeneruotas baigtinių elementų tinklelis yra pateiktas 20 pav.



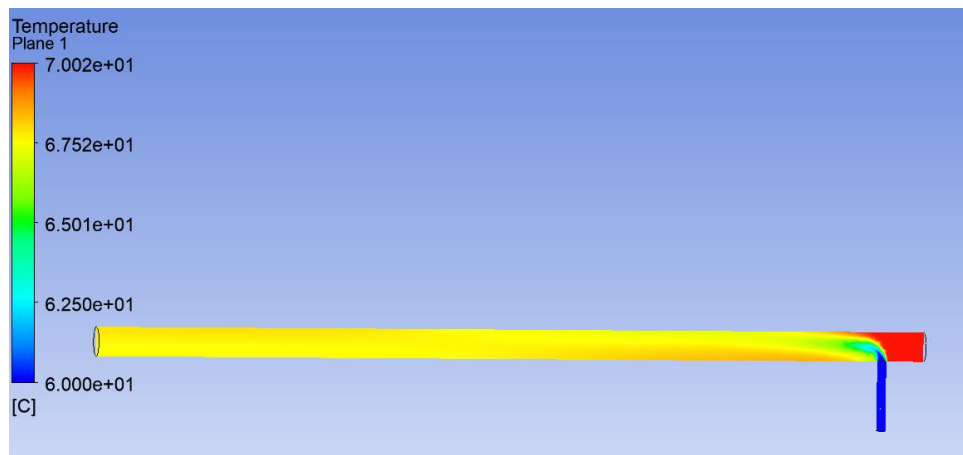
**20 pav.** Vamzdyno baigtinių elementų tinklelis

Sugeneruotam struktūrizuotam baigtinių elementų tinkleliui sukuriama kraštinės sąlygos ir fizikos aprašymas. Sukuriamas domenas „vamzdynas“. „Vamzdyno“ domene yra 2 įtekėjimai ir vienas ištekėjimas (21 pav.). Domenui nustatomi tokie parametrai: slėgis 4 bar, vandens tankis parenkamas pagal vandens srautų temperatūrų vidurkį –  $\rho=980,45 \text{ kg/m}^3$ , įtekėjimas į magistralinį vamzdyną  $T_1=70 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G_1=275 \text{ m}^3/\text{h}$ , įtekėjimas iš absorbcinio šaldymo įrenginio generatoriaus  $T_2=60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G_2=79,8 \text{ m}^3/\text{h}$ .



**21 pav.** Srautų įtekėjimai ir ištekėjimai

Paduodamojo termofikacinio vandens srauto temperatūra bus 70 °C, sumaišę du skirtingų temperatūrų srautus, gausime nusistovėjusio srauto temperatūrą vamzdyno išėjime = 67,75 °C. 21 pav. yra parodytas temperatūros profilis, kaip srautai maišosi. Galima matyti, kad 20 m atkarpoje vandens temperatūra nusistovi, jau iš katilinės patalpos išeis vandens srautas su nusistovėjusia 68 °C temperatūra. Matome, kad vienas absorbcinis šaldymo įrenginys turės kelių laipsnių įtaką vandens srauto temperatūrai 4K magistralėje, o šilumos vartotojai temperatūros pokyčio nepajaus.



a) Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas ZX plokštumoje



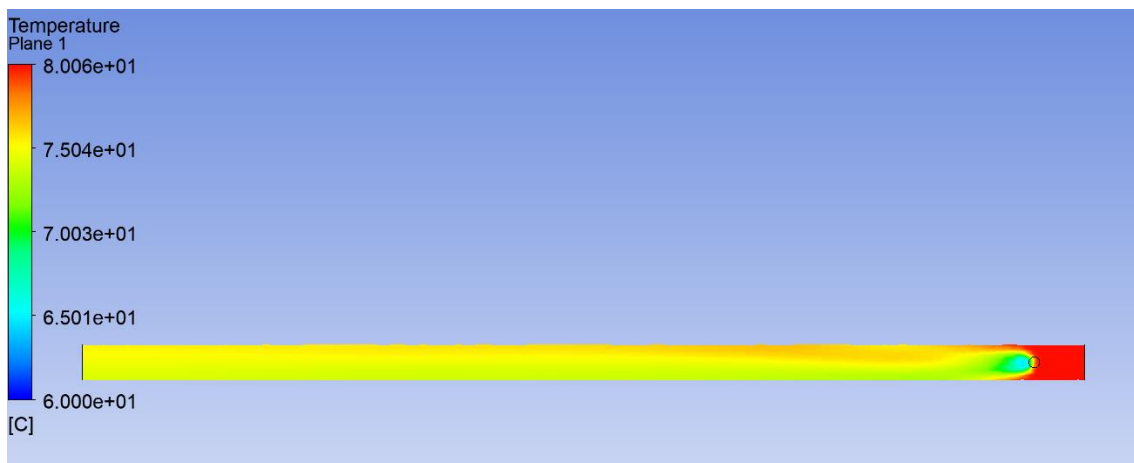
b) Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas ZY plokštumoje

**22 pav.** Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas vamzdyne, kai T1=70 °C

Jei būtų CŠT tinklo temperatūra keliama iki 80 °C, tuomet generatoriaus atvėsinto vandens temperatūra būtų 69 °C, ją būtų galima grąžinti atgal į tiekiamojo termofikacinio vandens trasą. Sakykime, kad šio vandens debitas po generatoriaus yra 132 m<sup>3</sup>/h. Pakėlus vandens temperatūrą, įrenginio šaldymo galia taip pat nedaug pakyla, bet perkant šaldymo įrenginius bus sutaupoma. Taigi reikia vėl išsiaiškinti, ar termofikacinio vandens temperatūra nebus atvėsinta per daug ir ar užteks šios temperatūros vartotojų poreikiui tenkinti. Modeliuojamas naujas vamzdyno modelis, pasiekiant prie to paties struktūrizuoto baigtinių elementų tinklelio, tokio pačio  $G_1=275 \text{ m}^3/\text{h}$ , keičiant tik parametrus:  $T_1=80 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_2=60 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $G_2=95,73 \text{ m}^3/\text{h}$  ir  $\rho_{k,v}=977,45 \text{ kg/m}^3$ .



a) Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas ZX plokštumoje



a) Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas ZY plokštumoje

**23 pav.** Vandens srauto temperatūros pasiskirstymas vamzdyne, kai  $T_1=80^\circ\text{C}$

Sumodeliavus srautų susimaišymą, gaunama susimaišiusio srauto temperatūra  $=74,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , tokio vandens temperatūra yra pakankama šilumos vartotojams karšto vandens poreikiams tenkinti ir patalpoms šildyti. Tačiau renkantis šaldymo įrenginio tipą, neužtenka vertinti tik pagal CŠT sistemos naudą, reikia įvertinti absorbcinių šaldymo įrenginių instaliuojamąją galią, kuri stipriai krenta sumažinus projektuojamosios varomosios energijos temperatūra ir padidina reikiamą šaldymo įrenginių kiekį. Todėl geriau rinktis absorbcinį šaldymo įrenginį, kurio varomosios energijos projektuojamoji temperatūra atitinka CŠT sistemos karšto vandens temperatūrą 70 °C.

### 2.1.2.1. 70 °C varomosios energijos tiekiamos į absorbcinį vienos pakopos šaldymo įrenginį darbas

Kadangi vasaros metu centralizuoto šilumos tiekimo tinklo termofikacinio vandens temperatūra išlaikoma 70 °C, kaip parodyta 1 priede, todėl bus pasirenkamas absorbcinis vienos pakopos įrenginys, kai į generatorių bus tiekiamas 70 °C karštas vanduo. Yra žinomi maksimalūs vėsumos vartotojų poreikiai (5 lentelė). Šių objektų vėsumos poreikiai yra skaičiuojami nustatant, kad projektuojama lauko temperatūra Kauno mieste yra 24,2 °C [9, 10, 11]. Maksimalus esamo ir būsimų objektų vėsavimo poreikis bus reikalingas tik tada, kai vyks didelio masto renginiai, į kuriuos susirinks maksimalus leidžiamas žiūrovų kiekis. Bet įprastą šaldymo įrenginių galios išnaudojimą ne šildymo sezono metu nustatome 65 %, nes objektams reikės vėsumos tik komfortiškai aplinkos temperatūrai paprastą dieną palaikyti.

**5 lentelė.** Nemuno salos objektų vėsavimo poreikis

Objektas	Maksimalus vėsavimo poreikis, MW	Vėsavimo poreikis, įvertinus galios išnaudojimą, MW
Sporto ir pramogų arena	5,2	3,38
„Žalgirio“ arenos baseinų kompleksas	0,75	0,49
Mokslo ir inovacijų sklaidos centras	1,576	1,02
<b>Suma</b>	<b>7,526</b>	<b>4,98</b>

Rengiant centralizuotą vėsavimo sistemą, negalima įrengti mažesnės galios šaldymo įrenginių, nei vartotojų vėsavimo poreikis, nebent yra naudojamos papildomos šalto vandens akumuliacinės talpos [19], kurios yra užpildomos atvėsintu vandeniu, kuris būna iš anksto paruoštas, tenkinti momentiška padidėjusius vartotojų vėsavimo poreikius. 5 lentelėje matoma, jog maksimalus galios poreikis ir įprastinis skiriasi ženkliai. Vieno šaldymo įrenginio tokiai sistemai rinktis negalima, nes jam sugedus visa sistema sustotų ir vartotojai liktų be patalpų vėsinimo. Kad būtų išvengta tokių nemalonumų, „Žalgirio“ arenos vėsavimo poreikiams tenkinti bus parinkti 3 vėsinimo įrenginiai, kurių vėsinimo galia yra 1,846 MW. Įvertinus būsimus ateities planus ir papildomų objektų statybą artimiausiu metu Nemuno saloje, papildomai bus pasirinkti dar 2 absorbciniai šaldymo įrenginiai su tokia pačia šaldymo galia. Iš viso šios sistemos šaldymo galia bus 9,23 MW. Šios galios rezervas ateityje leis prijungti papildomai vieną ar kelis netoliese esančius verslo centrus, kurių vėsavimo poreikis neviršys esamų šaldymo įrenginių galios. Turėdamas 5 šaldymo įrenginius, eksploatuotojas galės užtikrinti CVT sistemos stabilų, nenutrūkstamą darbą ir rotuoti įrenginių darbą atlikdamas einamuosius priežiūros darbus, nestabdydamas visos sistemos darbo ir užtikrindamas nenutrūkstamą vėsavimo tiekimą. Pagal gautą absorbcinių siurblių katalogą [20], pasirenkamas vienos pakopos absorbcinis šaldymo įrenginys, kurio parametrai yra pateikti 6 lentelėje. Kadangi gamintojas nepateikia LiBr kiekio, reikalingo absorberiu užpildyti, nėra galimybės šio kiekio apskaičiuoti, nes energijos balanso lygtyje būtų per daug nežinomųjų. Buvo modeliuojama srautų temperatūros pokyčio įtaka, naudojant vieną absorbcinį šaldymo įrenginį, sujungtą su CŠT tinklu. Reikia pastebėti, kad šio absorbcinio šaldymo įrenginio COP yra žemas, tik 0,41, tai rodo, jog šiam šalčio generavimo įrenginiui bus reikalingi didesni šiluminės energijos kiekiai, tiekiami į generatorių.

**6 lentelė.** 2AA525 Vienos pakopos absorbcinio šaldymo įrenginio parametrai

Šaldymo galia		kW	1846
Vėsinimo sistemos vandens kontūro parametrai	Vandens temperatūra vės. sist. į/iš	°C	13/8
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	318
	Pajungimas	mm	200
Aušinimo sistemos vandens kontūro parametrai	Vandens temperatūra auš. sist. į/iš	°C	31/36
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	1094
	Pajungimas	mm	350
Karšto vandens kontūro parametrai	Karšto vandens temperatūra į/iš	°C	70/60
	Vandens debitas	m <sup>3</sup> /h	394
	Pajungimas	mm	250
AŠĮ elementų vandens tūris	Vėsinimo vandens sistemos	l	656
	Aušinimo vandens sistemos	l	2405
	Karšto vandens sistemos	l	1127
Naudingo veiksmo koeficientas, COP	0,41		

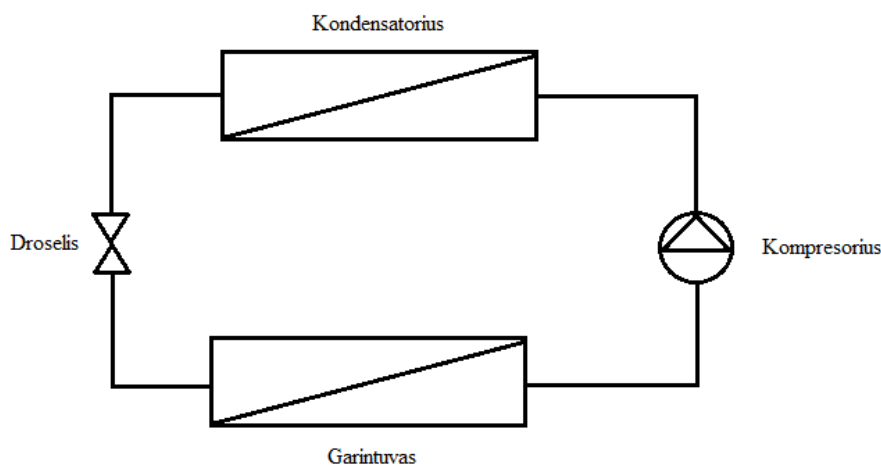
Pagal gautus duomenis iš [20] literatūros šaltinio, šio įrenginio darbui reikalingas 70 °C karštas vanduo. Atvėsintas karštas vanduo iš generatoriaus išeis 60 °C. Kadangi „Pergalės“ katilinę kerta magistralinė šilumos trasa 4K DN700, teoriškai galima atvėsintą vandenį, grąžinti į 4K magistralę. Keturių 2AA525 absorbcinių šaldymo įrenginių karšto vandens poreikis yra  $G_{AŠĮ}=1540 \text{ m}^3/\text{h}$ , pagal 2 informacijos šaltinį matome, jog vasaros sezono metu miesto tinklo karšto vandens tiekimo į miesto centrą darbo režimas yra perjungiamas vasarą, kai bus reikalingi didžiausi karšto vandens kiekiai šalčio gamybai, jo neužteks, nes tinkle 4K magistralėje cirkuliuos tik  $\sim 150 \text{ m}^3/\text{h}$  karšto vandens. Todėl matoma, jog AŠĮ įrenginio diegimas nėra tinkamas techninis sprendimas.

### 3. Kompresorinių vėsumos generavimo įrenginių analizė

Jeigu absorbciniai šaldymo įrenginiai negali būti diegiami dėl esamų techninių kliūčių, tuomet reikia svarstyti apie kitus šaldymo įrenginius, kurie nenaudoja karšto vandens kaip varomosios energijos. Puiki alternatyva AŠĮ yra kompresoriniai šilumos siurbliai, kurie sugeba generuoti vėsumos energiją ir šilumos energiją. Tokie šilumos siurbliai dar vadinami reversiniais šilumos siurbliais, nes pagal poreikį galima pasirinkti, kokią energiją reikia gaminti. Kompresoriniai šaldymo įrenginiai (KŠĮ) susideda iš 4 komponentų, jie paprastai eksploatuojami, lengva reguliuoti gaminamos energijos kiekį.

#### 3.1.1. Kompresorinių šaldymo įrenginių veikimo principas

Kompresoriniai šaldymo įrenginiai sklandžiam ir efektyviam sistemos darbui naudoja šaldymo agentus. Šaldymo agentas – tai skystis, turintis savybę garuoti esant tam tikram slėgiui. Reguluojant slėgį ir panaudojant tinkamai šią darbo agentų savybę, yra išgaunamas šaltis, atvėsinant fluidus, su kuriais vyksta šilumos mainai. Šis šaldymo įrenginys, palyginti su AŠĮ, yra paprastas. KŠĮ sudaro 4 pagrindiniai komponentai (23 pav.): garintuvas, kompresorius, kondensatorius, slėgio reguliatorius (droselis).



24 pav. Principinė kompresorinio šaldymo įrenginio schema

- Garintuvas – šiame įrenginio komponente vyksta šilumos mainai su šaldymo sistemos darbo agentu arba su šilumos šaltiniu, tai priklauso nuo to, kokį darbą atlieką šilumos siurblys. Garintuve darbo agentas pasiima iš kitos sistemos fluideo šilumą, taip jį atvėsindamas. Pakilus darbo agento temperatūrai, jis kondensuojasi ir virsta skysta fazine būseną. Garintuve slėgis yra pastovus.
- Kompresorius – šis komponentas yra pirmas pagal svarbą šioje sistemoje. Kompresorius iš garintuvo atėjusį skystos būsenos darbo agentą suslegia ir pakelia jo temperatūrą iki reikiamos kondensacijai temperatūros. Kompresorius naudoja elektros energiją, kuo mažiau reikia slėgti darbo agentą keliant jo temperatūrą, tuo mažiau elektros energijos yra suvartojama, tuo efektyvesnė šaldymo sistema yra.
- Kondensatorius – šilumokaitis tarp darbo agento ir kitos sistemos fluideo, kuriam yra perduodama šiluma ir atvėsinama darbo agentas. Kompresoriuje slėgis yra pastovus, kinta tik šaldymo agento temperatūra.



- Droselis – redukuoja slėgį po kondensacijos atvėsintam darbo agentui. Staiga išsiplėtusio darbo agento temperatūra ir slėgis krenta, taip generuojamas šaltis, reikalingas vėsinimo arba šildymo sistemai, priklausomai nuo to, kokiam darbo režimui nustatytas šilumos siurblys.

Kompresorinių šilumos siurblių efektyvumas priklauso nuo darbo agento savybių ir nurodytų garavimo ir kondensacijos temperatūrų ir kompresoriaus efektyvumo  $\eta_{izentrop}$ . Kuo daugiau reikia pakelti kondensuoto garo temperatūrą iki kondensacijos temperatūros, tuo daugiau papildomos energijos suvartojama, šiuo atveju tai yra elektros energija. Kadangi šaldymo įrenginiai bus montuojami „Pergalės“ katilinėje, šalia teka Nemunas, bus galima derinti upės vandens ir kondensatoriaus darbą, nereikalinga šiluma bus atiduodama upės vandeniui ir darbo agentas bus atšaldomas. Taip bus gaunamas didesnis sistemos energetinis efektyvumas ir žymiai sumažinamos elektros sąnaudos. Įvertinus Nemuno vandens temperatūros pokyčius, buvo nustatytos kondensacijos temperatūros (7 lentelė), kurias turės pasiekti suslėgtas darbo agentas, kad perteklinė šiluma būtų atiduodama aplinkai. Taip pat neatmetama galimybė perteklinę kondensacijos temperatūrą atiduoti grįžtamajam termofikaciniam vandeniui.

**7 lentelė.** Kondensacijos temperatūros.

	°C	°C	°C	°C	°C
Kondensacijos temperatūra	20	25	30	35	40

### 3.1.2. Kompresorinių šaldymo agentų parinkimas

Rinkoje yra daug šaldymo mišinių, kurie gali būti naudojami šaldymo sistemose. Kiekvienas toks darbo agentas turi savo specifines savybes, pagal kurias galima spręsti apie visos sistemos efektyvumą. Šaldymo agentai yra skirstomi pagal globalinį atšilimo potencialą (GVP) [22]. Kiekvienas toks šaldymo agentas pagal kenksmingumą aplinkai yra prilyginamas išmetamosioms CO<sub>2</sub> dujoms. Išmetamųjų CO<sub>2</sub> dujų žala aplinkai GVP = 1 [22], o kiti darbo agentai yra vertinami pagal kenksmingumą aplinkai lyginant juos su CO<sub>2</sub> dujomis.

Darbo agentas yra šaldymo mišinys, kuriam keičiant slėgį, temperatūrą - vyksta šilumos arba šalčio gamyba. Kiekvienas šaldymo mišinys turi savo parametrus, pagal kuriuos jis dirba. Kadangi rinkoje yra nemažai šaldymo agentų, kurie dar naudojami, teoriškai bus vertinamas 5-ių šaldymo mišinių efektyvus darbas suteikiant, papildomą kompresoriaus darbą.

1. Šaldymo agentas R134a, HFC134a, naudojamas pramonei šaldymo įrangai. [23] literatūros šaltinyje pažymimi šio šaldymo mišinio pavojai. Šis mišinys turi svaiginamąjį poveikį, kuris sukelia gleivinės, odos dirginimą, pažeidžia žmogaus centrinę ir periferinę nervų sistemas, kvėpavimo organus, kepenis, inkstus. Patekus skysčiui ant odos gali įvykti odos audinių nušalimas. Tačiau jis nepasižymi neigiamu poveikiu, vandens gyvūnijai, šaldymo mišinys lakus, organizmai medžiagos nekaupia. Šio šaldymo darbo  $GVP_{CO_2} = 1300$  ( $GVP_{CO_2} = 1$ ), ozono ardymo potencialas (ODP)  $ODP_{R11} = 0,0$ . Šio darbo agento fizikinės savybės yra pateiktos 8 lentelėje.
2. Šaldymo agentas R407C, HFC-407C, naudojamas pramoniniai šaldymo įrangai [24]. Šis mišinys yra labiausiai pavojingas uždaroje patalpose. Žmogui gali sukelti galvos skausmą, silpnumą, pykinimą, gali pažeisti centrinę ir periferinę nervų sistemą, kepenis, inkstus. Tačiau nepasižymi neigiamu poveikiu, vandens gyvūnijai, šaldymo mišinys lakus, organizmai medžiagos nekaupia. Šio šaldymo mišinio  $GVP_{CO_2} = 1653$ ,  $ODP_{R11} = 0,0$ . Fizikinės savybės pateiktos 8 lentelėje.

3. Šaldymo agentas R410A, HFC-410A, naudojamas pramoninei šaldymo įrangai. [25]. Šis šaldymo mišinys yra pavojingas. Didelė mišinio koncentracija žmogui gali sukelti galvos skausmą, dusinimą, pykinimą, užesį ausyse, galūnių drebinimą/ tirpimą. Šio mišinio nuotėkiai kaupiasi patalpų apačiose, todėl dirbant pajutus menkiausią šios medžiagos poveikį reikia nedelsiant pasišalinti iš patalpos. Šio šaldymo mišinio  $GVP_{CO_2} = 1720$ ,  $ODP_{R11} = 0,0$ . Fizikinės savybės pateiktos 8 lentelėje
4. Šaldymo agentas amoniakas – R717. Amoniakas, kaip šaldymo agentas yra labai plačiai naudojamas šaldymo industrinėse, šaldymo produktų transportavimo, komercinėse sistemose. Šio šaldymo agento efektyvumas, palyginti su kitais yra didžiausias, mažiausia virimo taško temperatūra. Taip pat šis darbo agentas yra draugiškas aplinkai  $GVP_{CO_2} = 0,0$ ,  $ODP_{R11} = 0,0$ . Šis šaldymo agentas yra toksiškas ir mažai degus. Šaldymo agento fizikinės savybės pateiktos 8 lentelėje [26].
5. Šaldymo agentas R744 – CO<sub>2</sub> (angliarūgštė). Šis šaldymo mišinys yra draugiškas aplinkai, jo  $ODP_{R11} = 0,0$ ,  $GVP = 1$ . Šis darbo agentas naudojamas oro kondicionavimo sistemose, šaldikliuose, industrinėse sistemose, šaldymo produktų transportavimo ir transporto šaldymo sistemose. Šaldymo agento fizikinės savybės pateiktos 8 lentelėje [27].

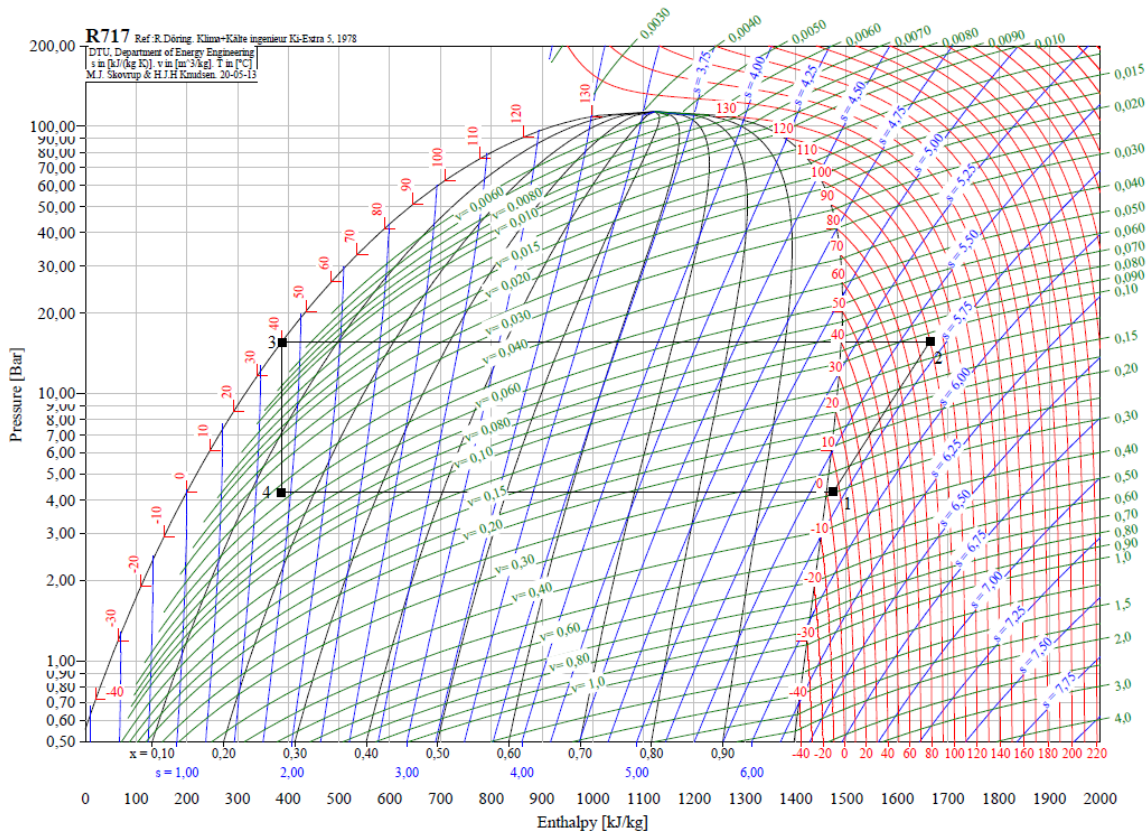
**8lentelė.** Šaldymo agentų fizikinės savybės

	R134a	R407C	R410A	R717	R744
Fizinis būvis	dujos	dujos	dujos	dujos	dujos
Virimo temperatūra, °C	-26,4	-43,9	-48,5	-2,22	-78
Kritinė temperatūra, °C	103,3	86,03	71,36	132,35	31,06
Kritinis slėgis, bar	47	46,3	49,03	113,33	72,8
GVP	1300	1653	1720	0	0
ODP	0	0	0	0	0

Norint įvertinti šaldymo agentų darbo ciklo efektyvumą, buvo naudojama „Cool pack“ programa [28]. Šioje programoje buvo modeliuojami teoriniai šaldymo mišinių termodinaminiai ciklai, kurie turi padėti apsispręsti, kokį darbo agentą naudoti šaldymo sistemai, kad jis galėtų gaminti ir šilumą, ir vėsumą. Kiekvienam darbo agentui buvo braižomas darbo ciklas nurodant kondensacijos temperatūrą (7 lentelė), atsižvelgiant į šaldymo sistemos darbą, kartu su Nemuno upės vandeniu ar grįžtamuoju termofikaciniu vandens srautu. Garavimo temperatūra buvo nurodyta 0 °C, kad būtų neušaldytas vėsinimo sistemos vanduo.

25 pav. pateiktas R717 darbo agento termodinaminis ciklas. Kai garavimo temperatūra yra 0 °C, perkaitinama 5 °C, o kondensacijos temperatūra yra 40 °C, šis ciklas parodo šaldymo sistemos darbą naudojant CŠT sistemos grįžtamąjį vandenį. Šiam vandeniui yra perduodama perteklinė šiluma, surinkta iš vėsinimo sistemos. Pažymėti taškai cikle parodo sistemos procesų darbą:

- 1-2 kompresoriaus atliekama darba;
- 2-3 kondensatoriuje atliekama darba;
- 3-4 droselyje atliktą darba;
- 4-1 garintuve atliktą darba.



25 pav. R717 termodinaminis ciklas, kai  $T_k=40^\circ\text{C}$

Norint žinoti, kokį darbą atliko atitinkamas įrenginys, reikia žinoti kiekvieno taško entalpiją. Naudojant „Cool pack“ programą, tai gana paprasta padaryti. Tam reikia žinoti šaldymo agento parametrus, fazinę būseną kiekviename taške. Pagal šiuos parametrus programa pateiks to taško entalpijas. Taigi iš pradžių randama entalpija prieš kompresorių  $h_1=1473,861$  kJ/kg,  $p_1=4,294$  bar. 2 taškas yra po kompresoriaus šaldymo agento parametrai, jam surasti naudojama energijos balanso lygtis:

$$h_2 - h_1 \cdot \eta_{kompr} = h'_2 - h_1; \quad (6)$$

Čia:

$\eta_{kompr}$ - kompresoriaus efektyvumas, priimamas 0,7;

$h'_2$  – dujų entalpija esant idealiam suslėgimui be nuostolių;

$h'_2$  – randama naudojant „Cool pack“ programą;  $s_1=s'_2=5663,2$  kJ/kg·K, žinodami entropiją  $s'_2$ , galime nustatyti slėgį  $p'_2$ , kuris yra lygus  $p_2=15,549$  bar.

Žinodami slėgį  $p'_2$  galime nustatyti temperatūrą, iki kurios kompresorius pašildo šaldymo agentą  $T'_2=99,224$  °C. Kai žinoma ši temperatūra, galima nustatyti  $h'_2=1663,368$  kJ/kg. Kai jau energijos balanso lygtyje lieka vienas nežinomas, galima surasti tikrąją 2 taško entalpiją:

$$h_2 = \frac{h'_2 - h_1}{\eta_{kompr}} + h_1 = \frac{1663,368 - 1473,861}{0,7} + 1473,861 = 1744,585 \text{ kJ/kg};$$

Suskaičiavus  $h_2$  ir norint suskaičiuoti ciklo šaldymo COP, reikia rasti likusių taškų entalpijas  $h_3$  ir  $h_4$ . Naudojantis programos paketu, randama  $h_3=h_4=386,426$  kJ/kg. Žinant  $h_1, h_2, h_4$ , galima apskaičiuoti šio šaldymo agento šaldymo ciklą:

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{1473,861 - 386,426}{1744,585 - 1473,861} = 4,02.$$

Pagal gautą R717 COP matome, kad sistemos šaldymo ciklo darbas, kuomet sistema dirbs kartu su CŠT grįžtamojo termofikacinio vandens srautu, yra geras,  $COP > 3,5$ , tai standartiškai yra pateikiama šaldymo įrenginių kataloguose [29;30]. Iš 24 pav. pavaizduoto termodinaminio ciklo galima surasti kiekvieno komponento savitąjį našumą.

Garintuvo savitasis našumas:

$$q_G = h_1 - h_4; \quad (7)$$

$$q_G = h_1 - h_4 = 1473,861 - 386,426 = 1087,435 \text{ kJ/kg.}$$

Kondensatoriaus savitasis našumas:

$$q_K = h_2 - h_3; \quad (8)$$

$$q_K = h_2 - h_3 = 1744,585 - 386,426 = 1358,159 \text{ kJ/kg.}$$

Kompresoriaus našumas, suslegiant darbo agentą:

$$l_{kompr} = h_2 - h_1; \quad (9)$$

$$l_{kompr} = h_2 - h_1 = 1744,585 - 1473,861 = 270,724 \text{ kJ/kg.}$$

Kadangi yra suskaičiuotas viso šio ciklo kiekvieno elemento energetinis našumas, galima suskaičiuoti, kokios bus realaus šaldymo įrenginio, kurio galia pagal gautą komercinį pasiūlymą yra  $Q_G = 1804 \text{ kW}$ , energijos sąnaudos. Pagal žinomą šaldymo galią suskaičiuojamas šaldymo mišinio debitas sistemoje:

$$g_{R717} = \frac{Q_G}{q_G}; \quad (10)$$

$$g_{R717} = \frac{Q_G}{q_G} = \frac{1804}{1744,585} = 1,66 \text{ kg/s;}$$

Žinant šaldymo agento debitą, galima suskaičiuoti kokios galios bus kompresorius:

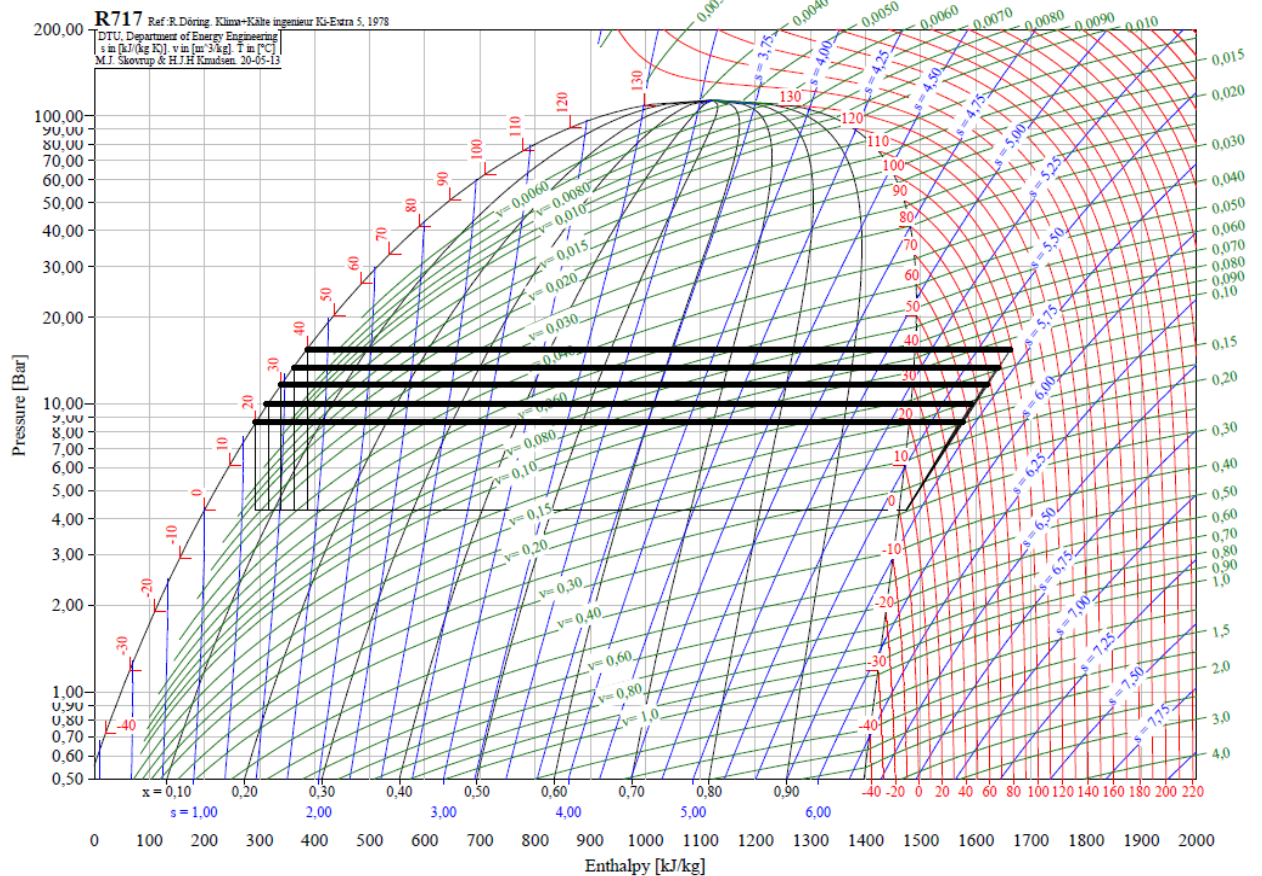
$$N_{kompr} = l_{kompr} \cdot g_{R717}; \quad (11)$$

$$N_{kompr} = l_{kompr} \cdot g_{R717} = 270,724 \cdot 1,66 = 449,12 \text{ kW;}$$

Norint pagaminti 1804 kW šalčio su šiuo darbo agentu ir šia kondensacijos temperatūra reikia 449,12 kW galios kompresoriaus, kuris suslėgtų darbo agentą ir pakeltų jo temperatūrą. Šio šaldymo ciklo naudingo veikimo koeficientas suskaičiuojamas 12 formulėje, jis gaunasi toks pat kaip ir termodinaminio ciklo COP.

$$COP = \frac{Q_G}{N_{kompr}} = \frac{1804}{449,12} = 4,02; \quad (12)$$

Kadangi yra galimybė šaldymo sistemoje išnaudoti vėsaus vandens potencialą, tokiu pačiu metodu yra nagrinėjami dar 4 modeliai su kitomis kondensacijos temperatūromis. Visus 5 termodinaminius ciklus galima matyti 26 pav.



**26 pav.** R717 termodinaminiai ciklai, kai keičiasi  $T_k$

Paryškintos linijos P-h diagramoje rodo skirtingas kondensacijos temperatūras. Iš diagramos labai aiškiai yra matoma, kad mažėjant kondensacijos temperatūrai, mažėja kompresoriuje atliekamas suslėgimo darbas, o tai reiškia, jog mažiau papildomos energijos reikia šaldymo mišiniui suslėgti ir temperatūrai pakelti, kad perteklinė šiluma būtų perduota į aplinką. Šių šaldymo ciklų gauti parametrai pateikti 9 lentelėje. Taip pat yra nagrinėjami ir kiti 4 šaldymo agentai, nurodant tokias pačias virimo, perkaitinimo, kondensacijos temperatūras; šių darbo agentų termodinaminiai ciklai yra pateikti 3 priede, o gautos skaitinės reikšmės yra pateiktos 9 lentelėje.

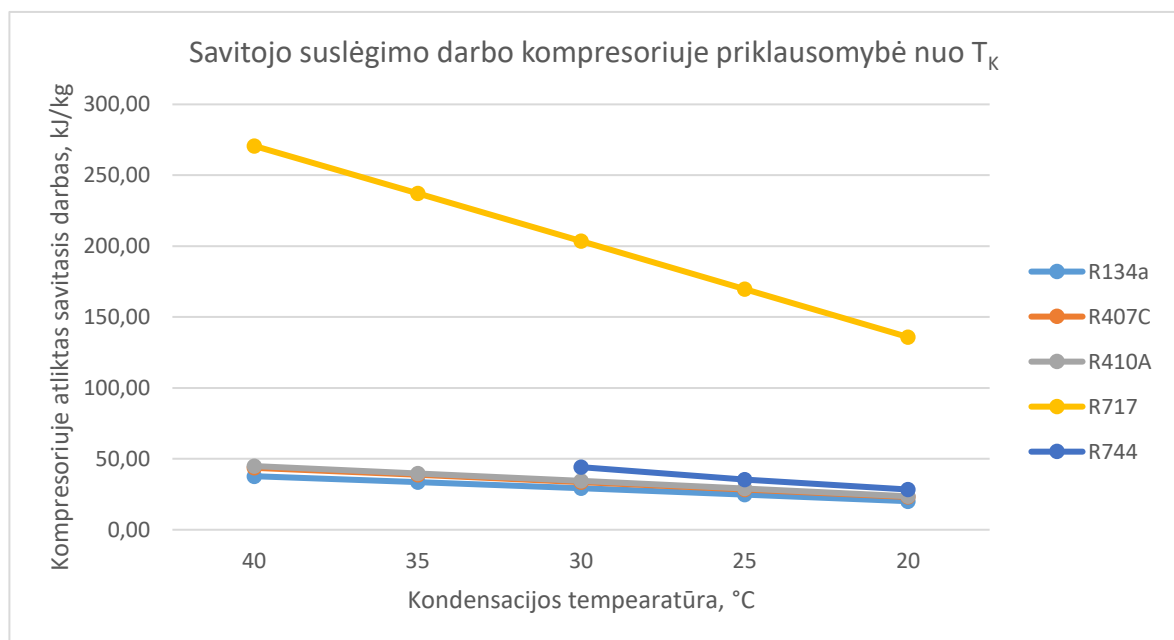
**9 lentelė.** Šaldymo agentų parametrai, keičiantis kondensacijos temperatūrai.

<b>R134a</b>					
$T_k, ^\circ\text{C}$	40	35	30	25	20
$T_g, ^\circ\text{C}$	0	0	0	0	0
$T_{\text{perk}}, ^\circ\text{C}$	5	5	5	5	5
$h_1, \text{kJ/kg}$	401,791	401,791	401,791	401,791	401,791
$p_1, \text{bar}$	2,928	2,928	2,928	2,928	2,928
$s_1=s_2, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	1738,6	1738,6	1738,6	1738,6	1738,6
$p'_2=p_2$	10,164	8,868	7,701	6,653	5,716
$T'_2, ^\circ\text{C}$	48,611	43,365	38,084	32,757	27,37
$h'_2, \text{kJ/kg}$	428,217	425,292	422,262	419,125	415,88
$h_3=h_4, \text{kJ/kg}$	256,16	248,748	241,463	234,294	227,235
$h_2, \text{kJ/kg}$	439,5424	435,3639	431,0353	426,5539	421,9181
<b>COP<sub>šald</sub></b>	3,86	4,56	5,48	6,76	8,67
$q_G, \text{kJ/kg}$	145,63	153,04	160,33	167,50	174,56
$l_{\text{km}}, \text{kJ/kg}$	37,75	33,57	29,24	24,76	20,13
$q_k, \text{kJ/kg}$	183,38	186,62	189,57	192,26	194,68

$Q_G$ , kW	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00
$g$ , kg/s	12,39	11,79	11,25	10,77	10,33
$N$ , kW	467,64	395,74	329,05	266,70	208,01
R407C					
$T_k$ , °C	40	35	30	25	20
$T_g$ , °C	0	0	0	0	0
$T_{perk}$ , °C	5	5	5	5	5
$h_1$ , kJ/kg	417,61	417,61	417,61	417,61	417,61
$p_1$ , bar	4,52	4,52	4,52	4,52	4,52
$s_1=s_2$ , kJ/kg·K	1807	1807	1807	1807	1807
$p'_2=p_2$	15,171	13,27	11,557	10,018	8,642
$T'_2$ , °C	55,492	49,278	43,059	36,82	30,548
$h'_2$ , kJ/kg	448,157	444,726	441,187	437,54	433,781
$h_3=h_4$ , kJ/kg	254,228	245,363	236,804	228,514	220,464
$h_2$ , kJ/kg	461,2486	456,3471	451,2914	446,0814	440,7114
<b>COP<sub>sald</sub></b>	3,74	4,45	5,37	6,64	8,53
$q_G$ , kJ/kg	163,38	172,25	180,81	189,10	197,15
$l_{km}$ , kJ/kg	43,64	38,74	33,68	28,47	23,10
$q_k$ , kJ/kg	207,02	210,98	214,49	217,57	220,25
$Q_G$ , kW	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00
$g$ , kg/s	11,04	10,47	9,98	9,54	9,15
$N$ , kW	481,84	405,71	336,06	271,62	211,39
R410A					
$T_k$ , °C	40	35	30	25	20
$T_g$ , °C	0	0	0	0	0
$T_{perk}$ , °C	5	5	5	5	5
$h_1$ , kJ/kg	429,003	429,003	429,003	429,003	429,003
$p_1$ , bar	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986
$s_1=s_2$ , kJ/kg·K	1838,5	1838,5	1838,5	1838,5	1838,5
$p'_2=p_2$	23,981	21,214	18,698	16,415	14,35
$T'_2$ , °C	63,942	56,656	49,355	42,039	34,703
$h'_2$ , kJ/kg	460,434	456,846	453,167	449,391	445,518
$h_3=h_4$ , kJ/kg	270,019	259,941	250,356	241,184	232,365
$h_2$ , kJ/kg	473,9044	468,7787	463,523	458,1287	452,5959
<b>COP<sub>sald</sub></b>	4,54073	5,25	6,18	7,45	9,33
$q_G$ , kJ/kg	158,98	169,06	178,65	187,82	196,64
$l_{km}$ , kJ/kg	44,90	39,78	34,52	29,13	23,59
$q_k$ , kJ/kg	203,89	208,84	213,17	216,94	220,23
$Q_G$ , kW	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00
$g$ , kg/s	11,35	10,67	10,10	9,60	9,17
$N$ , kW	509,50	424,43	348,59	279,75	216,45
R717					
$T_k$ , °C	40	35	30	25	20
$T_g$ , °C	0	0	0	0	0
$T_{perk}$ , °C	5	5	5	5	5
$h_1$ , kJ/kg	1473,861	1473,861	1473,861	1473,861	1473,861
$p_1$ , bar	4,294	4,294	4,294	4,294	4,294
$s_1=s_2$ , kJ/kg·K	5663,2	5663,2	5663,2	5663,2	5663,2
$p'_2=p_2$	15,549	13,504	11,669	10,031	8,574
$T'_2$ , °C	99,224	87,671	76,035	64,326	52,549
$h'_2$ , kJ/kg	1663,368	1639,907	1616,349	1592,708	1568,998
$h_3=h_4$ , kJ/kg	386,426	362,58	339,037	315,538	292,188
$h_2$ , kJ/kg	1744,585	1711,07	1677,415	1643,642	1609,771
<b>COP<sub>sald</sub></b>	5,02	5,68	6,58	7,82	9,69
$q_G$ , kJ/kg	1087,44	1111,28	1134,82	1158,32	1181,67

$l_{km}$ , kJ/kg	270,72	237,21	203,55	169,78	135,91
$q_k$ , kJ/kg	1358,16	1348,49	1338,38	1328,10	1317,58
$Q_G$ , kW	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00	1804,00
$g$ , kg/s	1,66	1,62	1,59	1,56	1,53
$N$ , kW	449,12	385,07	323,58	264,42	207,49
R744 (CO <sub>2</sub> )					
$T_k$ , °C			31	25	20
$T_g$ , °C			0	0	0
$T_{perk}$ , °C			5	5	5
$h_1$ , kJ/kg			439,359	439,359	439,359
$p_1$ , bar			34,857	34,857	34,857
$s_1=s_2$ , kJ/kg·K			1876	1876	1876
$p'_2=p_2$			73,733	64,274	57,242
$T'_2$ , °C			62,528	51,38	42,177
$h'_2$ , kJ/kg			470,255	464,188	459,219
$h_3=h_4$ , kJ/kg			325,746	274,555	255,529
$h_2$ , kJ/kg			483,4961	474,829	467,7304
<b>COP<sub>sald</sub></b>			3,57	5,65	7,48
$q_G$ , kJ/kg			113,61	164,80	183,83
$l_{km}$ , kJ/kg			44,14	35,47	28,37
$q_k$ , kJ/kg			157,75	200,27	212,20
$Q_G$ , kW			1804,00	1804,00	1804,00
$g$ , kg/s			15,88	10,95	9,81
$N$ , kW			700,83	388,27	278,42

Gauti rezultatai aiškiai rodo šių šaldymo mišinių specifinę energiją. Daugiausiai specifinės energijos turi R717 šaldymo agentas, tai matosi, kai kondensacijos temperatūra yra 40 °C. Šis šaldymo agentas savyje turi daugiau specifinės energijos nei kiti šaldymo agentai (27 pav.).

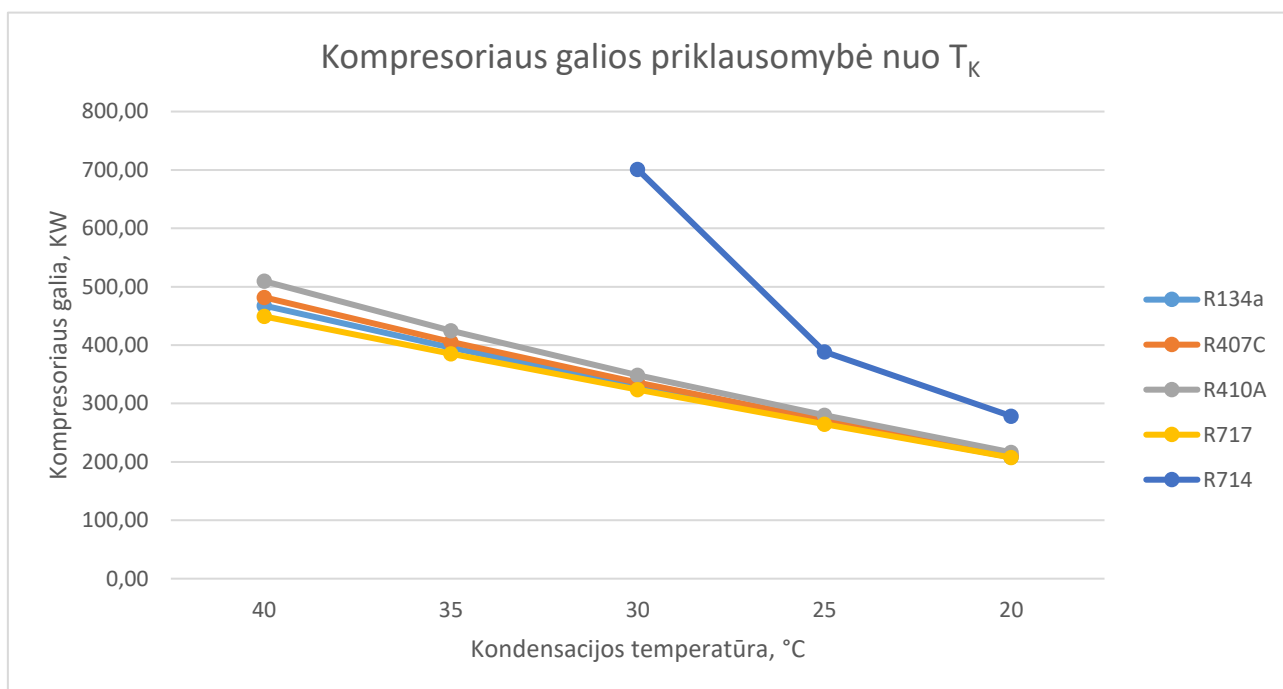


27 pav. Savitojo kompresoriaus suslėgimo darbo priklausomybė nuo  $T_k$

Kompresoriuje atliktas savitasis suslėgimas – tai pačio šaldymo agento specifinė energija; kuo ji yra didesnė, tuo mažiau papildomos energijos šaldymo ciklui reikia suteikti. 28 pav. parodyta, kad R717 šaldymo agentui reikia mažiausiai papildomos energijos iš aplinkos, palyginti su kitais šaldymo agentais. Taip pat reikia pastebėti, jog R744 šaldymo agentas iš viso negali dirbti esant aukštesnei nei

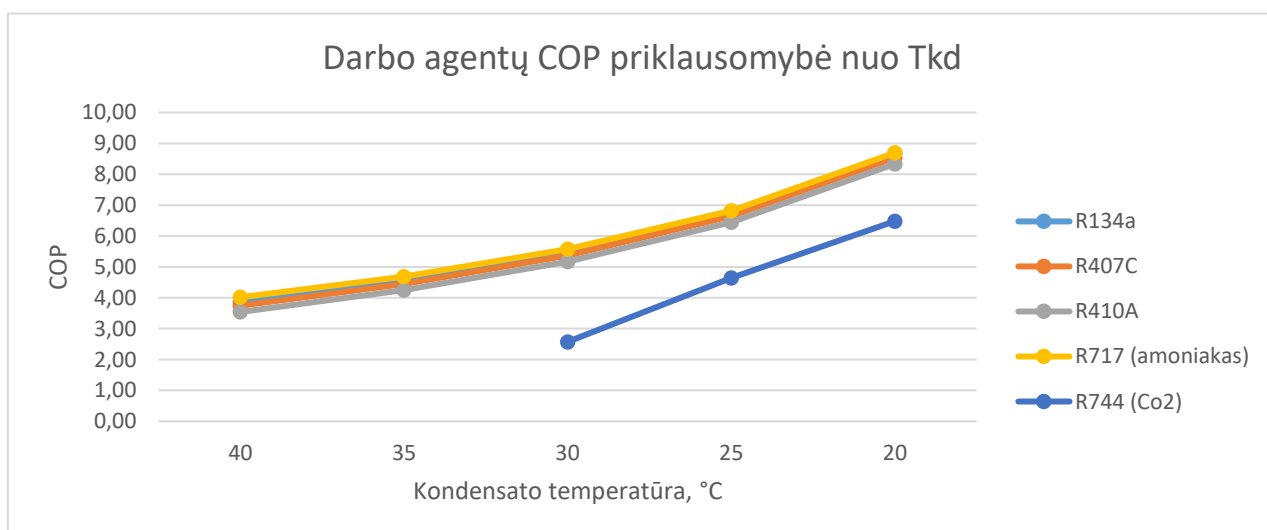


31 °C kondensacijos temperatūrai, jis viršija savo kritinę temperatūrą ir daugiau kompresorius nebegali slėgti šio šaldymo agento.



28 pav. Kompresoriaus galios priklausomybė nuo kondensacijos temperatūros

Kuo daugiau kompresorius suvartoja papildomos energijos darbo agento temperatūrai pakelti, tuo mažesnis visos sistemos naudingo veiksmo koeficientas. 29 pav. matoma kiekvieno darbo agento COP. Mažiausiai skiriasi R134, R407C, R410A ir R717 darbo agentų naudingo veiksmo koeficientas, tačiau labiausiai nuo visų atsilieka R744 šaldymo agentas. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad efektyviausias darbo agentas yra R717, po to – R134 ir R410A, trečioje vietoje – R404C, o paskutinis yra R744. Atliekant ekonominius skaičiavimus, didžiausią įtaką turi sistemos COP, nes kuo efektyviau bus išnaudojama šaldymo agentų specifinė šiluma, keičiant kondensacijos temperatūras, tuo mažiau reikės papildomos energijos, už kurią reikia mokėti, tuo greitesnis bus sistemos atsipirkimo laikotarpis. Todėl atsižvelgiant į gautus rezultatus, bus pasirinkta šaldymo sistema su R717 darbo agentu.

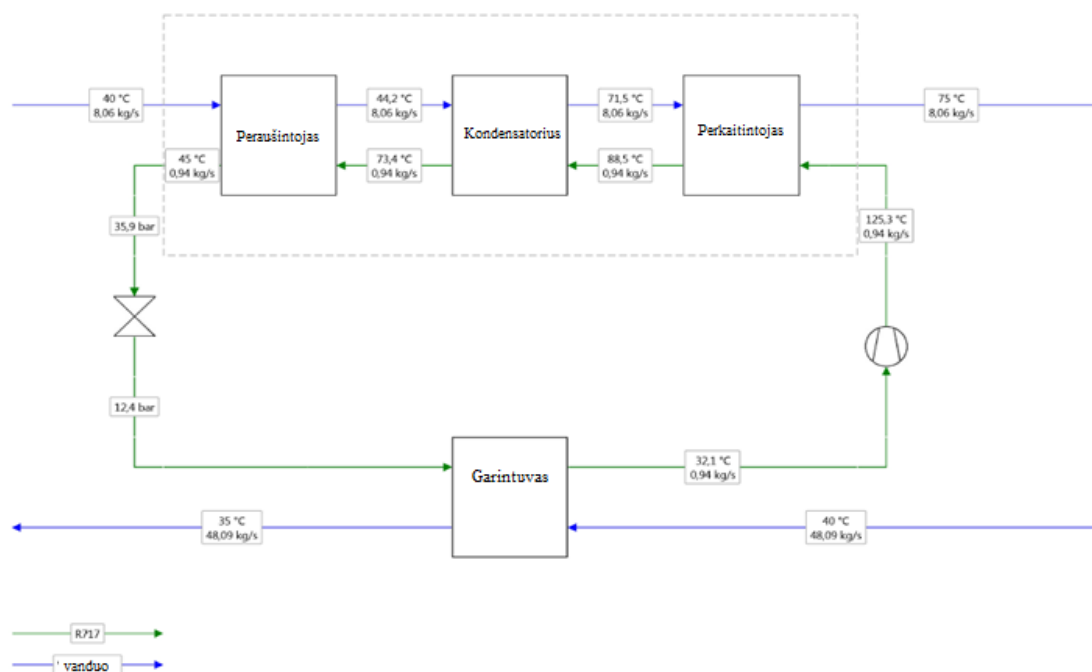


29 pav. Darbo agentų COP priklausomybė nuo kondensacijos temperatūros



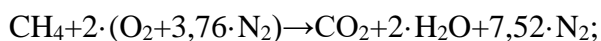
### 3.2. Kompresorinio šilumos siurblio ekologinė nauda šildymo sezono metu

Kadangi kompresorinis šaldymo įrenginys, tai šilumos siurblys, kuris sugeba gaminti vėsumos ir šilumos energijas, tai jį galima naudoti ir šildymo sezono metu. Būtent šildymo sezono metu, kada atsiranda momentiniai šilumos poreikių padidėjimai, mieste yra naudojami dujiniai katilai šiems šilumos momentiniams poreikiams patenkinti. Tačiau tokie vandens šildymo katilai gamindami šilumos energiją naudoja gamtines dujas, kurias deginant į aplinką išmetamos CO<sub>2</sub> dujos. Kad sumažinti dujų sąnaudas ir išmetamųjų nuodingųjų CO<sub>2</sub> dujų kiekį į aplinką, galima naudoti šilumos siurblius. 30 pav. pateikta darbo schema, kaip šie šilumos siurbLIAI būtų sujungti su CŠT sistema ir gamintų karštą vandenį. Matoma, kad vieno kondensatoriaus neužtenka, nes tada jo matmenys būtų dideli ir atsirastų dideli slėgio nuostoliai per šilumokaitį. Norint išvengti didelių slėgio nuostolių per šilumokaitį yra naudojami 3 mažesni šilumokaičiai, kiekvienas iš jų atlieka savo funkciją, tam kad pagerintų sistemos COP. 1 šilumokaitis (perkaitintojas) – pašildo jau išeinantį iš šilumos siurblio termofikacinį vandenį, 2 šilumokaitis (kondensatorius) – jame vyksta pagrindiniai šilumos mainai tarp vandens ir cheminio mišinio, 3 šilumokaitis (peraušintojas) – maskimaliai sumažina sistemos darbo agento temperatūrą ir pakelia grįžtamojo termofikacinio srauto temperatūrą prieš kondensatorių. Šios sistemos šilumos galia yra 1180 kW, galios pokytį gali įtakoti aukštos kondensacijos temperatūros užsidavimas, o sistemos COP=6,7. Turint šiuos duomenis galima suskaičiuoti, kiek šie šilumos siurbLIAI sugebės sumažinti išmetamųjų CO<sub>2</sub> dujų kiekį į aplinką.



30 pav. Šiluminė schema, dirbant šildymo sezono metu

Išmetamųjų dalelių mažinimas buvo skaičiuojamas 3-im šilumos siurbLIAIS, atsižvelgiant tik į esamą Nemuno salos vėsumos vartotojo galios tenkinimą, 3-imis šaldymo agregatais. Kauno mieste šildymo sezonas trunka 180 d., pagal 2019-2020 m. šildymo sezono metu naudotų dujinių katilų galios poreikį (3 informacijos šaltinis), priimta, kad šilumos siurblio galios išnaudojimas, šilumos energijos gamybai šildymo sezono metu bus 5 %. Taigi, šildymo sezono metu šilumos siurbLIAI pagamins 764,64 MWh šilumos, kurią galima bus tiekti šilumos vartotojams. Tai nėra didelis šilumos kiekis miesto atžvilgiu, tačiau tai yra naudinga dėl, palyginus, mažo išmetamųjų CO<sub>2</sub> kiekio. Gamtinės dujos, tai metanas CH<sub>4</sub>, kurio degimo reakcija:



Oro pertekliaus koeficientas šiuo atveju yra nevertinamas. Žinome, kad sudeginę 1 m<sup>3</sup> gamtinių dujų, gauname 1m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>, kurio masę perskaičiuojama pagal Klapeirono lygtį:

$$pV = mRT; \tag{13}$$

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T};$$

Čia:

p- atmosferinis slėgis 100000 Pa;

V – dujų tūris, 1m<sup>3</sup>

R – CO<sub>2</sub> dujų konstanta, randama 14 formulėje;

T – aplinkos temperatūra, 0°C arba 273,15 K;

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{R}{M} = \frac{8314}{44} = 188,95 \text{ J/mol};$$

$$m = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{100000 \cdot 1}{188,95 \cdot 273,15} = 1,94 \text{ kg};$$

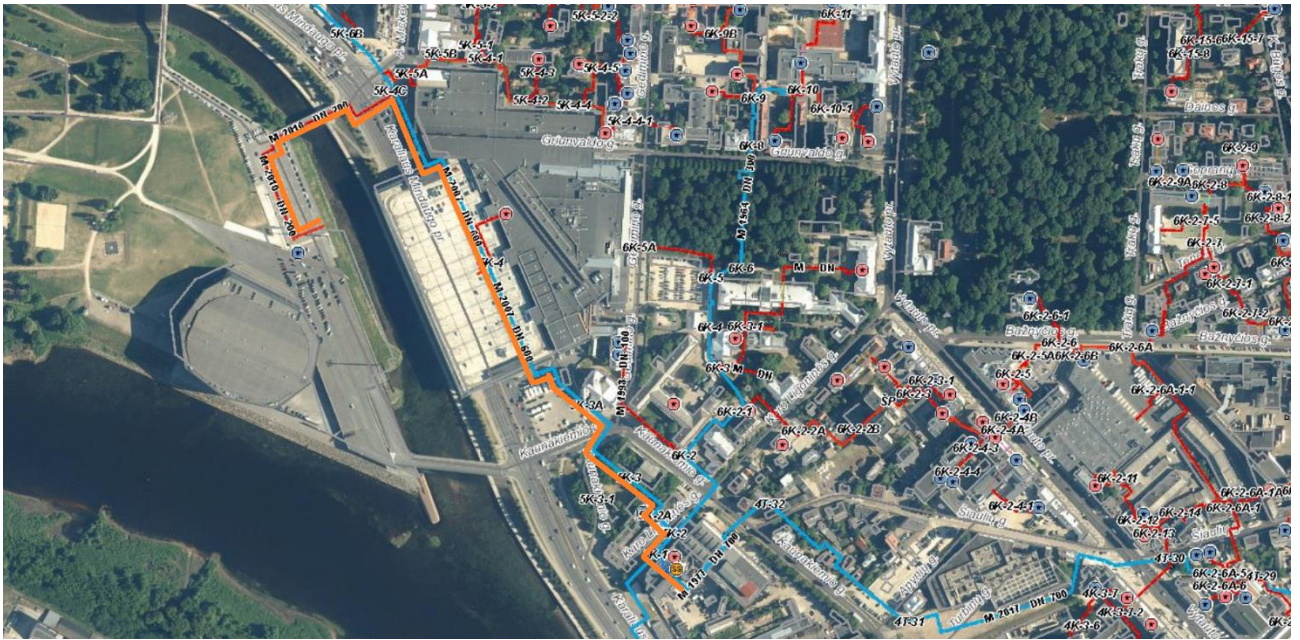
Taigi, pagal gautus skaičiavimus ir žinant, kad sudeginus 1 m<sup>3</sup> gamtinių dujų gaunama 10,4 kWh šilumos pagal viršutinį šilumingumą, o į aplinką patenka 1,94 kg CO<sub>2</sub>. Jeigu su šilumos siurbliu yra pagaminama 764,64 MWh šilumos energijos, tai reiškia, kad į aplinką yra neišmetama 135667,5 kg CO<sub>2</sub> dalelių.

Tačiau elektros energija, kurią naudoja šilumos siurblys, yra gaminama šiluminėse elektrinėse, kurios degina apie 60 % iškastinio kuro ir 40 % atsinaujinančių energijos šaltinių. Šilumos siurblys pagamindamas 764,64 MW šilumos energijos sunaudoja 114125,4 kWh elektros energijos. Jei elektros gamyboje yra naudojama 60 % gamtinių dujų, tai pagaminti reikiama kiekiui elektros, kad dirbtų šilumos siurblys, yra sudeginama 16460,39 m<sup>3</sup> gamtinių dujų, kai elektrinės naudingumo koeficientas yra 40 %. Taigi gaminant reikiamą elektros energijos kiekį šilumos siurbliui į aplinką yra išmetama 31891,99 kg CO<sub>2</sub>.

Šiuo atveju šilumos siurblys papildomai sutaupo gamtinių dujų kiekį, kuris bus sunaudojamas dengiant miesto momentinius šilumos poreikius ir taip pat sumažinamas CO<sub>2</sub> išmetamųjų dalelių kiekis į aplinką, kuris sieks 103,8 t.

### 3.3. Centralizuoto vėsumos tiekimo tinklas

Centralizuotas vėsumos tiekimas – tai vamzdynų, išvedžiotų po miestą, sistema, kuria yra tiekama energija vartotojams. Kadangi Kauno mieste nėra nutiestos CVT sistemos, todėl reikia įvertinti, kokio diametro vamzdžių reikės, kaip reikės tiesti naują vamzdyną, kurio ilgis bus 2600 m iki vartotojų ir atgal iki vėsumos generavimo įrenginių. 29 pav. parodytas Kauno miesto CŠT vamzdyno išdėstymas. Laikantis 5K magistralės vamzdyno ir išsišakojimo iki Nemuno salos šilumos vartotojo, bus tiesiama lygiagrečiai centralizuotos vėsumos vamzdynas, tiekiamo ir grįžtamo vandens vamzdžiai. Naujas vamzdynas (29 pav.) yra pavaizduotas oranžine spalva. Toks vamzdyno tiesimo kelias pasirinktas specialiai, nes poreikiui esant, galima būtų prie CVT sistemos prijungti prekybos ir pramogų centrą „Akropolis“, o nutiesus toliau, galima prijungti naujus verslo centrus. Vamzdyno išsišakojimas pačioje saloje sudarys patogesnes sąlygas būsimiems vartotojams prijungti.



31 pav. CVT sistemos vamzdyno tiesimo kelias

### 3.3.1. Centralizuoto vėsamos vamzdyno charakteristikos

Kadangi vėsaus vandens srautai yra didesni negu karšto vandens, tai ir vamzdynų diametrai skirsis, reikia apskaičiuoti vamzdyno, kurį reikės nutiesti iki vartotojo, diametrą. Vėsamos poreikiai yra žinomi (5 lentelė). Yra numatyti tik šie vėsamos vartotojai, todėl reikės suskaičiuoti 2 galimus vamzdynų diametrų variantus.

1. Kai vėsamos vartotojas yra tik „Žalgirio“ arena, vėsamos poreikis yra 5,2 MW, iš šios galios galima išskaičiuoti vėsaus vandens masės debitą  $G_1=248,4$  kg/s. Sakykime, kad vandens tekėjimo greitis vamzdyje yra  $v_1=2$  m/s. Žinodami šiuos parametrus, suskaičiuojame, kokio diametro vamzdžiai bus reikalingi vėsiam vandeniui vartotojui tiekti:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_1}}; \quad (13)$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 248,4}{\pi \cdot 999,74 \cdot 2}} = 0,397 \text{ m};$$

Pasirenkame DN400 vamzdyną iki „Žalgirio“ arenas tiesiti, tada tikrąjį vamzdyno diametrą [31]  $d_1=406,4$  mm ir suskaičiuojame tikrąjį vėsaus vandens judėjimo greitį iki vartotojo:

$$v_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot d_1^2}; \quad (14)$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot 248,4}{\pi \cdot 999,74 \cdot 0,4064^2} = 1,92 \text{ m/s}.$$

Gauti rezultatai pateikiami 11 lentelėje.

2. Vėsamos vartotojai – „Žalgirio“ arena, arenas baseinų kompleksas, Mokslo ir inovacijų sklaidos centras. Šių Nemuno salos objektų vėsamos poreikis piko metu būna 7,526 MW, iš šios galios poreikio suskaičiuojamas vėsaus vandens masės debitas  $G_2=359,7$  kg/s. Sakykime, kad vandens tekėjimo greitis yra  $v_2=2$  m/s. Turėdami šiuos parametrus, nustatome, kokio diametro vamzdžiai bus reikalingi vėsiam vandeniui iki vartotojo tiekti:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot v_2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 359,7}{\pi \cdot 999,74 \cdot 2}} = 0,479 \text{ m};$$

Pagal gautą diametrą pasirenkamas DN500 vamzdynas. Tikrasis vamzdymo diametras pasirenkamas iš [31]  $d_2=508$  mm. Turėdami tikrąjį vamzdymo diametrą, suskaičiuojame tikrąjį vėsaus vandens srauto tekėjimo greitį iki vartotojų:

$$v_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\pi \cdot \rho_{H_2O} \cdot d_2^2} = \frac{4 \cdot 359,7}{\pi \cdot 999,74 \cdot 0,508^2} = 1,77 \text{ m/s.}$$

Gauti rezultatai, pateikiami 11 lentelėje.

Žinodami vamzdinių diametrus ir ilgį, skaičiuojame šilumos nuostolius šioje vėsamos trasoje. Ši CVT sistema bus klojama bekanaliniu būdu, šilumos nuostoliai šiai sistemai didelės reikšmės neturės, nes tiekiamo vėsaus vandens temperatūra yra 5 °C, o grįžtamojo iš vartotojų ~13 °C, kai grunto skaičiuojamoji temperatūra yra 5 °C. Gauti vėsamos nuostoliai vamzdyne yra pateikti 11 lentelėje, grunto koeficientai, reikalingi skaičiavimams, pateikti 10 lentelėje [32]. Rezultatai parodo, kad šilumos nuostoliai yra tik grįžtamojo srauto į šaldymo įrenginius vamzdyne. Galima teigti, kad nuostoliai nėra patiriami, nes grįžtamasis srautas yra atvėsinamas, todėl kompresorinio šaldymo įrenginio darbas yra palengvinamas. Jei surinkta šiluma yra atiduodama į aplinką, o įrenginys dirba pirmuoju darbo režimu, šiluma yra gražinama į CŠT grįžtamojo srauto vandenį  $T_K=40$  °C ir įrenginio COP=4,02, tai yra sutaupoma 28,93 MWh elektros energijos.

**10 lentelė.** Grunto koeficientai reikalingi skaičiuojant šilumos nuostolius

Grunto tipas	Grunto šilumos laidumo koeficientas W/(m·K)	Vamzdžių izoliacijos šilumos laidumo koeficientas W/(m·K)	Grunto temperatūra, °C	Atstumas nuo vamzdžio paviršiaus iki grunto viršaus, m
Priemolis	1,75	0,027	5	1,5

**11 lentelė.** CVT sistemos charakteristikos

Vėsamos vartotojų poreikis	MW	5,2	7,53
CVT sistemos vamzdymo diametras	mm	400	500
Vėsaus srauto tekėjimo greitis,	m/s	1,92	1,77
Priimtas izoliacijos storis	mm	20	20
Izoliacijos sluoksnio skersmuo	mm	446,4	548
Izoliuoto vamzdžio skersmuo	mm	457,6	559,2
Atstumas tarp vamzdžių ašių, m	m	0,7076	0,8092
Šilumos nuostoliai, W/m	Tiekimo vamzdis	0	0
	Gražinimo vamzdis	10,1	12,3
Šilumos nuostoliai, vėsavimo sezono metu	MWh	116,3	135

### 3.3.2. Centralizuoto vėsamos vamzdymo paklojimo kaštai

Vamzdynas bus tiesiamas be kanaliniu būdu. Reikia įvertinti kiek Kauno mieste šios sistemos nutiesimas kainuos. Vamzdynas bus tiesiamas, kaip parodyta 31 pav., šalia CŠT 5K magistralės. Didžiausia kliūtis klojant vamzdyną bus atkarpa po prekybos ir pramogų centro automobilių stovėjimo aikštelyje, nes bus ribojamas technikos aukštis, todėl reikės kloti po nedidelę atkarpa, kad sugebėtų mažesnių gabaritų technika pakloti vamzdyną. Vamzdinių klojimo darbai priklauso nuo 3 faktorių:

1. vamzdžių diametro;
2. vamzdžių izoliacijos storio;
3. gerbuvio, kurį reikės atsatyti po darbų.

Šių faktorių kainos yra įvardintos [41] literatūros šaltinyje.

Priimtas CVT sistemos trasos ilgis iki „Žalgirio“ arenos yra 1300 m, tai tiesiant tiekiamo ir grįžtamo vandens srautų vamzdynus, bus paklota 2600 m, o iki mokslo ir inovacijų centro bus reikalinga 400 m vamzdyno atšaka. Gauti rezultatai kiek kainuos pakloti vamzdynus pagal skirtingus vartotojų vėsimo poreikius yra pateikti 12 lentelėje.

**12lentelė.** CVT sistemos vamzdyno paklojimo kainos

Vėsumos vartotojų poreikis	MW	5,2	7,53
CVT vamzdyno diametras	mm	400	500
CVT vamzdyno ilgis	m	2600	3000
Vamzdžių kaina	Eur	537 602	1 677 060
Paklojimo darbų kaina	Eur	3 177 200	4 752 000
<b>Suma</b>	<b>Eur</b>	<b>3 714 802</b>	<b>6 429 060</b>

Pagal gautus rezultatus yra matoma, kad vamzdynų kainos skiriasi beveik dvigubai. Vien dėl to, kad būtų reikalingi skirtingų diametrų vamzdynai. Todėl prieš pradėdant tiesti CVT sistemos vamzdyną, reikia nustatyti, kiek vartotojų naudosis šia sistema ir kokį vėsimo poreikį reikės tenkinti šaldymo įrenginiams. Pusę investicinės sumos sudarys vamzdyno klojimo darbai, o nauji vamzdynai turės dirbti ne mažiau 30 metų, be didelių gedimų.

#### 4. Ekonominis centralizuotos vėsinimo sistemos vertinimas

Darbe nagrinėjamos dvi šaldymo sistemos – absorbcinė ir kompresorinė. Pagrindinis šių sistemų darbas yra gaminti šaltį, kuris bus tiekiamas vartotojams vamzdynais nuo vėsumos generavimo vietos iki vartotojų. Nepaisant techninių kliūčių, trukdančių naudoti absorbcines šaldymo mašinas, absorbcinės ir kompresorinės šaldymo sistemos bus įvertintos ir palygintos ekonomiškai.

##### 4.1. Ekonominė absorbcinės šaldymo sistemos analizė

Išanalizavus [34,34,35] literatūros šaltinius buvo priimta absorbcinės šaldymo sistemos kW kaina – 700 Eur/kW. Remiantis dviem galios poreikio scenarijais, bus reikalingas skirtingas šaldymo agregatų kiekis. Bus vertinami du Ašį tipai: šaldymo įrenginiai su didesniu COP=0,83, kurių projektuojamos varomosios energijos temperatūra 95 °C ir šaldymo įrenginiai su mažesniu COP=0,41, kurių varomosios energijos temperatūra 70 °C. Galima tikėtis ~30% paramos iš Europos Sąjungos fondo atsinaujinantiems energijos šaltiniams / įrenginiams diegti, centralizuoto energijos tiekimo vystymui, bet bus skaičiuojama be ES paramos, kad galima būtų matyti realią situaciją, ar verta imti paskolą iš banko ir įrengti CVT sistemą savo lėšomis. Taigi 13 lentelėje pateikti suskaičiuoti ekonominiai rodikliai, atitinkamai pagal vartotojų vėsumos poreikį ir įrenginių naudingo veikimo koeficientą.

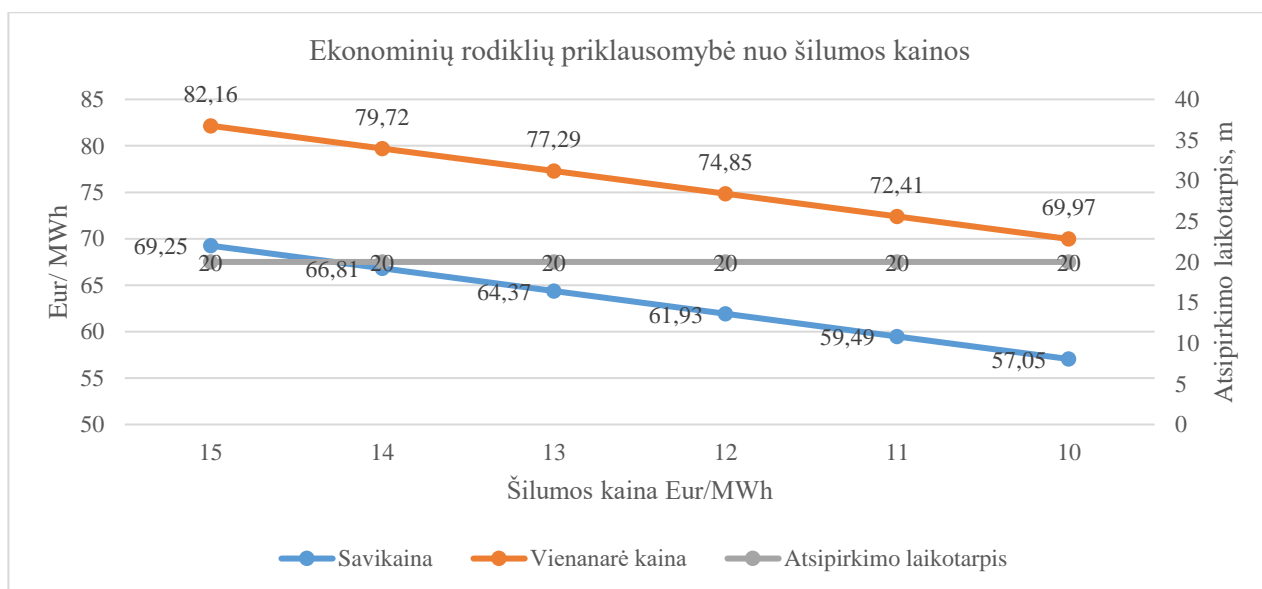
Sakykime, kad įrenginių galia bus išnaudojama 65 %, todėl maksimaliu režimu vėsinimo sezoną 4440 val. jie nedirbs. Banko paskola imama 25 metams su 6 % palūkanomis. Vėsinimo įrenginių eksploatacinės sąnaudos per metus sudaro 3 %.Varomosios šilumos energijos kaina pagal [36] literatūros šaltinį ne šildymo sezono metu, bus 15 Eur/MWh, bet dėl nepriklausomų šilumos gamintojų konkurencijos Kauno mieste yra tendencija, kad šilumos kaina mažės.. Dėl kintančios šilumos kainos bus galimybė sugeneruoti daugiau pelno, nes kintamieji kaštai bus mažesni. Absorbcinio šaldymo įrenginio elektros sąnaudos [37] priimamos 1,125 % nuo pagamintos vėsumos garintuve.

**13 lentelė.** Absorbcinio šaldymo įrenginio ekonominiai rodikliai

Šilumos gamybos įrenginys	Žalgirio arenos poreikis		Visų objektų poreikis	
Galía, MW	3,38	3,38	4,89	4,89
Investicijos, Eur/MWh	1911538,46	1146923,08	1849056,60	1056603,77
Investicijos iš viso, Eur	6461000,00	3876600,00	9045400,00	5168800,00
Eksploatacijos sąnaudos per metus (3%), Eur/m	193830,00	116298,00	271362,00	155064,00
Paskola, metai	25,00	25,00	25,00	25,00
Palūkanos, %	6,00	6,00	6,00	6,00
Pagamintas vėsumos kiekis, MWh	15007,20	15007,20	21720,04	21720,04
Darbo laikas, h	4440,00	4440,00	4440,00	4440,00
Šilumos siurblio naudingumo koeficientas	0,83	0,41	0,83	0,41
Šilumos kiekis, reikalingas generatoriui, MWh	18011,98	36602,93	26168,72	52975,70
Pastovieji kaštai, Eur/m	816670,40	490002,24	1143338,56	653336,32
Kintamieji kaštai, Eur/m	270348,60	549212,73	392775,12	794879,81
Savikaina, Eur/MWh	72,43	69,25	70,72	66,68
Šilumos kaina, Eur/MWh	15,00	15,00	15,00	15,00
Nusidėvėjimo sąnaudos, Eur/m	258440,00	155064,00	361816,00	206752,00
Palūkanos, Eur/m	387660,00	232596,00	542724,00	310128,00
Mokamos palūkanos (vidut.), Eur/m	364400,40	218640,24	510160,56	291520,32

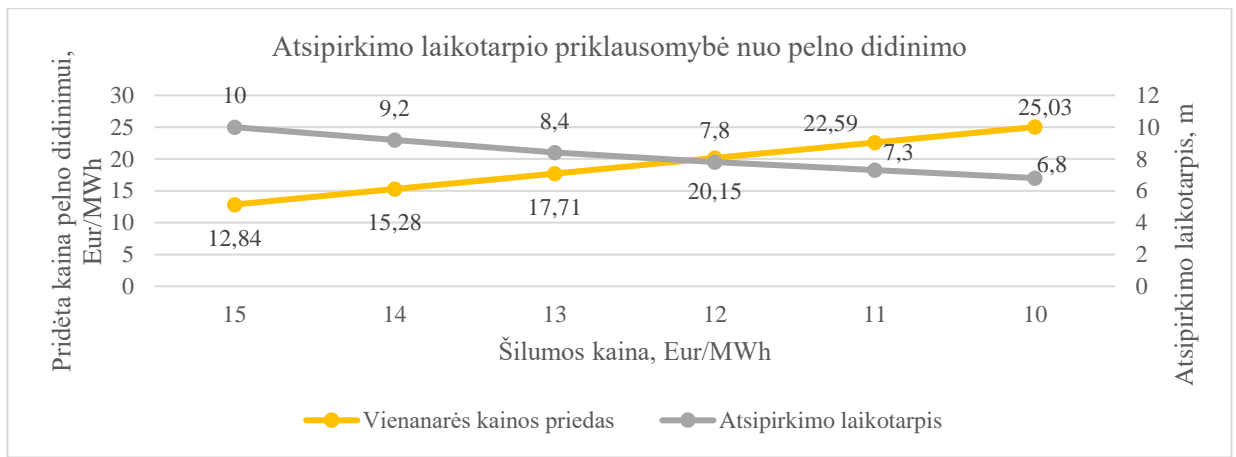
Išlaidos elektrai, Eur/m	168,83	168,83	244,35	244,35
Išlaidos už šilumą, Eur/m	270179,77	549043,90	392530,77	794635,46
Santykinės pastoviosios palūkanos, Eur/m	241618,46	144971,08	233720,75	133554,72
Pelno norma, %	5,00	5,00	5,00	5,00
Pelnas, Eur/m	323050,00	193830,00	452270,00	258440,00
Vienanarė kaina, Eur/MWh	93,96	82,16	91,55	78,58
Kaina prie vienanarės kainos (pelnu didinti), Eur	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastovi kaina, Eur/MWh	75,94	45,57	73,46	41,98
Kintama kaina, Eur/MWh	18,01	36,60	18,08	36,60
<b>Pelnas</b>	1410069,00	1233044,97	1988383,68	1706656,13
<b>Išlaidos</b>	1087019,00	1039214,97	1536113,68	1448216,13
<b>Uždėtis</b>	323050,00	193830,00	452270,00	258440,00
<b>Atsipirkimo laikas, metais</b>	20	20,0	20,0	20,0

Gauti skaičiavimai rodo, kad kai vėsinimo sistemos galia yra 3,38 MW, AŠĮ sistema, kurios COP=0,41, yra efektyvesnė, jos savikaina yra mažesnė nei sistemos, turinčios didesnę COP=0,83, bet negalinčios išnaudoti viso sistemos pajėgumo dėl per mažos temperatūros, tiekiamos į generatorių. Todėl toliau bus nagrinėjama sistema, kurios COP=0,41. Didžiausią įtaką šaldymo sistemos atsiperkamumui turės suvartotos šilumos sąnaudos, banko paskola, metinės palūkanos, pridėta kaina prie vienanarės kainos (pelnu didinti). 32 pav. parodytas atsipirkimo laikotarpis esant pastoviai 5 % pelno normai ir kintant a) tik perkamos šilumos kainai, b) perkamos šilumos kainai ir pridėdant priedą prie vienanarės kainos, kad būtų generuojamas didesnis pelnas ir palaikoma konkurencinga kaina su vėsumos vartotojų šalčio įrenginių naudojama elektros energija, už kurią vartotojas moka [38,39] 150 Eur/MWh. Kadangi centralizuotas vėsumos energijos tiekimas turi būti konkurencingas ir patrauklus vartotojams, tai vėsumos kainos riba nustatoma 95 Eur/MWh..



a) Perkamos šilumos kainos pokyčio įtaka AŠĮ savikainai ir parduodamos vėsumos kainai



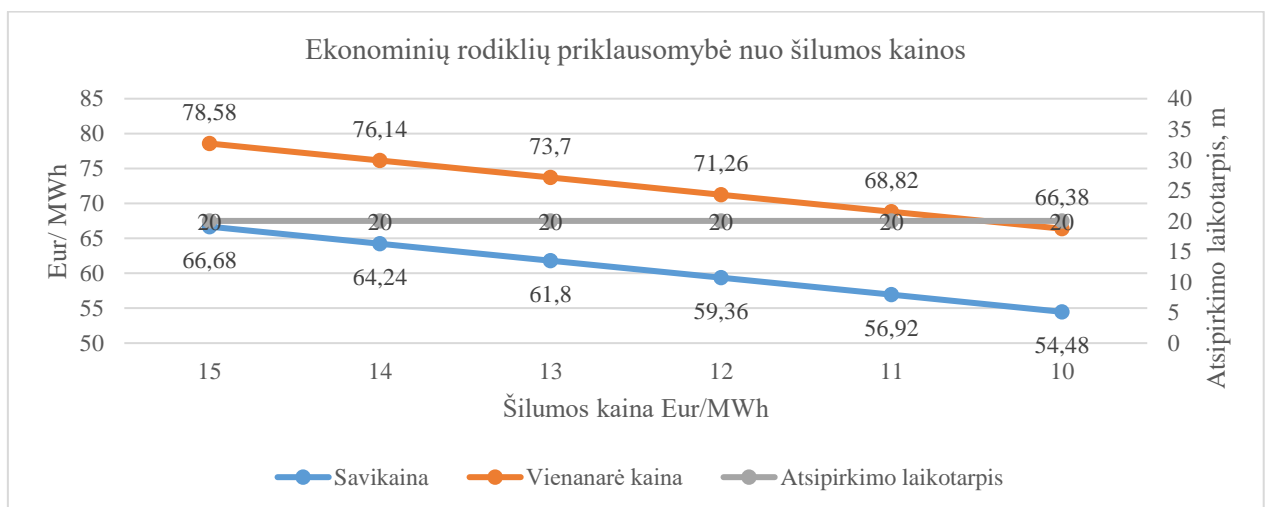


b) Atsipirkimo laikotarpio priklausomybė nuo perkamos šilumos ir pridėtos kainos pokyčio

**32 pav.** Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka AŠĮ sistemos atsipirkimo laikotarpiui

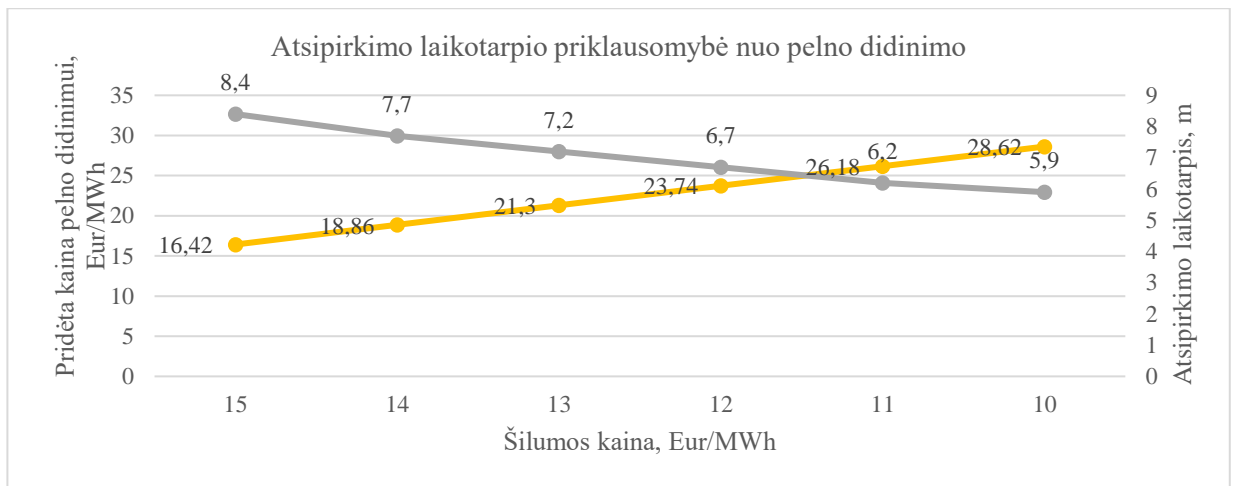
Iš 32 pav. a) galima matyti, kad vien tik šilumos kainos pokytis įtakos daug neturės, jis tik sudaro galimybę padidinti generuojamą pelną padidinant vienanarę kainą. Tai puikiai matosi 32 pav. b), kuomet maksimaliai sumažėjus perkamos šilumos kainai ir padidėjus vienanarės kainos priedui, sumažėja atsipirkimo laikotarpis. Analogiški grafikai yra pateikti 3 priede, kuriame gerai matosi, kad galingesnės sistemos investicijų kaina yra per didelė, kad ši sistema būtų pasirinkta. Geriau naudoti mažesnę sistemą su mažesniu COP, bet turėti žemesnę vėsumos MWh savikainą ir turėti didesnes ir palankesnes galimybes keisti vienanarės kainos priedus bei pasiūlyti vėsumos vartotojams konkurencingą ir patrauklią kainą.

Atlikus skaičiavimus su esamais ir būsimais Nemuno salos vartotojais, galima matyti, kad didesnis galios vartojimas 4,89 MW turi įtaką abiem absorbcinėms sistemoms. Kai galios poreikis išauga, padidėja parduodamos vėsumos energijos kiekiai, todėl matome, kad vėsumos savikaina mažėja 3,7%, palyginti su 3,38 MW galios poreikiu. Tai ženklas, rodantis, centralizuotos energijos tiekimo sistemos privalumą – kuo daugiau vartotojų prisijungia, kuo didesnis energijos poreikis, tuo tiekiamos energijos kaina gali būti mažesnė. 33 pav. parodytas didesnės vėsavimo sistemos atsipirkimo laikotarpis esant pastoviai 5 % pelno normai ir kintant a) tik perkamos šilumos kainai, b) perkamos šilumos kainai ir pridėtai vienanarei kainai bei palaikant nustatytą 95 Eur/MWh vėsumos kainą.



a) a) Perkamos šilumos kainos pokyčio įtaka AŠĮ savikainai ir parduodamos vėsumos kainai





b) Atsipirkimo laikotarpio priklausomybė nuo perkamos šilumos ir pridėtos kainos pokyčio

**33 pav.** Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka AŠĮ sistemos atsipirkimo laikotarpiui

Palaikant vėsumos kainą vartotojams 95 Eur/MWh, kai sistemos vėsumos poreikis 4,89 MW, yra gaunamas greitesnis atsipirkimo laikotarpis – 5,9 m. vietoj 6,8 m. Daugiau vėsumos vartotojų yra naudingiau ir vėsumos tiekėjui, ir patiems vartotojams. 4 priede yra pateikti didesnę COP turinčios absorbcinės šaldymo sistemos grafikai.

#### 4.2. Ekonominė kompresorinės šaldymo sistemos analizė

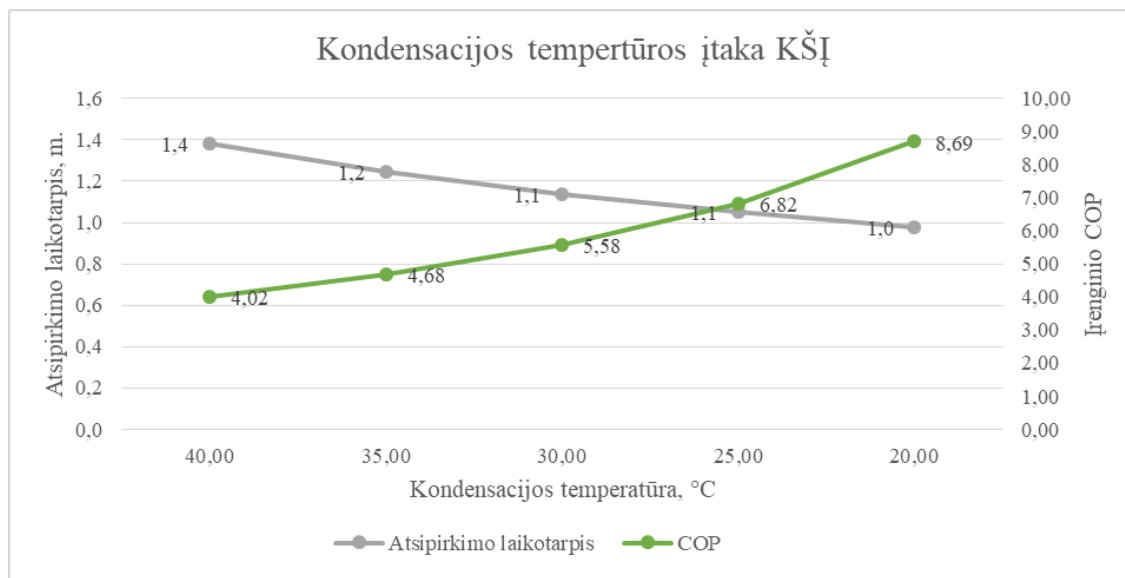
Pagal gautą komercinį pasiūlymą [40] kompresorinės šaldymo sistemos kW kaina nustatoma 188 Eur/ kW. Šio įrenginio kW kaina yra mažesnė, nes šaldymo rinkoje yra didelė konkurencija ir platus kompresorinių šaldymo įrenginių pasirinkimas. Šie įrenginiai yra paprastai montuojami, paprasta prižiūrėti, techninę priežiūrą gali atlikti patys CVT įmonės specialistai, todėl metinės priežiūros išlaidos nustatomos 2 %. Šių šaldymo agregatų atsipirkimo laikotarpiui įtakos turės naudingo veikimo koeficientas ir kondensacijos temperatūra. 14 lentelėje yra pateikti ekonominiai R717 šaldymo agento skaičiavimai, kai kondensacijos temperatūra yra 40 °C, o COP=4,02, vėsumos vartotojas tik vienas, jo poreikis =3,38 MW. Nustatomos tokios pačios banko ir palūkanų sąlygos kaip ir absorbciniam šaldymo įrenginiui. Reikia pabrėžti, kad kompresorinių šaldymo įrenginių varomosios energijos kaina yra 150 Eur/ MWh, bet ateityje ši kaina gali kilti, kaip pastebima [38], kasmet elektros energijos kaina brangsta apie 5 %. Yra pasirenkami reversiniai šilumos siurbliai, kurie vasaros sezono metu gamins vėsumos energiją, o šildymo sezono metu bus galimybė tenkinti momentinius Kauno miesto šilumos vartotojų energijos poreikius. Tai leis sumažinti išmetamųjų dalelių kiekį į aplinką ir sutaupyti sudeginamus dujų kiekius, taip pat pagreitinti šilumos siurblių atsipirkimo laikotarpį.

**14 lentelė.** Kompresorinio šaldymo įrenginio ekonominiai rodikliai

Kondensacijos temperatūra, °C	40,00	35,00	30,00	25,00	20,00
Galia, MW	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38
Investicijos, Eur/MWh	301022,49	301022,49	301022,49	301022,49	301022,49
Investicijos iš viso, Eur	1017456,00	1017456,00	1017456,00	1017456,00	1017456,00
Eksploatacijos sąnaudos per metus (2%), Eur/m	30523,68	30523,68	30523,68	30523,68	30523,68
Paskola, metai	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Palūkanos, %	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Pagamintas vėsumos kiekis, MWh	15007,20	15007,20	15007,20	15007,20	15007,20

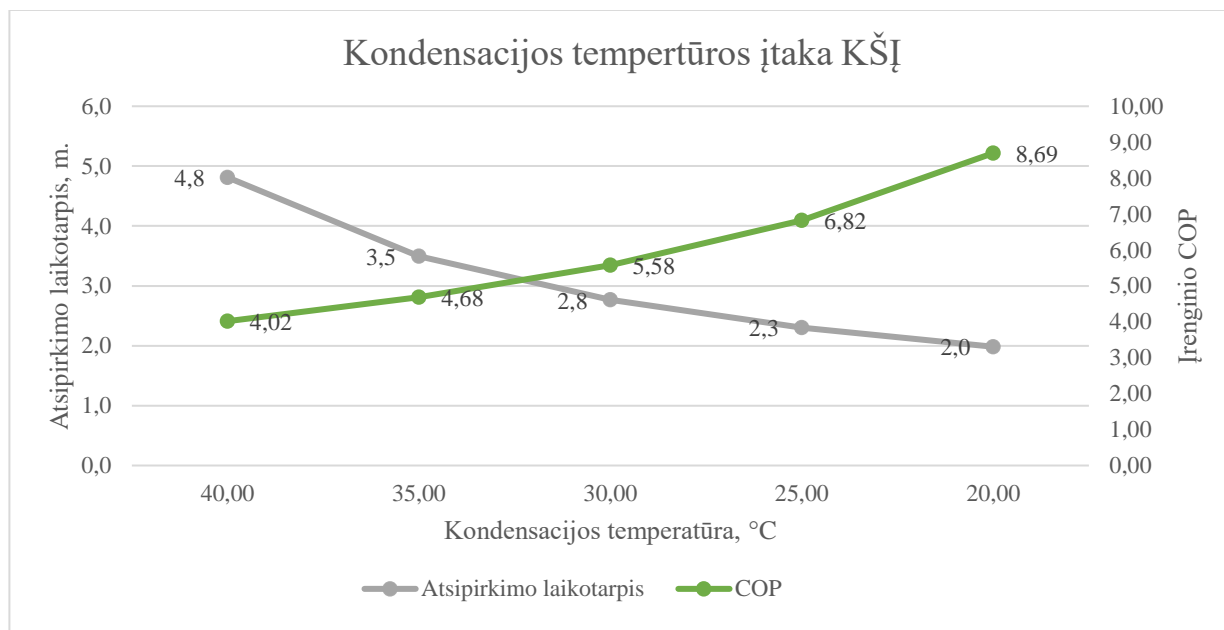
Darbo laikas, h	4440	4440	4440	4440	4440
COP	4,02	4,68	5,58	6,82	8,69
Elektros sąnaudos, MWh	3736,14	3203,36	2691,85	2199,68	1726,05
Pastovieji kaštai, Eur/m	128606,44	128606,44	128606,44	128606,44	128606,44
Kintamieji kaštai, Eur/m	560421,57	480504,45	403778,01	329952,51	258907,74
Savikaina, Eur/MWh	45,91	40,59	35,48	30,56	25,82
Elektros kaina, Eur/MWh	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
Nusidėvėjimo sąnaudos, Eur/m	40698,24	40698,24	40698,24	40698,24	40698,24
Palūkanos, Eur/m	61047,36	61047,36	61047,36	61047,36	61047,36
Mokamos palūkanos (vidut.), Eur/m	57384,52	57384,52	57384,52	57384,52	57384,52
Išlaidos kurui, Eur/m	0	0	0	0	0
Išlaidos elektrai, Eur/m	560421,57	480504,45	403778,01	329952,51	258907,74
Santykinės pastoviosios palūkanos, Eur/m	38049,24	38049,24	38049,24	38049,24	38049,24
Pelno norma, %	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Pelnas, Eur/m	50872,80	50872,80	50872,80	50872,80	50872,80
Vienanarė kaina, Eur/MWh	49,30	43,98	38,87	33,95	29,21
Kaina, prie vienanarės kainos (pelniui didinti), Eur					
Pastovi kaina, Eur/MWh	11,96	11,96	11,96	11,96	11,96
Kintama kaina, Eur/MWh	37,34	32,02	26,91	21,99	17,25
<b>Pelnas</b>	739900,80	659983,69	583257,25	509431,75	438386,98
<b>Išlaidos</b>	689028,00	609110,89	532384,45	458558,95	387514,18
<b>Uždarbis</b>	50872,80	50872,80	50872,80	50872,80	50872,80
<b>Atsipirkimo laikas, metais</b>	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0

Gauti skaičiavimai rodo, kad kompresorinis šilumos siurblys yra pigesnė šaldymo sistema nei absorbcinė, o dirbdamas prasčiausiomis sąlygomis ekonominiu požiūriu lenkia absorbcinį aušinimo įrenginį. Palyginę dviejų sistemų vėsumos energijos savikainas, matysime didelį skirtumą – 45,91 Eur/MWh prieš 72,43 Eur/MWh. Turint tokį žymų savikainų skirtumą, kompresorine šaldymo sistema pelnas bus pasiekiamas greičiau. Kai anksčiau nustatyta vėsumos kaina yra 95 Eur/MWh ir keičiant kondensacijos temperatūrą naudojant Nemuno vandenį, galima pasiekti ypač greitą sistemos atsipirkimo laikotarpį (34 pav.).



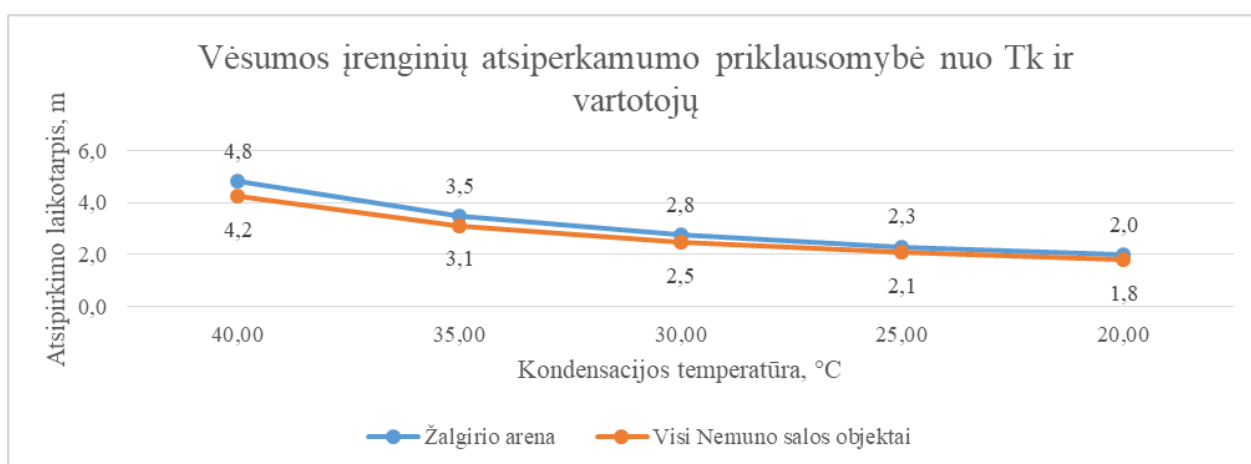
**34 pav.** Kondensacijos temperatūros įtaka kompresoriniu šaldymo įrenginiui

Kai vėsamos MWh kaina yra 95 Eur, kompresorinė šaldymo sistema labai greitai atsiperks, todėl šią kainą vartotojui galima sumažinti iki 60 Eur/MWh. Atsipirkimo laikotarpis pailgės (35 pav.), bet sistema vis tiek yra ekonomiškai patraukli.



**35 pav.** Kondensacijos temperatūros įtaka KŠĮ sistemai, kai vėsamos kaina =60 Eur/MWh

Vėsamos vartotojų skaičiui išaugus kompresorinės šaldymo sistemos vėsamos MWh kaina mažėja. Tai dar kartą įrodo, kaip ir su absorbcines vėsinimo sistema, kad centralizuotas energijos tiekimas yra ekonomiškai efektyvesnis, nei individualūs šaldymo įrenginiai. 4 priede pateiktas visų Nemuno salos vartotojų ekonominiai skaičiavimai naudojant kompresorinę šaldymo sistemą. Skaičiavimuose, išlaikomos tokios pat užsiduotos sąlygos. Taigi vėl tik su 5 % pelno norma, atsipirkimo laikotarpis šaldymo įrenginių gaunasi 20 m., bet vėsamos savikaina sumažėja 7,9 %. 36 pav. pateiktas šaldymo įrenginių atsipirkimo laikotarpio palyginimas, kai yra 1 arba 3 vėsamos vartotojai ir vėsamos MWh kaina išlaikoma 60 Eur/MWh.



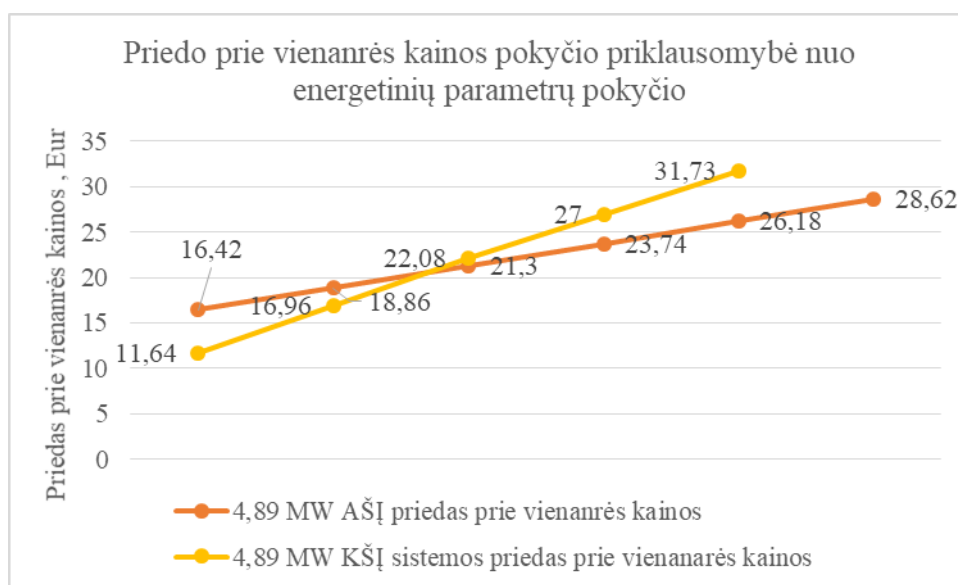
**36 pav.** Vėsinimo sistemos atsipirkimo laikotarpio priklausomybė nuo vartotojų ir  $T_k$

Taigi pagal gautus rezultatus kompresorinė šaldymo sistema yra efektyvi ir energetiškai, ir ekonomiškai. Pritaikant vėsų upės vandenį šilumos nuvedimo iš kondensatoriaus, galima labai

efektyviai ir pakankamai pigiai gaminti energiją vėsumos poreikiams tenkinti, o vartotojams pasiūlyti patrauklią ir konkurencingą vėsumos kainą.

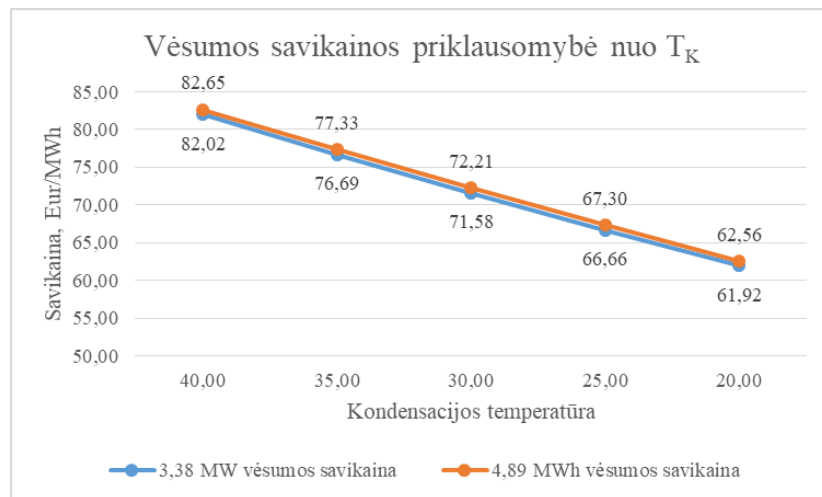
### 4.3. Ekonominis Šaldymo sistemų palyginimas.

Atlikus individualią kiekvienos šaldymo sistemos ekonominę analizę, gauti rezultatai yra palyginti (37 pav.). KŠĮ nustačius vėsumos MWh kainą 60 Eur, gautas rezultatas parodo, kad šia sistema yra galimybė generuoti daugiau pelno nei AŠĮ sistema nustačius vėsumos MWh kainą 95 Eur. Svarbiausias įtaką darantis veiksnys yra įrenginių investicinė kaina. Investicinė absorbcinės šaldymo sistemos kaina, palyginti su kompresoriniais šaldymo įrenginiais yra 3,8 karto didesnė. Jeigu rinkoje šių šaldymo sistemų kainos susilygintų arba absorbciniai šaldymo įrenginiai 50 % atpigėtų, tuomet absorbcinės vėsavimo sistemos taptų patrauklesnės, nes šilumos kaina Kauno mieste turi tendenciją mažėti [36]. Sumažėjus investicinei kainai ir varomosios energijos kainai, absorbcinis vėsavimo įrenginys taptų patrauklesnis už kompresorinį. Tačiau yra dar vienas AŠĮ sistemos trūkumas – varomosios energijos kiekio priklausomybė nuo CŠT sistemoje cirkuliuojančio karšto vandens temperatūros ir debito. Vasaros metu yra perjungiamas šilumos tiekimo vartotojams darbo režimas (2 informacijos šaltinis), todėl miesto centre cirkuliuoja maži karšto vandens kiekiai, kurių tikrai neužteks absorbcinio šilumos siurblio generatoriaus darbui visu pajėgumu.



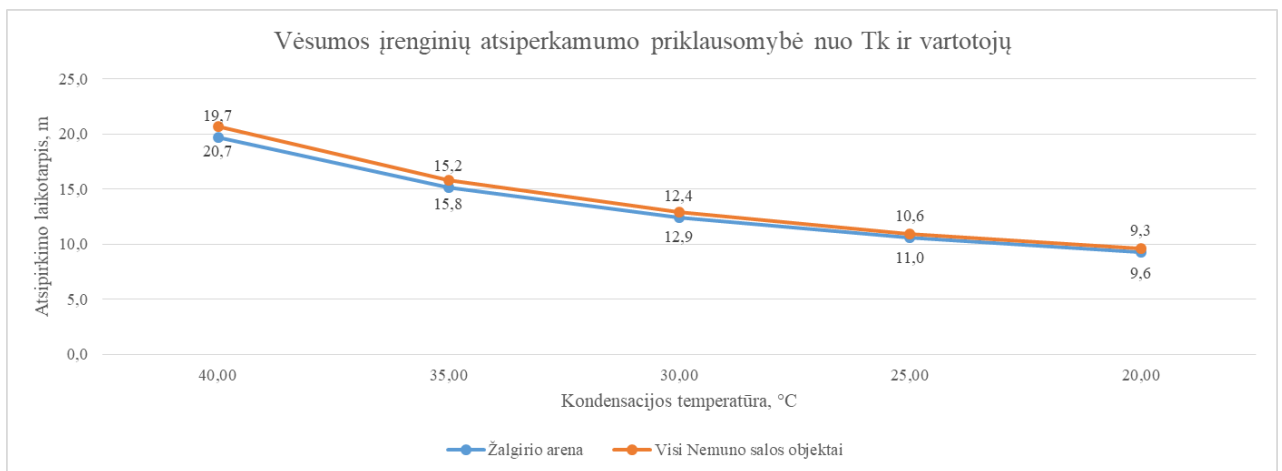
37 pav. Vienanarės kainos didinimo galimybes, keičiant energetinius rodiklius

Diegiant naują CVT sistemą Kauno mieste, reikia kartu su šaldymo įrenginiais įvertinti ir CVT vamzdyno investicinius kaštus. Kadangi atlikus šaldymo įrenginių ekonominį vertinimą yra gaunama, kad kompresoriniai šaldymo įrenginiai yra palankesni savo savikainos lankstumu, todėl prie šių įrenginių investicinės kainos, reikia pridėti ir CVT naujo vamzdyno kainą. Vamzdyno investiciniai kaštai pakelia vėsavimo savikainą (38 pav.), dėl to kyla vėsavimo galutinė kaina vartotojui. 38 pav. mėlyna tiesė vaizduoja 3,38 MW vėsavimo galios poreikio sistemos savikainą, oranžinė kreivė vaizduoja 4,89 MW vėsavimo galios poreikio savikainą. Pagal gautus rezultatus matome, kad didesni vamzdyno investiciniai kaštai įtakojo vėsavimo MWh kainos kilimą, nes prieš tai atliktuose skaičiavimuose galingesnės sistemos vėsavimo MWh savikaina buvo mažesnė.



**38 pav.** Vėsamos savikaina įvertinus visus CVT sistemos investicinius kaštus

Todėl iki sistemos atsipirkimo laikotarpio vėsamos kWh kainą reikės laikyti 100 Eur/MWh. Tai nėra labai konkurencinga kaina individualioms šaldymo sistemoms, bet praėjus atsipirkimo laikotarpiui, vėsamos kaina galės būti mažinama iki prieš tai numatytos 60 Eur/MWh. Tikrasis CVT sistemos atsipirkimo laikotarpis, įvertinant kompresorinių šilumos siurblių kondensacijos temperatūrų pokytį ir vėsamos vartotojų skirtingus galios poreikius, yra pateiktas 39 pav.



**39 pav.** Vėsamos sistemų atsipirkimo laikotarpis įvertinant visus CVT sistemos investicinius kaštus

Atlikę energetinių sistemų palyginimą, matome jog visos sistemos investiciniai kaštai turi labai didelę įtaką vėsamos kainai. Kompresorinė šaldymo sistema suteikia didesnes galimybes keisti vienanarę kainą, gerinant visos sistemos atsipirkimą, jei yra užtikrinamas darbas su vėsiu upės vandeniu. Taigi galima daryti išvadas, kad šiuo metu kompresorinė šaldymo sistema yra optimaliausias techninis sprendimas diegiant naują centralizuotą vėsinimo sistemą Kauno mieste. Tokia KŠĮ sistema gali pasiūlyti 30% mažesnę vėsamos kainą vartotojui, greitesnį atsipirkimo laikotarpį, didesnes sistemos optimizacijos galimybes, naudojant vėsų upės vandenį.

## Išvados

1. Ekonominė šaldymo sistemų analizė parodė, kad darbe analizuota kompresorinė šaldymo sistema yra ekonomiškai efektyvesnė už absorbcinę. KŠĮ sistemos vėsumos savikaina yra 20 % mažesnė už absorbcinės šaldymo sistemos, todėl vartotojui galima pasiūlyti konkurencingą vėsumos kainą, o vėsumos tiekėjui greitesnį sistemos atsipirkamumą.
2. Naujos Kauno mieste centralizuotos vėsinimo sistemos įrengimo kaštai labai priklauso nuo vėsumos vartotojų poreikių. Kuo vėsumos poreikiai didesni, tuo didesni investiciniai kaštai, kurie įtakoja vėsumos savikainos kilimą. Norint, kad vėsumos MWh kaina būtų konkurencinga reikia užsibrėžti ribą – 100 Eur/MWh ir aukščiau šios kainos kilti negalima, nes vartotojui nebeapsimokės jungtis prie CVT sistemos. Įvertinus visus investicinius kaštus CVT sistemos atsipirkimo laikotarpis labai kinta nuo sistemos COP. Kuo sistemos naudingo veiksmo koeficientas yra didesnis, tuo greičiau sistema atsipirks. Geriausias visos sistemos atsipirkimo laikotarpis yra beveik 10 m., tačiau šis laikotarpis yra gaunamas prie idealių darbo sąlygų. Realiausias CVT sistemos atsipirkimo laikotarpis negaunant EU paramos yra 13–15 m. Tai nėra ilgas naujos sistemos atsipirkimo laikotarpis, bet vertinant iš energijos tiekėjų pusės šis laikotarpis yra per ilgas, kad būtų įgyvendinama sistema ji turėtų atsipirkti per  $\leq 7$  m.
3. Kompresorinės šaldymo sistemos COP priklauso nuo kondensacijos temperatūros,  $TK_{\downarrow} = Q_{\text{kompr.}\downarrow} = \text{COP}\uparrow$ . Todėl kintant kondensacijos temperatūrai, kinta papildomos energijos sąnaudos, reikalingos kompresoriui suslėgti darbo agentą. Kai kompresorinis šaldymo įrenginys yra sujungtas darbui su grįžtamoju termofikaciniu srautu,  $T_K=40^{\circ}\text{C}$ , sistemos  $\text{COP}=4,02$ . Tačiau naudojant kondensacijos šilumos nuvedimui Nemuno upės vandenį, kondensacijos temperatūra sumažėja iki  $T_K=25^{\circ}\text{C}$ , tuomet sistemos  $\text{COP}=6,82$ .
4. Šildymo sezono metu naudojant grįžtamojo termofikacinio vandens energiją, 3 šilumos siurbliai, dirbdami reversiniu režimu, 5% šiluminės galios išnaudojimu, gali pagaminti 764,64 MWh šilumos, taip sumažindami dujinių katilų kūrimo poreikį, sunaudojamų gamtinių dujų kiekį – 73523 m<sup>3</sup> ir išmetamųjų CO<sub>2</sub> kiekį – 103,78 t
5. Absorbcinių šaldymo įrenginių efektyvumo didinimas priklauso nuo kompleksinio parametru keitimo, vienu metu didinant  $T_{G_i}$  ir mažinant  $T_{vės.v.į}$ . Jei parametru pokytis atliekamas kompleksiskai, tai galima pagerinti sistemos naudingo veiksmo koeficientą daugiausiai 0,1. Absorbciniai šaldymo įrenginiai turi būti taikomi tokiose sistemose, kokioms jie yra projektuoti. Pradedant keisti parametrus nekompleksiškai, yra pakeičiama šaldymo įrenginio galia, todėl iš sistemos nepavyks išgauti norimos galios, dirbant su termofikaciniu vandeniu.
6. Absorbcinis vėsinimo įrenginys naudoja didelius karšto vandens kiekius, kurių poreikio vasaros metu Kauno CŠT sistema patenkinti negali, dėl pakeistos darbo schemos.
7. Absorbciniai vėsinimo įrenginiai ekonomiškai nėra patrauklūs, nes jų investicinė kaina yra per didelė. Bet kintamieji kaštai suteikia vilčių, kad rinkoje padidėjus šių šaldymo sistemų pasiūlai, investiciniai kaštai sumažės ir bus verta svarstyti apie absorbcinių šaldymo įrenginių diegimą Kauno mieste, keičiant CŠT sistemos darbo režimus.

## Literatūros sąrašas

1. Averfalk, H., Ingvarsson, P., Persson, U., Gong, M., & Werner, S. (2017). Large heat pumps in Swedish district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1275-1284.
2. Werner, S. (2017). District heating and cooling in Sweden. *Energy*, 126, 419-429.
3. War, J. (2011). Seawater Air Conditioning (SWAC) a renewable energy alternative. *OCEANS'11 MTS/IEEE KONA*, 1-9.
4. <http://www.honoluluswac.com/> [žiūrėta 2020 02 05]
5. Atmaca, I., & Yigit, A. (2003). Simulation of solar-powered absorption cooling system. *Renewable Energy*, 28(8), 1277-1293.
6. Assilzadeh, F., Kalogirou, S., Ali, Y., & Sopian, K. (2005). Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. *Renewable Energy*, 30(8), 1143-1159
7. Sokhansefat, T., Mohammadi, D., Kasaeian, A., & Mahmoudi, A. (2017). Simulation and parametric study of a 5-ton solar absorption cooling system in Tehran. *Energy Conversion and Management*, 148, 339-351.
8. Franchini, G., Brumana, & Perdichizzi. (2018). Performance prediction of a solar district cooling system in Riyadh, Saudi Arabia – A case study. *Energy Conversion and Management*, 166, 372-384.
9. Techninis projektas „Kauno pramogų ir sporto rūmai Nemuno saloje karaliaus Mindaugo per. Nr.50 “ 7 byla Šilumos transformavimo dalis. 2007 m. Kauno miesto savivaldybės taryba.
10. Techninis projektas „Mokslo ir inovacijų sklaidos centras“ Šilumos transformavimo dalis 2019m.
11. Techninis projektas „Kauno pramogų ir sporto rūmų („Žalgirio arenos“) Nemuno saloje rekonstravimas įrengiant baseiną“ Šilumos transformavimo dalis 2019 m.
12. Buffa, S., Cozzini, D'antoni, Baratieri, & Fedrizzi. (2019). 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104, 504-522.
13. Ochoa, A.A.V.; Dutra, J.C.C.; Henríquez, J.R.G.; Dos Santos, C.A.C. Dynamic study of a single effect absorption chiller using the pair LiBr/H<sub>2</sub>O. *Energy Convers. Manag.* **2016**, 108, 30–42.
14. Kohlenbach, P.; Ziegler, F. A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part I: The model. *Int. J. Refrig.* **2008**, 31, 217–225.
15. Evola, G.; Le Pierrès, N.; Boudehenn, F.; Papillon, P. Proposal and validation of a model for the dynamic simulation of a solar-assisted single-stage LiBr/water absorption chiller. *Int. J. Refrig.* **2013**, 36, 1015–1028.
16. Ochoa, A.A.V.; Dutra, J.C.C.; Henríquez, J.R.G.; Dos Santos, C.A.C.; Rohatgi, J. The influence of the overall heat transfer coefficients in the dynamic behavior of a single effect absorption chiller using the pair LiBr/H<sub>2</sub>O. *Energy Convers. Manag.* **2017**, 136, 270–282
17. Kohlenbach, P., & Ziegler, F. (2008). A dynamic simulation model for transient absorption chiller performance. Part I: The model. *International Journal of Refrigeration*, 31(2), 217-225.
18. Jian Wang, Sheng Shang, Xianting Li, Baolong Wang, Wei Wu, & Wenxing Shi. (2017). Dynamic Performance Analysis for an Absorption Chiller under Different Working Conditions. *Applied Sciences*, 7(8), 797.
19. Alghool, D., Elmekawy, T., Haouari, M., & Elomri, A. (2020). Optimization of design and operation of solar assisted district cooling systems. *Energy Conversion and Management: X*, 6, *Energy Conversion and Management: X*, April 2020, Vol.6.

20. World Energy. Absorbtion chiller, absorption chiller and heater, absorption heat pump, high efficiency series catalog
21. ANSYS CFX-Solver Theory Guide (2011). ANSYS, Inc. is certified to ISO 9001:2008.
22. <http://www.linde-gas.com/> [žiūrėta 2020 02 20]
23. UAB „Genys“ saugos duomenų lapas „Šaldymo mišinys R134a“
24. UAB „Genys“ saugos duomenų lapas „Šaldymo mišinys R407C“
25. UAB „Genys“ saugos duomenų lapas „Šaldymo mišinys R410A“
26. [http://www.coolprop.org/fluid\\_properties/fluids/Ammonia](http://www.coolprop.org/fluid_properties/fluids/Ammonia) [žiūrėta 2020 02 20]
27. <https://emersonclimateconversations.com> [žiūrėta 2020 02 20]
28. CoolPack – a collection of simulation tools for refrigeration – Tutorial – Version 1.46
29. European heat pump association „Large scale heat pumps in Europe“ (2012).
30. Ochsner heat pumps “High – capacity heat pumps for high temperatures“.
31. <http://industek.lt/> [žiūrėta 2020 03 05]
32. LR energetikos ministro įsakymas „Dėl šilumos tiekimo vamzdynuose patiriamų šilumos nuostolių nustatymo metodikos patvirtinimo“ 2016. 02 05 Nr.1-26 Vilnius
33. Shokati, N., Ranjbar, F., & Yari, M. (2018). A comprehensive exergoeconomic analysis of absorption power and cooling cogeneration cycles based on Kalina, Part 2: Parametric study and optimization. Energy Conversion and Management, 161, 74-103.
34. Johannes Dorfner, Patrick Krystallas, Magdalena Durst, & Tobias Massier. (2017). District cooling network optimization with redundancy constraints in Singapore. Future Cities and Environment, 3(1), 1-13.
35. Komercinis pasiūlymas pateiktas „World Energy Co“ 70kW vėsinimo įrenginiui (2020).
36. <https://e.baltpool.eu/heat> [žiūrėta 2020 04 16]
37. Jon Sigurour Petursson (2015). Direct utilization of geothermal energy for space cooling in Nicaragua.
38. <https://www.regula.lt/elektra> [žiūrėta 2020 04 20]
39. <https://ignitis.lt/lt/elektros-energijos-kainos-namams-nuo-2020-sausio-1-dienos> [žiūrėta 2020 04 25]
40. Komercinis pasiūlymas gautas „Sabroe heat pumps“ (2019)
41. 2018 m. AB „Kauno energija“ šilumos trasų paklojimo kaštai
42. Arūnas Bukantis (2016). Lietuvos klimatas. Visuotinė lietuvių enciklopedija
43. Valiuškevičius G., Milonaitytė D. Vandens temperatūros pasiskirstymą per metus apibūdinančių rodiklių taikymo Lietuvos upėse galimybė. Geologija. Geografija. 2018. T.4(3). ISSN 2351-7549

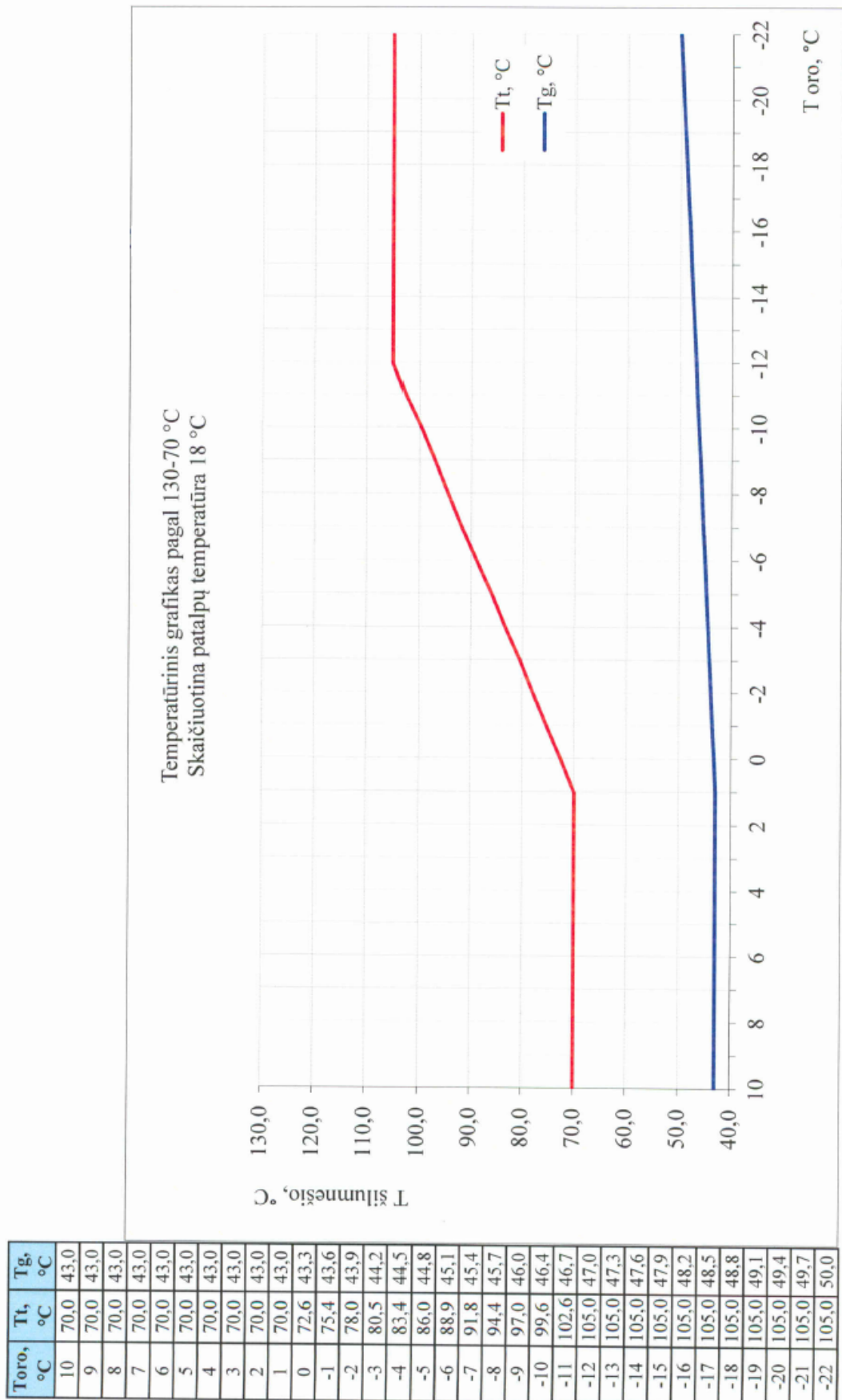


### **Informacijos šaltinių sąrašas**

1. AB „Kauno energija“ Tinklo valdymo skyrius;
2. AB „Kauno energija“ „Pergalės“ katilinės-„Šilko“ katilinės - „Jonavos“ siurblinės vasaros darbo režimas;
3. AB „Kauno energija“ Tinklo valdymo skyrius dispečerio ataskaitos;

## Priedai (pagal poreikį)

### 1 priedas. Kauno miesto centralizuoto šilumos tinklo temperatūrinis grafikas

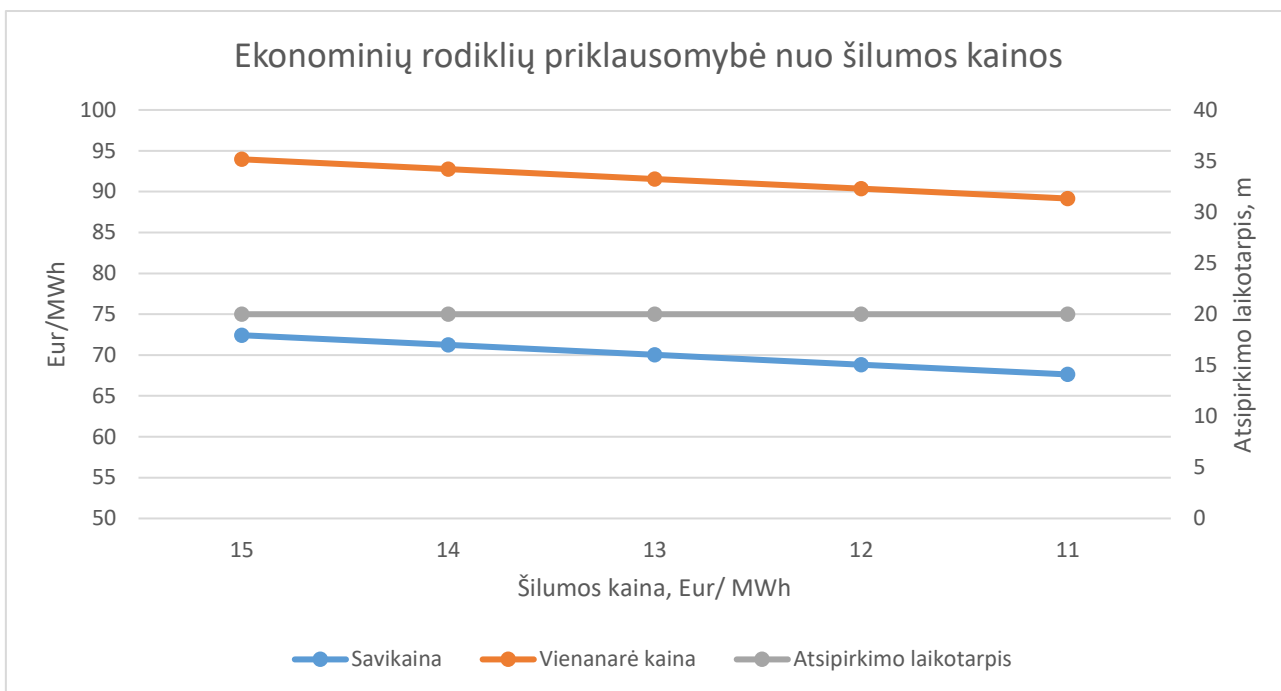


**2 priedas. Absorbicinių šaldymo įrenginių generuojamos šalčio galios priklausomybė nuo tiekimo karšto vandens temperatūros pokyčiai  $T_{gen,i}=75,5^{\circ}C$  ir  $T_{gen,i}=95^{\circ}C$**

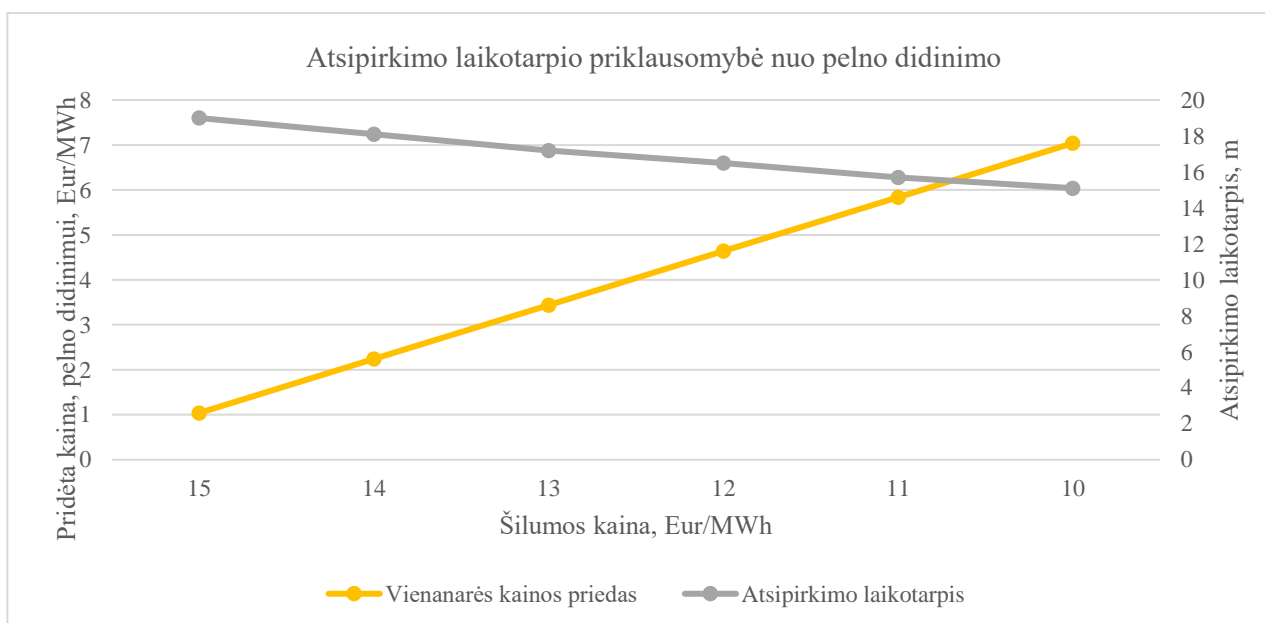
		projektuojama	a	b	c	d	e	vidurkis
$T_{gar,i}$	$^{\circ}C$	12	11,9	11,9	11,8	11,9	11,9	11,88
$T_{gar,iš}$	$^{\circ}C$	7	7,1	7,1	7	7,1	7,1	7,08
$T_{vės.v.,i}$	$^{\circ}C$	27	27	27	27	27,1	27,1	27,04
$T_{vės.v.,iš}$	$^{\circ}C$	32	32	31,9	31,9	31,9	31,9	31,92
$T_{gen,i}$	$^{\circ}C$	75,5	75,8	75,8	75,8	75,7	75,7	75,76
$T_{gen,iš}$	$^{\circ}C$	66,5	65,7	65,7	65,6	65,7	65,4	65,62
Vėsinimo vandens srautas	$m^3/h$	12,04	12,7	12,6	12,6	12,6	12,6	12,62
Aušinimo vandens srautas	$m^3/h$	26,56	27,6	27,6	27,6	27,4	27	27,44
Karšto vandens srautas	$m^3/h$	7,45	7,35	7,29	7,28	7,33	7,23	7,296
karšto vandens tankis	$kg/m^3$	974,58	974,396	974,396	974,396	974,456	974,456	
šaldymo galia	kW	70	70,90	70,34	70,34	70,34	70,34	70,45
panaudota šilumos galia	kW	84,44	86,34	85,63	86,36	85,25	86,61	86,04
COP		0,83	0,82	0,82	0,81	0,83	0,81	0,82

		projektuojama	a	b	c	d	e	vidurkis
$T_{gar,i}$	$^{\circ}C$	12	11,5	11,7	11,6	11,5	11,6	11,58
$T_{gar,iš}$	$^{\circ}C$	7	6,5	6,6	6,5	6,5	6,5	6,52
$T_{vės.v.,i}$	$^{\circ}C$	30	29,9	29,9	30	29,9	29,9	29,92
$T_{vės.v.,iš}$	$^{\circ}C$	35	35,5	35,6	35,7	35,5	35,5	35,56
$T_{gen,i}$	$^{\circ}C$	95	95,8	95,7	95,7	95,5	95,7	95,68
$T_{gen,iš}$	$^{\circ}C$	80	81,5	81,4	81,3	81,3	81,6	81,42
Vėsinimo vandens srautas	$m^3/h$	30,24	29	29,1	29,2	29,1	29	29,08
Aušinimo vandens srautas	$m^3/h$	66,72	56	56,2	56,1	56,2	56,1	56,12
Karšto vandens srautas	$m^3/h$	12,64	12,27	12,3	12,2	12,2	12,4	12,274
karšto vandens tankis	$kg/m^3$	961,98	961,426	961,426	961,496	961,496	961,635	
šaldymo galia	kW	175,85	168,64	172,60	173,19	169,22	172,01	171,13
panaudota šilumos galia	kW	213,50	204,06	204,56	204,32	201,48	203,34	203,56
COP		0,82	0,83	0,84	0,85	0,84	0,85	0,84

**3 priedas. Perkamos šilumos energijos kainos pokyčio įtaka neefektyviai naudojamam AŠĮ, kurio COP=0,83, atsipirkimo laikotarpiui.**



a) Perkamos šilumos kainos pokyčio įtaka AŠĮ savikainai ir parduodamos vėsumos kainai



b) Atsipirkimo laikotarpio priklausomybė nuo perkamos šilumos ir pridėtos kainos pokyčio

#### 4 Priedas. 4,89 MW galio kompresorinės šaldymo sistemos ekonominiai skaičiavimai

kondensacijos T	40,00	35,00	30,00	25,00	20,00
Galia, MW	4,89	4,89	4,89	4,89	4,89
Investicijos, Eur/MWh	277317,20	277317,20	277317,20	277317,20	277317,20
Investicijos viso, Eur	1356608,00	1356608,00	1356608,00	1356608,00	1356608,00
Eksploatacijos sąnaudos per metus, Eur/m	40698,24	40698,24	40698,24	40698,24	40698,24
Paskola, metai	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
Palūkanos, %	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Atleista šilumos, MWh	21720,04	21720,04	21720,04	21720,04	21720,04
Darbo laikas, h	4440,00	4440,00	4440,00	4440,00	4440,00
COP	4,02	4,68	5,58	6,82	8,69
Elektros sąnaudos, MWh	5407,35	4636,25	3895,94	3183,62	2498,13
Pastovieji kaštai, Eur/m	171475,25	171475,25	171475,25	171475,25	171475,25
Kintamieji kaštai, Eur/m	811102,44	695437,79	584391,03	477542,80	374719,16
Savikaina, Eur/MWh	45,24	39,91	34,80	29,88	25,15
Elektros kaina, Eur/MWh	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>
Nusidevėjimo sąnaudos, Eur/m	54264,32	54264,32	54264,32	54264,32	54264,32
Palūkanos, Eur/m	81396,48	81396,48	81396,48	81396,48	81396,48
Mokamos palūkanos (vidut.), Eur/m	76512,69	76512,69	76512,69	76512,69	76512,69
Išlaidos elektrai, Eur/m	811102,44	695437,79	584391,03	477542,80	374719,16
Santykinės pastoviosios palūkanos, Eur/m	35052,89	35052,89	35052,89	35052,89	35052,89
Pelno norma, %	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Pelnas, Eur/m	67830,40	67830,40	67830,40	67830,40	67830,40
Vienanarė kaina, Eur/MWh	48,36	43,04	37,92	33,00	28,27
kaina, prie vienanarės kainos (pelno didinimui), Eur	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Pastovi kaina, Eur/MWh	11,02	11,02	11,02	11,02	11,02
Kintama kaina, Eur/MWh	37,34	32,02	26,91	21,99	17,25
<b>Pelnas</b>	1050408,09	934743,44	823696,68	716848,45	614024,81
<b>Išlaidos</b>	982577,69	866913,04	755866,28	649018,05	546194,41
<b>Uždarbis</b>	67830,40	67830,40	67830,40	67830,40	67830,40
<b>Atsipirkimo laikas, metais</b>	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0